

# Trabajo Fin de Grado

## Ingeniería de las Tecnologías Industriales

### Diseño de una instalación de energía solar térmica en una residencia de estudiantes

Autor: Jesús Llorente Díaz

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Sevilla, 2024





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **Diseño de una instalación de energía solar térmica en una residencia de estudiantes**

Autor:

Jesús Llorente Díaz

Tutor:

José Julio Guerra Macho  
Catedrático de Universidad

Dpto. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Grado: Diseño de una instalación de energía solar térmica en una residencia de estudiantes

Autor: Jesús Llorente Díaz

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El Secretario del Tribunal



# Agradecimientos

---

Agradecer a mi familia, cuyo apoyo ha sido fundamental para estos años de formación, también a mis amigos y compañeros, ya que su ayuda y soporte me han permitido alcanzar mis objetivos, en especial a María Porres y a los amigos que he conocido en la escuela.

Por último, a los profesores que realmente me han formado y preparado como mi tutor José Julio Guerra Macho.

Jesús Llorente Díaz  
Sevilla, 2024





El trabajo se enfoca en el estudio y diseño de una instalación solar térmica de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en una residencia de estudiantes situada en la universidad Pablo de Olavides en Dos Hermanas, Sevilla. Para su realización ha sido necesario realizar diferentes estudios: el funcionamiento básico de una instalación de este tipo; la situación del edificio y características climatológicas y de radiación de la zona; y un dimensionamiento de cada uno de los diferentes componentes.

Se ha hecho uso, para el cálculo y dimensionado de la instalación, del programa informático CHEQ4, que permite el diseño asegurando el cumplimiento de la contribución solar mínima exigible según el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).



# Abstract

---

The following work focuses on the study and design of a low-temperature solar thermal installation for the production of domestic hot water (DHW) in a student residence located at Pablo de Olavides University in Dos Hermanas, Seville. To carry out this project, it has been necessary to conduct various studies: the basic operation of such an installation, the location of the building and the climatological and radiation characteristics of the area, and the sizing of each of the different components.

The calculation and sizing of the installation have been performed using the CHEQ4 software, which allows for designing while ensuring compliance with the minimum solar contribution required by the Technical Building Code (CTE) and the Regulation of Thermal Installations in Buildings (RITE).



<b>Agradecimientos</b>	<b>vii</b>
<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract</b>	<b>xi</b>
<b>Índice</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xvi</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xviii</b>
<b>1 Memoria Descriptiva</b>	<b>1</b>
1.1. Objeto del proyecto	2
1.2. Instalaciones de energía solar	2
1.2.1. Captadores solares	3
1.2.2. Acumulador térmico	6
1.2.3. Intercambiadores	6
1.2.4. Circuito hidráulico	7
1.2.5. Sistema auxiliar	8
1.2.6. Sistema de regulación y control	8
1.3. Método de cálculo con CHEQ4	9
1.3.1. Localización	9
1.3.2. Configuración	9
1.3.3. Demanda	12
1.3.4. Solar y apoyo	12
1.3.5. Otros parámetros	13
1.3.6. Resultados	13
1.4. Descripción del edificio	14
1.5. Descripción de la instalación solar	15
1.6. Características técnicas de los elementos de la instalación	16
1.6.1. Captador solar plano	16
1.6.2. Depósito de acumulación	17
1.6.3. Bomba del circuito primario	18
1.6.4. Bomba del circuito secundario	19
1.6.5. Intercambiador de calor	19
1.6.6. Vaso de expansión	20
1.7. Normativa	21
1.7.1. Código técnico de la edificación (CTE) HE-4	21
1.7.2. Normas UNE	21
1.7.3. Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE)	22
1.8. Bibliografía	23
<b>2 Memoria de cálculo</b>	<b>24</b>
2.1. Introducción	25
2.2. Datos de partida	25
2.2.1. Situación del edificio	25
2.2.2. Climatología	25

2.2.3. Radiación solar sobre superficie horizontal	26
2.3. <i>Inclinación y Orientación</i>	27
2.4. <i>Radiación solar sobre la superficie inclinada</i>	27
2.5. <i>Cálculo de la demanda</i>	31
2.5.1. Consumo	31
2.5.2. Demanda energética	32
2.6. <i>Dimensionado básico</i>	34
2.7. <i>Disposición de los captadores</i>	38
2.8. <i>Dimensionado del intercambiador de calor</i>	39
2.9. <i>Dimensionado aerotermo</i>	40
2.10. <i>Dimensionado de la red de tuberías</i>	41
2.10.1. Pérdida de carga en el captador	41
2.10.2. Cálculo de la red de tuberías	41
2.11. <i>Dimensionado de la bomba de circulación</i>	47
2.11.1. Selección de la bomba del circuito primario	47
2.11.2. Selección de la bomba del circuito secundario	48
2.12. <i>Dimensionado vaso de expansión</i>	49
2.13. <i>Cálculo de espesores de aislamiento</i>	50
2.14. <i>Selección de accesorios</i>	51
<b>3 Pliego de Condiciones</b>	<b>52</b>
3.1. <i>Objetivo</i>	53
3.2. <i>Normativa aplicable</i>	53
3.3. <i>Condiciones de materiales y equipos</i>	53
3.4. <i>Provisión del material</i>	61
3.5. <i>Condiciones de montaje</i>	61
3.6. <i>Pruebas, puesta en marcha y recepción</i>	61
3.6.1. General	61
3.6.2. Pruebas parciales	61
3.6.3. Pruebas finales	62
3.6.4. Ajustes y equilibrado	62
3.6.5. Recepción	63
3.7. <i>Mantenimiento</i>	63
3.7.1. Vigilancia	63
3.7.2. Mantenimiento preventivo	64
3.7.3. Mantenimiento correctivo	66
<b>4 Mediciones y presupuestos</b>	<b>67</b>
4.1. <i>Sistema de captación</i>	68
4.2. <i>Sistema de acumulación</i>	68
4.3. <i>Sistema de intercambio</i>	69
4.4. <i>Sistema de medida y control</i>	69
4.5. <i>Sistema hidráulico</i>	69
<b>5 Planos</b>	<b>73</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Situación edificio José Celestino Mutis	25
Tabla 2. Valores mensuales de la irradiación para Dos Hermanas, Sevilla	26
Tabla 3. Parámetros para irradiación inclinada.	28
Tabla 4. Irradiación global, directa y difusa sobre la horizontal.	29
Tabla 5. Relaciones e irradiaciones respecto a la superficie horizontal e inclinada	31
Tabla 6. Demanda ACS para usos distintos del residencial privado [2]	32
Tabla 7. Demanda energética por meses	33
Tabla 8. Fracción solar para diferentes números de captadores	37
Tabla 9. Fracción solar para diferente números de captadores	37
Tabla 10. Valores para diferentes volúmenes de acumulación	38
Tabla 11. Fracción solar en función del número de captadores en serie	38
Tabla 12. Parámetros finales de la instalación	38
Tabla 13. Distancia entre filas de captadores en función del día	39
Tabla 14. Caudales límites en función de los diámetros nominal de las tuberías	42
Tabla 15. Longitudes equivalentes de diferentes accesorios	44
Tabla 16. Accesorios y pérdidas de cargar por tramo	45
Tabla 17. Dimensionado de tuberías por tramo	46
Tabla 18. Pérdidas de presión para los diferentes circuitos del subsistema primario	47
Tabla 19. Pérdidas de presión en diferentes circuitos con aerotermo	47
Tabla 20. Espesores mínimos por diámetro exterior de tubería	51
Tabla 21. Mantenimiento preventivo en el sistema de captación	64
Tabla 22. Mantenimiento preventivo en el sistema de acumulación.	64
Tabla 23. Mantenimiento preventivo del circuito hidráulico	65
Tabla 24. Mantenimiento preventivo del sistema eléctrico y de control.	65
Tabla 25. Mantenimiento preventivo del sistema auxiliar	65
Tabla 26. Mantenimiento preventivo en el sistema de intercambio	65
Tabla 27. Resumen presupuesto	72





# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Esquema de una instalación solar térmica de baja temperatura [1]	2
Figura 2. Elementos que conforman un captador solar plano [1]	3
Figura 3. Disposición de tubos, serpentín a la izquierda y parrilla a la derecha [1]	4
Figura 4. Ejemplo de conexión en paralelo [1]	5
Figura 5. Ejemplo de conexión en serie [1]	5
Figura 6. Acumulador con intercambiador integrado de tipo serpentín [2]	6
Figura 7. Vaso de expansión de tipo cerrado [3]	7
Figura 8. Pantalla localización CHEQ4	9
Figura 9. Pantalla configuración CHEQ4	11
Figura 10. Pantalla demanda CHEQ4	12
Figura 11. Pantalla solar y apoyo CHEQ4	13
Figura 12. Pantalla de otros parámetros CHEQ4	13
Figura 13. Pantalla de resultados CHEQ4	14
Figura 14. Edificio José Celestino Mutis	14
Figura 15. Sala de máquinas del edificio	15
Figura 16. Esquema de principio de la instalación	15
Figura 17. Captador solar modelo G26 marca Termicol.	17
Figura 18. Depósito de acumulación modelo MV8000RB de la marca lapesa	18
Figura 19. Modelo VeroTwin- DPL 32/85-0,37/2 de la marca wilo	18
Figura 20. Bomba modelo Star-ZD 25/6 de la marca wilo	19
Figura 21. Intercambiador modelo AN14-30H de Alfa Laval	20
Figura 22. Vaso de expansión modelo 706SOL080 de la marca Termicol	21
Figura 23. Espesores mínimos del aislamiento (mm) en interiores	22
Figura 24. Espesores mínimos del aislamiento (mm) en exteriores	22
Figura 25. Temperaturas medias mensuales	25
Figura 26. Heladas y temperaturas medias por día en cada mes	26
Figura 27. Edificio con referencia cardinal	27
Figura 28. Irradiación horizontal frente a inclinada	31
Figura 29. Demanda mensual de energía para ACS	33
Figura 30. Pantalla localización CHEQ4	34
Figura 31. Pantalla configuración CHEQ4	35
Figura 32. Pantalla demanda CHEQ4	35
Figura 33. Pantalla solar/apoyo CHEQ4	36
Figura 34. Pantalla otros parámetros CHEQ4	36
Figura 35. Representación de las variables que definen la separación entre filas de captadores	39

Figura 36. Esquema disposición tuberías en cubierta	42
Figura 37. Esquema disposición tuberías en sala de máquinas	43
Figura 38. Conexión del aerotermo al circuito primario	44
Figura 39. Curva característica para la bomba Vero Twin-DPL	48
Figura 40. Curva característica para la bomba Wilo Star-ZD 25/6	48
Figura 41. Porcentaje de las mediciones finales respecto a cada sistema	72



# **1 MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

## 1.1. Objeto del proyecto

El objetivo del proyecto es diseñar una instalación de energía solar de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria (ACS), en una residencia de estudiantes situada en la universidad Pablo de Olavides, municipio de Dos hermanas (Sevilla).

Para llevar a cabo el diseño, se partirá de un estudio climatológico de la zona con el objetivo de conocer la radiación solar incidente. También, se analizará la demanda de ACS necesaria en el edificio, ya que para el correcto cumplimiento de la normativa es necesario cubrir un porcentaje mínimo mediante la instalación solar. Por último, se dimensionarán los diferentes equipos que conforman la instalación.

## 1.2. Instalaciones de energía solar

Una instalación de energía solar a baja temperatura se refiere a un sistema que utilice la radiación solar para generar calor a temperaturas relativamente bajas, generalmente por debajo de los 100°C. Esta característica es la que diferencia estos sistemas de otros como las centrales termosolares, que funcionan concentrando la radiación solar para el calentamiento de un fluido a altas temperaturas y finalmente su utilización para la producción de energía eléctrica.

Las instalaciones solares de baja temperatura son usadas tanto para aplicaciones industriales como en la edificación. La aplicación más intuitiva es su uso para el calentamiento de un fluido caloportador como el aire o el agua. Siendo lo más común usar agua tanto para ACS como para calefacción, aplicaciones cuyas temperaturas están entre 30-70 °C.

Los equipos básicos que constituyen una instalación solar térmica son: captadores solares; acumulador térmico e intercambiadores; sistema de control; circuito hidráulico; y sistema auxiliar. En la Figura 1 se pueden observar todos los elementos del sistema ya mencionados, su funcionamiento es expuesto brevemente a continuación.

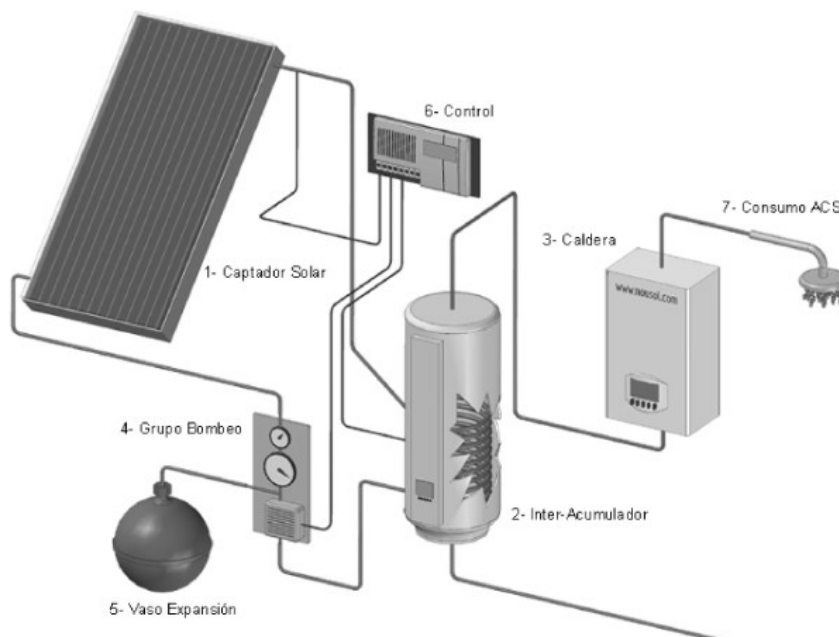


Figura 1. Esquema de una instalación solar térmica de baja temperatura [1]

Primero, la radiación solar incide en el captador, calentando el fluido caloportador que es introducido por la parte inferior a una baja temperatura. El fluido, ahora a mayor temperatura, sale por la parte superior del equipo para dirigirse al sistema de acumulación, en su camino atraviesa varios dispositivos como purgadores, válvulas de seguridad y disipadores que protegen la instalación en caso de sobrecalentamientos. El fluido ya mencionado, comúnmente agua con un pequeño porcentaje de anticongelante, transfiere calor a la corriente secundaria, agua de consumo. La bomba del primario es la encargada de mover el fluido por el circuito. Tras el sistema de acumulación y antes de la bomba, se encuentra un vaso de expansión cuya función es amortiguar las variaciones de volumen que puedan producirse en el sistema.

El sistema de control es el encargado de hacer posible el intercambio de calor, ya que hace funcionar la bomba del primario cuando se detecta una diferencia de temperaturas entre el fluido caloportador a la salida del captador y el agua del acumulador.

Por último, hay que destacar que el papel del sistema auxiliar es cubrir parte de la demanda energética cuando la instalación solar no sea capaz de producir toda la energía demandada.

### 1.2.1. Captadores solares

Los captadores solares son un tipo específico de intercambiador de calor, que funciona transformando la radiación solar en energía interna del fluido caloportador que pasa a través de él. Se pueden distinguir distintos tipos de captadores solares como: captadores planos, los más comunes; captadores de caucho o polipropileno, usados para el calentamiento de piscinas; y captadores de tubos de vacío, con una tecnología más sofisticada que permite alcanzar una mayor temperatura del fluido.

El rendimiento de un captador se define como el porcentaje de energía incidente que se transforma en energía interna del fluido. En estos equipos se puede distinguir entre dos tipos de pérdidas diferentes: ópticas, solo parte de la radiación incidente es recibida por la placa metálica y consecuentemente por el fluido; y las térmicas, debidas a las pérdidas de calor con el entorno.

En un captador de placa plana ( Figura 2), el elemento metálico absorbente de energía se encuentra recubierto por un aislante en un lado y por una cubierta de material transparente, por el otro. Todo esto protegido con una estructura rígida.

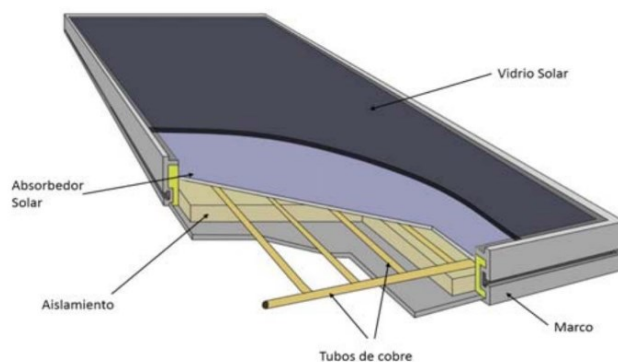


Figura 2. Elementos que conforman un captador solar plano [1]

#### a) Absorbedor solar

La misión de este componente es absorber de la forma más eficaz posible la radiación solar y transferirla al fluido de trabajo. Las superficies están formadas por placas metálicas unidas a los tubos por los que circula el fluido caloportador, que a la vez que se calienta refrigera las placas.

Los primeros desarrolladores diseñaron absorbedores que consistían en chapas de acero por las que se hacía pasar el fluido, sin embargo, esta configuración no permitía altas presiones de trabajo y provocaba grandes

pérdidas de cargas. En la actualidad, los fabricantes disponen una red de tuberías por dentro de los captadores. Está suele ser de cobre, por lo que el pH del fluido de trabajo es controlado para evitar reacciones químicas.

Se puede diferenciar entre dos tipos de disposición de los tubos en serpentín y en parrilla como se puede observar en la Figura 3.

- La disposición en parrilla tiene la ventaja de que permite la circulación del fluido en régimen natural. Consiste en una parrilla de tubos paralelos entre sí, conectados en los extremos con tubos distribuidores encargados de la admisión y descarga del fluido.
- La distribución en serpentín, pese a conseguir un salto térmico equivalente a la disposición en parrilla, no permite la circulación natural debido a unas mayores pérdidas de carga. Sin embargo, su fabricación es menos costosa.

Lo que se busca en estas superficies es una alta absorción de la radiación solar y una baja emisión del calor por radiación. En la actualidad los absorbedores son tratados mediante deposición superficial de diferentes sustancias que mejoran la absorptividad y disminuyen la emisividad.

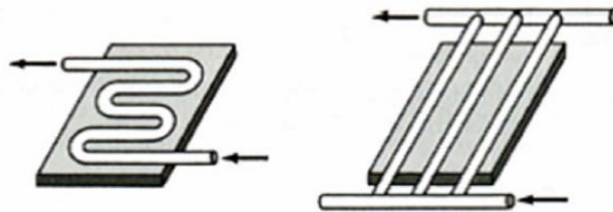


Figura 3. Disposición de tubos, serpentín a la izquierda y parrilla a la derecha [1]

#### b) Marco o carcasa

Se trata de una estructura que encapsula todos los componentes, los protege de las inclemencias meteorológicas y permite la fijación al edificio mediante los soportes.

Para evitar la condensación de agua se llevan a cabo uno de los siguientes procedimientos: generar el vacío dentro del equipo o crear orificios que permitan la aireación de este.

#### c) Aislante

Es el componente encargado de minimizar las pérdidas térmicas por la parte posterior y lateral de los equipos. Estos materiales deben de ser capaces de soportar altas temperaturas por lo que en muchas ocasiones se recubren de una capa reflectante que impida la radiación directa. Deben, también, ser capaces de soportar la humedad que pudiese crearse en interior y el envejecimiento sin llegar a degradarse. Los materiales más utilizados en la actualidad para este uso son lana de vidrio, espuma rígida de poliuretano, resina de melamina y poliestireno expandido.

#### d) Cubierta o vidrio solar

Se trata de una cubierta transparente a la radiación de onda corta, pero opaca a la de onda larga. Esto es así para permitir la incidente radiación solar sin dejar salir la radiación generada en el interior del captador, creando un efecto invernadero dentro del equipo y reduciendo las pérdidas por convección desde el interior.

Es necesario que el material utilizado tenga una buena resistencia mecánica ya que debe resistir el entorno atmosférico. En la actualidad se utilizan cristales de bajo contenido en hierro y policarbonatos.



### e) Conexiones entre paneles

En función de la conexión de los captadores solares elegida se conseguirán diferentes comportamientos térmicos de la instalación.

- Con una conexión en paralelo (Figura 4) se consigue un rendimiento uniforme del captador en toda la instalación, ya que se trabaja con el mismo salto de temperaturas. Sin embargo, se produce un mayor caudal total.

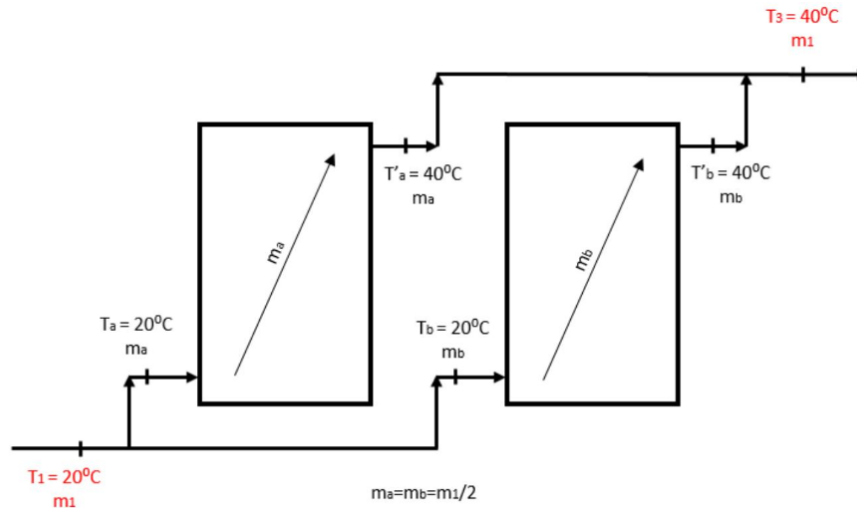


Figura 4. Ejemplo de conexión en paralelo [1]

- Con una conexión en serie (Figura 5) se disminuye el caudal total de la instalación, a cambio de una distribución menos uniforme de los rendimientos de los equipos.

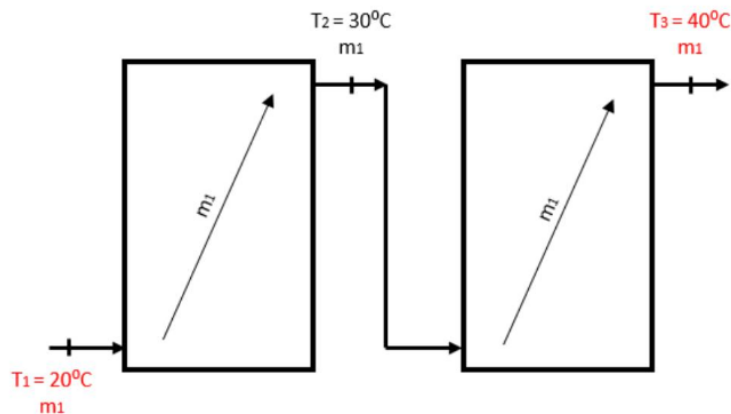


Figura 5. Ejemplo de conexión en serie [1]

- Una conexión Serie-Paralelo permite un mayor salto de temperatura del fluido caloportador a la vez que un caudal total más reducido.

En conclusión, el salto de temperaturas depende de la potencia térmica disponible y del caudal del fluido que circule por el panel, dada una potencia definida al aumentar el caudal se verá reducido el salto de temperatura y viceversa. Mientras, que el rendimiento del panel depende de las temperaturas de entrada, salida y del ambiente.

### 1.2.2. Acumulador térmico

La mayor cantidad de energía generada en el sistema coincide con las horas centrales del día, horas de mayor radiación solar. Sin embargo, la demanda se encuentra repartida durante toda la jornada. Debido a esto es necesario incluir en el sistema un equipo que permita almacenar la energía.

Este almacenamiento puede ocurrir de diferentes formas: por calor sensible, latente y por calor de reacción. En los sistemas de ACS el acumulador más común es el de calor sensible, ya que el uso del agua de consumo permite una implementación más sencilla y económica, al no tener que usarse un intercambiador en el sistema secundario.

Mientras que existen acumuladores sin intercambiadores integrados, en los que la cesión de calor se produce fuera del propio acumulador, el uso de acumuladores con intercambiadores integrados o interacumuladores es muy extendido.

La forma de estos acumuladores suele ser cilíndrica, al igual que suelen disponerse en vertical. De esta manera se produce una estratificación natural del fluido, el agua con mayor temperatura se sitúa en la parte superior al ser menos densa mientras que la fría se asienta en la parte inferior.

El material más común para el conformado de los acumuladores es el acero, pese a que éste necesita de diversos tratamientos para evitar la corrosión. Se recomienda el uso del acero inoxidable, siendo su único inconveniente el precio.

Respecto al dimensionamiento, los estudios teóricos y experimentales indican que el volumen óptimo se encuentra entre los 70-100 l/m<sup>2</sup> respecto a la superficie de captación solar. Disminuir este valor conlleva problemas de corrosión y sobrecalentamiento, mientras, aumentarlo no provocaría un mayor aprovechamiento.

### 1.2.3. Intercambiadores

Este equipo es el encargado de transferir la energía térmica desde el subsistema primario al secundario, desde el fluido caloportador que circula por el campo solar hasta el agua de consumo.

Con respecto al esquema de la instalación se pueden encontrar intercambiadores incorporados a los acumuladores (Figura 6) o intercambiadores externos.

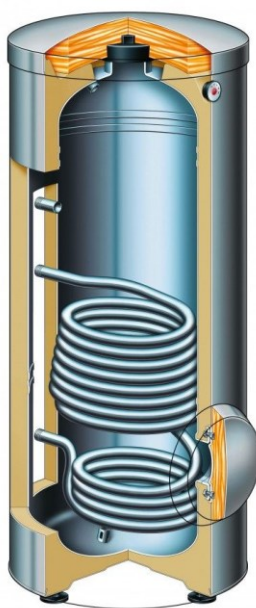


Figura 6. Acumulador con intercambiador integrado de tipo serpentín [2]

Dentro de los intercambiadores integrados al acumulador se puede distinguir entre los de serpentín y los de doble pared. Estos últimos funcionan como un depósito dentro de otro, el fluido del sistema primario circula entre ambos depósitos calentando el contenido del interior. Cuentan con las ventajas de que tienen una pequeña pérdida de carga y son aptos para sistemas que funcionan como termosifón, sin embargo, tienen una baja eficiencia y no se usan para grandes volúmenes.

Por otra parte, los intercambiadores de serpentín se pueden encontrar de diferentes formas y longitudes en función del volumen a calentar. Este se encuentra siempre en la parte inferior del tanque para favorecer la estratificación. En comparación con los intercambiadores de doble pared, los de tipo serpentín son más eficientes, pero generan mayores pérdidas de carga.

En estos casos, al encontrarse el intercambiador incorporado al acumulador, no es posible seleccionar a través de la potencia de intercambio, sino que se definen superficies mínimas de intercambio con relación a la superficie de captación.

Los intercambiadores independientes o ajenos al acumulador requieren de una segunda bomba en el sistema secundario entre dicho equipo y el depósito. Este presenta ventajas como el aumento de la eficiencia del intercambiador, sin embargo, conllevan un mayor coste.

#### 1.2.4. Circuito hidráulico

Además de los equipos ya mencionados, es necesario un circuito hidráulico formado por muchos otros elementos esenciales para el correcto funcionamiento de la instalación. También es preciso para el diseño, el cálculo de pérdidas de carga que soportará la bomba y las pérdidas térmicas que ocurren en el circuito. A continuación, se exponen diferentes equipos que conforman el circuito.

##### a) Fluido caloportador

Este fluido es el encargado de transportar la energía térmica desde el absorbedor hasta el depósito acumulador. Suele usarse agua o agua con un pequeño porcentaje de anticongelante, sin embargo, existen instalaciones con líquidos orgánicos, sintéticos o derivados del petróleo.

El uso del agua es adecuado, siempre y cuando, no haya peligro de heladas o ya exista un sistema de protección antiheladas adicional.

##### b) Vaso de expansión

En la instalación solar existen grandes variaciones de temperatura del fluido caloportador, que pueden ir desde temperaturas ambientales a cercanas a la ebullición. El vaso de expansión (Figura 7) consiste en un depósito que permite la expansión del fluido, contrarrestando los aumentos de volumen y presión producidos.

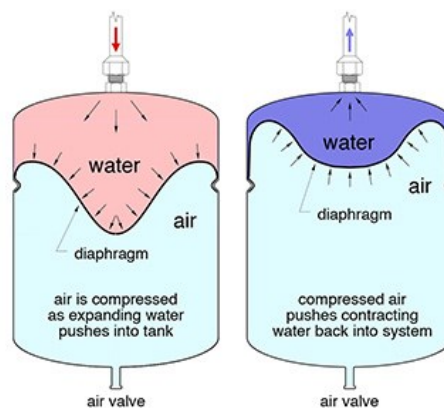


Figura 7. Vaso de expansión de tipo cerrado [3]

Se puede distinguir dos tipos de vasos de expansión: abiertos, en los que el fluido se encuentra en contacto directo con la atmósfera; y cerrados, conformados por un compartimento hermético que se separa del fluido por una membrana elástica.

### **c) Sistema de protección**

Las instalaciones solares sufren grandes variaciones de las condiciones externas y de trabajo, por lo tanto, es necesario elementos que las protejan. Esto es necesario en casi todos los climas, pero especialmente en cálidos, donde la demanda térmica es baja durante los meses de verano, pero la radiación y temperaturas son máximas.

#### **1.2.5. Sistema auxiliar**

El sistema de apoyo es necesario en toda instalación solar, ya que su dimensionamiento para cubrir toda la demanda a lo largo del año sería inviable. La contribución renovable mínima para el ACS se encuentra entre valores del 60 y 70 %, de esta manera la contribución sería suficiente para no recurrir al sistema auxiliar en verano.

La energía auxiliar debe ser aportada al sistema después de la solar, se suele colocar en serie después del sistema solar y se activa cuando la temperatura del fluido no es suficiente.

La legislación impide que el aporte de energía auxiliar se haga en el depósito solar, de esta manera no se desprecia la energía obtenida de forma renovable.

#### **1.2.6. Sistema de regulación y control**

Una vez realizado el esquema hidráulico de la instalación se procede a realizar el sistema de regulación y control. Es importante tener en cuenta durante el diseño algunos criterios que pueden simplificar el sistema. Uno de estos criterios es separar los circuitos en carga y descarga, este método consiste en usar los depósitos para dividir la instalación en la parte que aporta el calor (de carga) y la parte que lo consume (de descarga). Los dos principales sistemas de regulación, histéresis y de caudal variable, se expondrán a continuación.

En el sistema de histéresis es necesario dos sensores de temperatura, uno en la parte más fría de la instalación (parte baja del depósito) y otro a la salida del captador. El modo de funcionamiento consiste en activar la bomba cuando la temperatura del colector es superior a la temperatura del depósito más un gradiente de temperatura, definido por el diseñador y que suele ser de 7°C. La desactivación de la bomba se dará cuando la temperatura del colector sea inferior a la del depósito más un gradiente, en este caso de en torno a 2°C. Esta diferencia entre los gradientes de temperatura de activación y desactivación es necesaria para impedir el excesivo número de arranques y paradas. Además, los sistemas de control, para evitar esta intermitencia, suele incluir un tiempo mínimo de funcionamiento de la bomba de 5 minutos.

También, es común el uso de válvulas de tres vías que permiten tanto el uso de aerotermia cuando se sobrepasan las temperaturas del depósito, como recircular el agua de las tuberías que se ha enfriado cuando la instalación se ha encontrado parada.

El sistema de control del circuito primario permite cargar el depósito con energía siempre que haya calor disponible en los captadores solares y activar la válvula de tres vías cuando se alcanza la temperatura máxima.

Respecto al circuito de ACS, no será necesario un sistema de control siempre y cuando la presión de la red permita el suministro de agua en todos los puntos de consumo.

Con el método de histéresis se trabaja apagando y encendiendo una bomba de caudal constante, sin embargo, trabajando con una bomba de caudal variable se consigue optimizar la producción solar ya que se trabaja a la temperatura de consumo, evitando las paradas y arranques del principio y final del día.

### 1.3. Método de cálculo con CHEQ4

Se expondrá en este apartado el funcionamiento de la herramienta de cálculo usada en el diseño de la instalación. El programa seleccionado es el CHEQ4, que puede ser utilizado para validar el cumplimiento de la contribución mínima en instalaciones tanto de ACS como de agua caliente para piscinas. La herramienta emplea la metodología de cálculo MetaSol, basándose en datos diarios medios mensuales y en correlaciones entre parámetros sin significado físico.

La correcta aplicación del programa es suficiente para acreditar el cumplimiento de los requisitos energéticos expuestos en la sección HE4 del CTE.

A continuación, se explicará el funcionamiento del programa dando indicaciones de cada una de las pantallas.

#### 1.3.1. Localización

En esta pantalla (Figura 8) el programa pretende conocer los parámetros ambientales y climatológicos de la zona en la que se encuentra la instalación. Para ello solo es necesario introducir la provincia, municipio y altura sobre el nivel del mar de la instalación, el programa devolverá la zona climática a la que pertenece (según HE4), la latitud y la altura de referencia.

También, se mostrará una tabla que contendrá los datos de irradiación global media sobre la horizontal (según [4]), temperatura media mensual del agua de red [5] y temperatura ambiente diaria media [6].

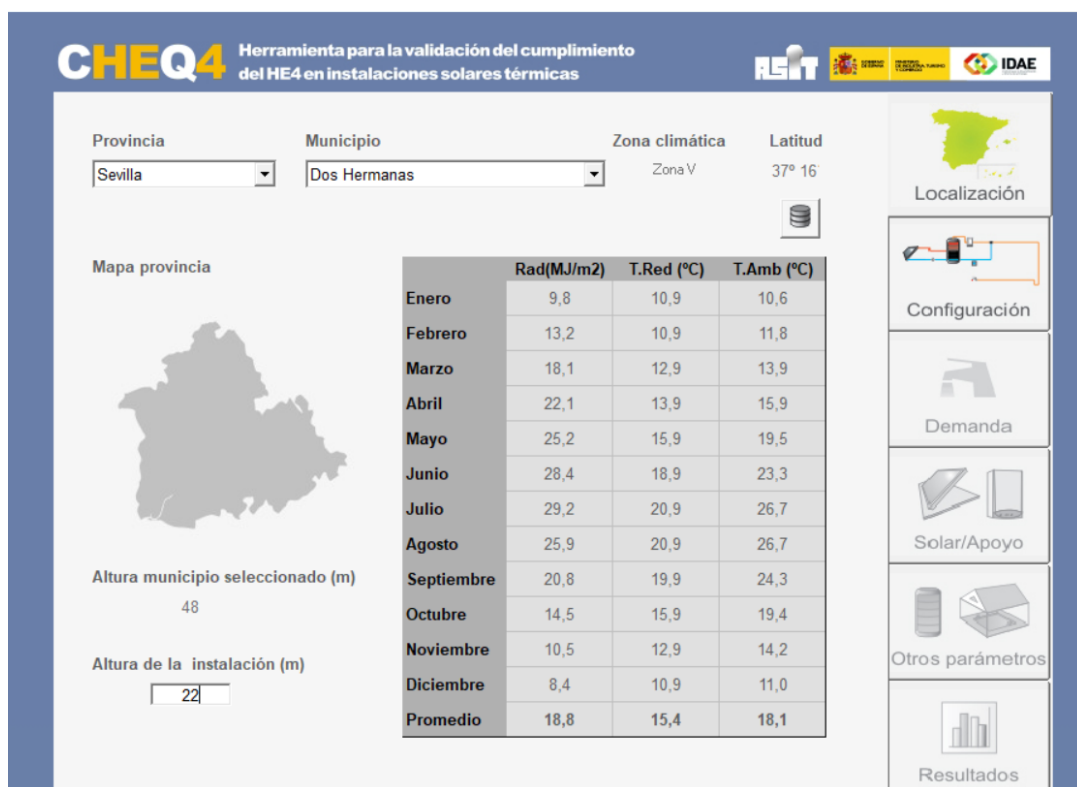


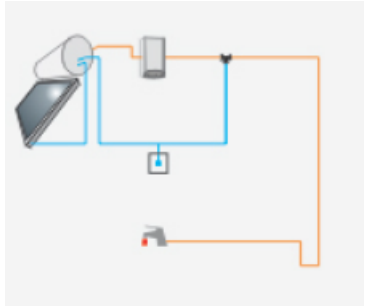
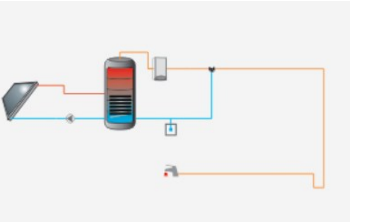
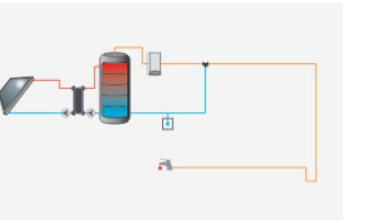
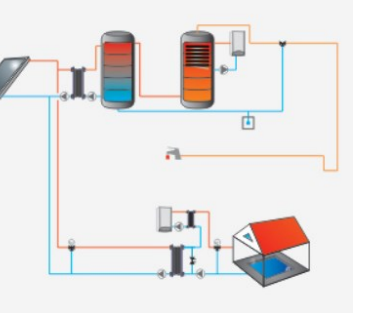
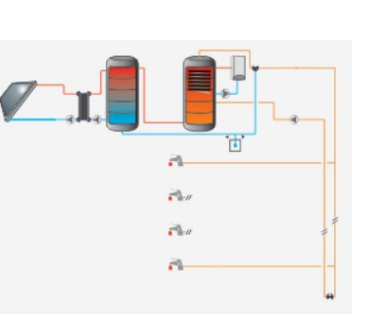
Figura 8. Pantalla localización CHEQ4

#### 1.3.2. Configuración

Una característica importante de la aplicación es que ha sido diseñada para predecir el comportamiento de tipologías de instalaciones habituales, por lo que la utilización en sistemas para los cuales no ha sido definida puede conducir a grandes desviaciones de los resultados.

CHEQ4 utiliza la metodología de cálculo Metasol, que consiste en un conjunto de curvas que permiten predecir las ganancias y pérdidas de cada uno de los sistemas.

La pestaña configuración (Figura 9) permite al programa conocer la configuración del sistema, para poder aplicar las curvas correspondientes. Las diferentes configuraciones se dividen según si los consumidores son múltiples o únicos. En la siguiente tabla se resumen brevemente cada una de las configuraciones disponibles en el programa.

	<p><b>Instalación para consumo único con sistema prefabricado</b></p> <p>En este tipo de instalaciones, en común utilizar un termo eléctrico como sistema de apoyo. Este equipo consiste en un acumulador con una resistencia eléctrica que aporta la energía restante necesaria para cubrir la demanda.</p>
	<p><b>Instalación para consumo único con interacumulador</b></p> <p>Sistema con intercambiador dentro del acumulador solar, sistema de apoyo en serie y válvula termostática.</p>
	<p><b>Instalación para consumo único con intercambiador independiente</b></p> <p>Sistema con acumulador solar, intercambiador externo, sistema de apoyo en serie y válvula termostática.</p>
	<p><b>Instalación para consumo único con intercambiador independiente y piscina cubierta</b></p> <p>Intercambiadores de calor externos para ACS y piscina, acumulador solar y de apoyo centralizados, sistema de apoyo conectado con intercambiador interno o resistencia eléctrica y válvula termostática.</p>
	<p><b>Instalación para consumo múltiple con todo centralizado</b></p> <p>Sistema con acumulación solar centralizada, intercambiador de calor externo, acumulación de apoyo centralizada, sistema de apoyo conectado con intercambiador interno o resistencia eléctrica y conexión directa con el circuito de distribución.</p> <p>Tipología válida para el cálculo de sistema con interacumulador.</p>

	<p><b>Instalación para consumo múltiple con acumulación centralizada y apoyo distribuido</b></p> <p>Sistema con acumulador solar centralizado, intercambiador externo, intercambiador de calor centralizado para la preparación de ACS, sistemas de apoyos en serie y válvulas termostáticas.</p> <p>Tipología adecuada para sistemas de distribución abiertos, con especial atención al diseño y dimensionamiento hidráulico.</p>
	<p><b>Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida</b></p> <p>Sistema con acumuladores individuales, intercambiadores de calor internos, sistemas de apoyo en serie y válvulas termostáticas.</p>
	<p><b>Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido</b></p> <p>Sistema con acumulador solar centralizado, intercambiador externo, intercambiador de consumo distribuido, sistemas de apoyo instantáneos en serie y válvula termostáticas.</p>

CHEQ4

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

CONSUMO ÚNICO	CONSUMO MÚLTIPLE
 Instalación con sistema prefabricado	 Instalación con todo centralizado
 Instalación con interacumulador	 Instalación con apoyo distribuido
 Instalación con intercambiador independiente	 Instalación con acumulación distribuida
 Instalación con intercambiador y piscina cubierta	 Instalación con intercambio distribuido

INSTALACION CON INTERCAMBIADOR INDEPENDIENTE

Sistema solar térmico para producción de ACS en instalaciones de consumo único con acumulador solar, intercambiador externo y válvula termostática.

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura 9. Pantalla configuración CHEQ4

### 1.3.3. Demanda

En este apartado (Figura 10) es necesario especificar la demanda total de ACS del edificio. En el caso de que el consumo sea único solo será necesario expresar la función final del consumo y el número de personas asociadas. Sin embargo, si se trata de un consumo múltiple la demanda será calculada por el programa en función del número de viviendas y dormitorios, siendo posible especificar diferentes modelos de vivienda.

También, será necesario especificar, en el caso de que las hubiese, otras demandas y la ocupación estacional correspondientes al edificio.

Con la información ya aportada al programa, éste es capaz de determinar la contribución solar mínima exigida según el apartado HE4 del CTE.

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

Logos: ASIT, IDAE

**CONSUMO ÚNICO**

Aplicación:

Número de personas:

Demanda calculada (l/día a 60 °C): 6.765

**CONSUMO MÚLTIPLE**

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

Demanda calculada (l/día a 60 °C):

**CONSUMO TOTAL**

Otras demandas (l/día a 60°C):

Demanda total (l/día a 60°C): 6.765

**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%

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura 10. Pantalla demanda CHEQ4

### 1.3.4. Solar y apoyo

A continuación, es necesario definir el modelo de captador solar (Figura 11) de los disponibles en la base de datos. Una vez seleccionado, las especificaciones técnicas aparecerán en la pantalla, aunque se requiere su comprobación.

También, es necesario especificar el número de captadores, la disposición de estos, las pérdidas por sombra y la orientación.

Respecto al circuito hidráulico del campo de captadores, es necesario conocer su longitud, espesor y tipo de aislante. Además, se debe decidir el porcentaje de anticongelante, si es que el diseño de la instalación lo requiere.

Por último, se define el tipo de sistema de apoyo y el combustible a utilizar.



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

**CAPTADORES**  
 Empresa: TUSOL Sistemas Energéticos, S.L.  
 Marca/Modelo: C2.0SOL

**Datos de ensayo**

Área (m <sup>2</sup> )	1.92
n0 (-)	0.717
a1 (W/m <sup>2</sup> K)	3.556
a2 (W/m <sup>2</sup> K)	0.014
Qtest(l/hm <sup>2</sup> )	72
k50	0.97
Laboratorio	Fraunhofer
Certificación	NPS-37613

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

**CAMPO DE CAPTADORES**  
 Núm. captadores: 40    Captadores en serie: 1    Pérdidas sombras (%): 3  
 Orientación (°): -34    Inclinación (°): 37    Área total captadores (m<sup>2</sup>): 76.80

**CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO**  
 Caudal prim.(l/h): 5.530    Anticongelante (%): 0    Long. circuito (m): 100  
 Diám. tubería (mm): 38    Esp. aislante (mm): 40    Aislante: genérico

**SISTEMA DE APOYO**  
 Tipo de sistema: Caldera convencional  
 Tipo de combustible: Gas natural

**Localización**  
**Configuración**  
**Demanda**  
**Solar/Apoyo**  
**Otros parámetros**  
**Resultados**

Figura 11. Pantalla solar y apoyo CHEQ4

### 1.3.5. Otros parámetros

Finalmente, se rellena el volumen de acumulación necesario y parámetros relacionados con el circuito de distribución como dimensiones, espesores y tipo de aislante (Figura 12).

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

**VOLUMEN DE ACUMULACIÓN**  
 Volumen total (l): 5700  
 Vol/Área (l/m<sup>2</sup>): 74.22

**VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES**  
 Tipo A (l):    Tipo C (l):  
 Tipo B (l):    Tipo D (l):  
 Volumen total (l): 0    Vol/Área (l/m<sup>2</sup>):

**DISTRIBUCIÓN**  
 Long. circuito (m): 100  
 Diám. tubería (mm): 40  
 Esp. aislante (mm): 30    T. imp.(°C): 55  
 Aislante: genérico

**DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES**  
 Long. total (m):  
 Diám. tubería (mm):  
 Esp. aislante (mm):  
 Aislante:

**PISCINA CUBIERTA**  
 Altura (m):    Temp. ambiente (°C):  
 Apertura diaria (h):    Temp. piscina (°C):  
 Superficie lámina (m<sup>2</sup>):    Renov. volumen día (%):  
 Humedad relativa (%):    Ocupación (pers/m<sup>2</sup>):

**Localización**  
**Configuración**  
**Demanda**  
**Solar/Apoyo**  
**Otros parámetros**  
**Resultados**

Figura 12. Pantalla de otros parámetros CHEQ4

### 1.3.6. Resultados

El programa nos presenta una pequeña tabla (Figura 13) con información sobre la fracción solar, la demanda bruta, el aporte solar y consumo auxiliar. Además de una pequeña gráfica con la información de los parámetros por meses.

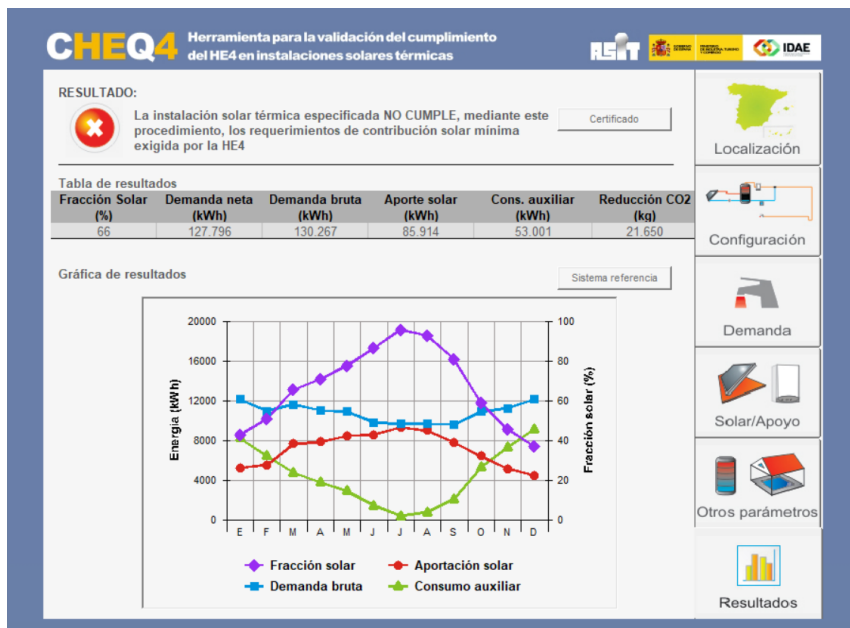


Figura 13. Pantalla de resultados CHEQ4

## 1.4. Descripción del edificio

El edificio, José Celestino Mutis (Figura 14), es una residencia en el campus de la Universidad Pablo de Olvidas (UPO). Fue construida en el año 1956, cuenta con 5 plantas y 3 000 m<sup>2</sup> de superficie útil. Se encuentra situada en el municipio de Dos Hermanas en la provincia de Sevilla. Está formado por 119 habitaciones, compartidas e individuales, que pueden albergar hasta 165 personas.



Figura 14. Edificio José Celestino Mutis

La instalación de ACS actual consiste en termos eléctricos, situados en cada uno de los baños de las habitaciones. Estos equipos son calentadores de 50 litros de capacidad, en su mayoría, de la marca Merloni Termosanitari con una potencia de 1200W y una presión de 0,8 MPa.

El sistema de distribución de agua que alimenta dichos calentadores se encuentra en la planta baja, en la sala de máquinas (Figura 15), esté extrae el agua de un aljibe que se encuentra bajo el edificio y que abastece al mismo.



Figura 15. Sala de máquinas del edificio

## 1.5. Descripción de la instalación solar

En la Figura 16 se representa el esquema de principio. En el circuito primario, la bomba impulsa el fluido caloportador a través de los captadores para después llegar al intercambiador y repetir el ciclo.

El grupo de bombeo está formado por dos bombas en redundancia paralelo, con válvulas de cierre que permiten alternar entre ambas bombas, válvulas antirretorno, filtros de aspiración y manómetros.

El sistema de captación está constituido por 46 captadores dispuestos en paralelo sobre la cubierta del edificio, la red de tuberías que los conecta está configurada con retorno invertido, asegurando de esta manera el equilibrado de la red. Además, tras el sistema de captación se colocarán un purgador de aire, una válvula de vaciado, una válvula de seguridad, un manómetro y un termómetro.

También, encontramos en este circuito un sistema de llenado y vaciado y un vaso de expansión que ayudará a absorber las variaciones de volumen del fluido.

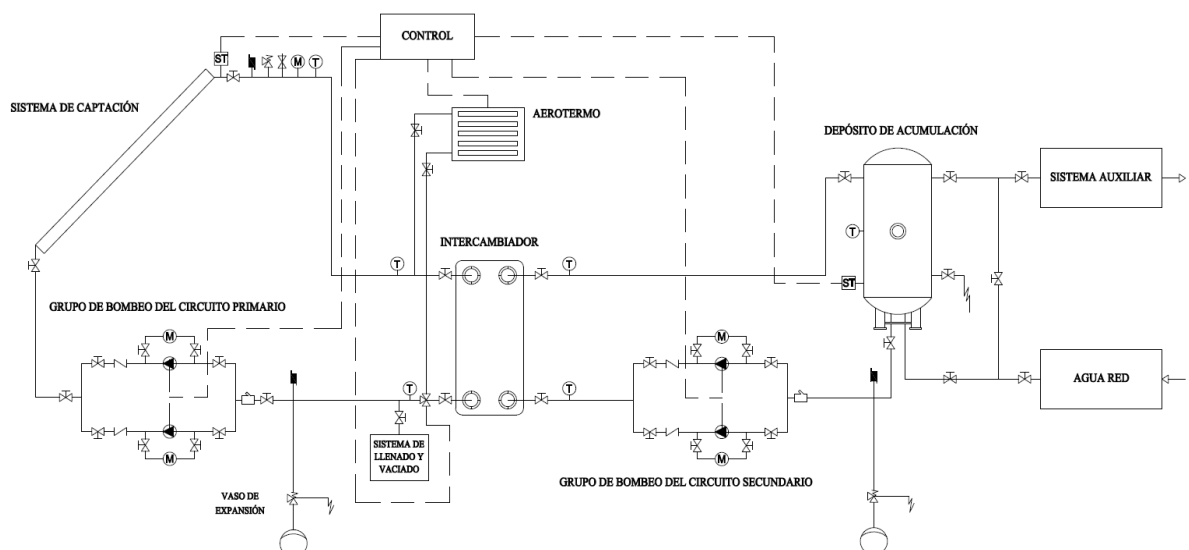


Figura 16. Esquema de principio de la instalación

En el circuito secundario se encuentra el depósito de acumulación, el agua que se halla en la parte fría de este es impulsada por la bomba de circulación al intercambiador y tras calentarse regresa al depósito, dicha bomba funcionara siempre que lo haga la bomba del primario.

De la parte superior del sistema de acumulación se extrae el agua caliente que se dirigirá al sistema auxiliar, en este caso termos eléctricos, donde se le aportará la energía necesaria para alcanzar la temperatura adecuada, en el caso de no haberse alcanzado con la aportación solar.

Dicho depósito, de 9 000 litros, y el sistema de bombeo del circuito secundario se dispondrán en una sala de la planta baja del edificio en la que se encuentran las tomas principales de agua.

El sistema de control utilizado es un control diferencial que mide la temperatura mediante sensores en dos partes diferentes de la instalación. Una en la parte más fría de la instalación (parte baja del depósito) y la otra a la salida del captador. El modo de funcionamiento consiste en activar la bomba cuando la temperatura a la salida del captador es superior a la temperatura del depósito más un gradiente de temperatura de 7°C. La desactivación de la bomba se dará cuando la temperatura a la salida sea inferior a la del depósito más un gradiente, en este caso de en torno a 2°C. Esta diferencia entre los gradientes de temperatura de activación y desactivación es necesaria para impedir el excesivo número de arranques y paradas.

Como sistema de seguridad ante sobrecalentamientos se ha proyectado un aerotermo conectado por una válvula de 3 vías a la salida del campo de captadores. El sistema de control permitirá la entrada del fluido sobrecalentado en el equipo, arranca el ventilador del aerotermo y la bomba de circulación del primario. De esta forma el fluido refrigerará los captadores impidiendo un sobrecalentamiento de estos.

Para evitar la congelación en los captadores, cuando la temperatura a la salida del sistema de captación sea inferior a los 3 °C se activarán las bombas del circuito primario y secundario hasta que la temperatura alcance los 7 °C.

## 1.6. Características técnicas de los elementos de la instalación

Se procede, en este punto de la memoria, a exponer las características técnicas de los diferentes equipos que conforman la instalación.

### 1.6.1. Captador solar plano

El modelo seleccionado para la instalación es el G26 de la marca Termicol, Figura 17, con las siguientes características técnicas:

- Superficie bruta/neta = 2,52 /2, 30 [m<sup>2</sup>]
- Dimensiones 2039x1239x81 [mm]
- Disposición vertical
- Rendimiento óptimo = 81,8 %
- Coeficiente lineal de pérdidas k1 = 3,643 [W/k m<sup>2</sup>]
- Coeficiente cuadrático de perdidas k2 = 0,013 [W/k<sup>2</sup> m<sup>2</sup>]
- K50 = 0,88
- Caída de presión definida por la siguiente ecuación

$$\Delta H[Pa] = 0,006 * Q[l/h]^2 + 0,990 Q[l/h]$$

- Cubierta de cristal templado solar de 3,2 [mm]
- Aislamiento de lana de vidrio
- Absorbedor de aluminio.
- Flujo óptimo de 30 [l/h m<sup>2</sup>]
- Peso en vacío de 38,2 [kg]
- Capacidad de 1,4 [l]
- Presión máxima de trabajo 8 [bar]

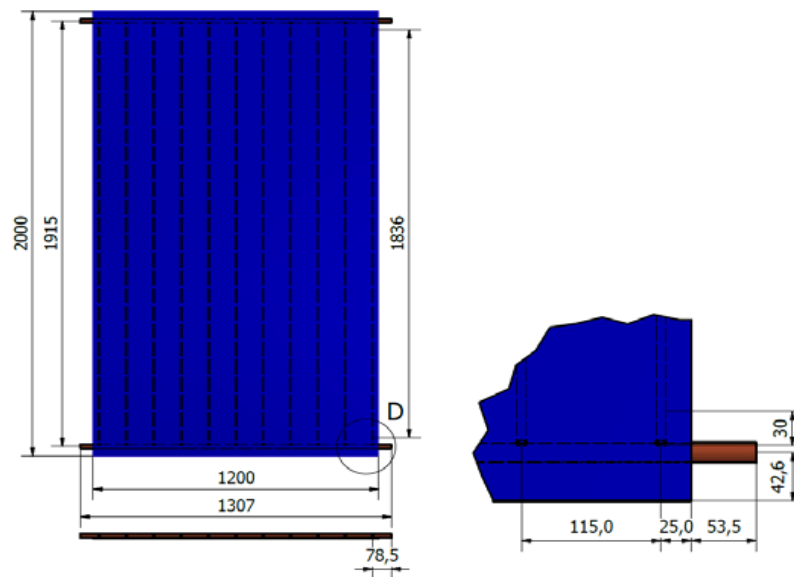


Figura 17. Captador solar modelo G26 marca Termicol.

### 1.6.2. Depósito de acumulación

El modelo seleccionado es el MV8000RB de la marca Lapesa, Figura 18, con las siguientes características técnicas:

- Capacidad de acumulación = 8 000 [l]
- Material = Acero con revestimiento epoxídico
- Temperatura máxima de trabajo = 75 [°C]
- Presión máxima de trabajo = 8 [bar]
- Boca de hombre lateral = DN400
- Diámetro exterior = 1750 [mm]
- Altura total = 4058 [mm]
- Peso en vacío = 1057 [kg]

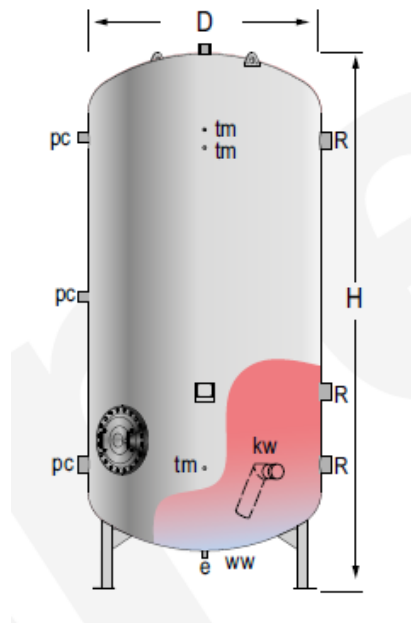


Figura 18. Depósito de acumulación modelo MV8000RB de la marca lapesa

### 1.6.3. Bomba del circuito primario

El equipo seleccionado es el modelo Vero Twin- DPL 32/85-0,37/2 de la marca wilo, Figura 19, con las siguientes características técnicas:

- Máxima presión de trabajo = 10 [bar]
- Número de polos = 2
- Peso = 36,2 [kg]
- Rango de temperaturas = -20 a 120 [°C]
- Temperatura ambiente máxima = 40 [°C]
- Alimentación eléctrica = 3- 400 [V], 50 [Hz]
- Consumo de potencia nominal = 0,37 [kW]
- Caudal de diseño= 4 230 [l/h]
- Diferencia de presión en condiciones de diseño= 75,59 [kPa]

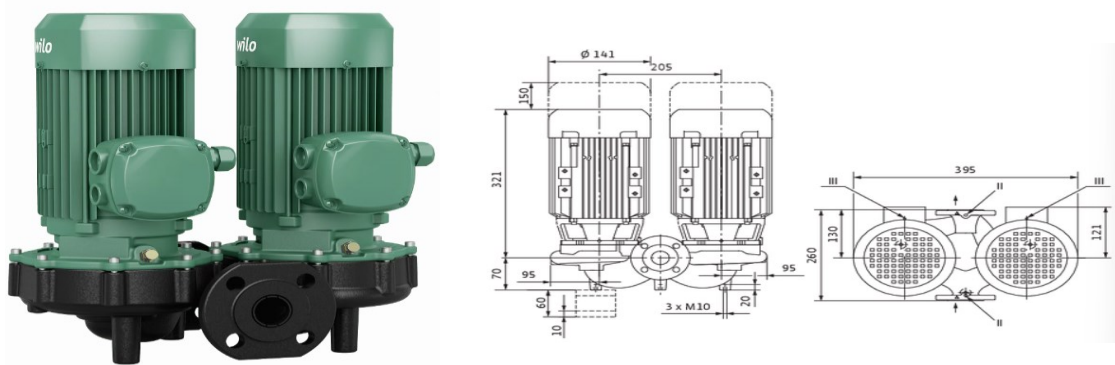


Figura 19. Modelo VeroTwin- DPL 32/85-0,37/2 de la marca wilo

#### 1.6.4. Bomba del circuito secundario

El equipo seleccionado es el modelo Star-ZD 25/6 de la marca wilo, Figura 20, con las siguientes características técnicas:

- Máxima presión de trabajo = 10 [bar]
- Número de polos = 2
- Peso = 6,5 [kg]
- Rango de temperaturas = 2 a 65 [°C]
- Temperatura ambiente máxima = 40 [°C]
- Alimentación eléctrica = 1- 230 [V], 50 [Hz]
- Consumo de potencia nominal = 57 [W]
- Caudal de diseño= 4 230 [l/h]
- Diferencia de presión en condiciones de diseño= 31,5 [kPa]

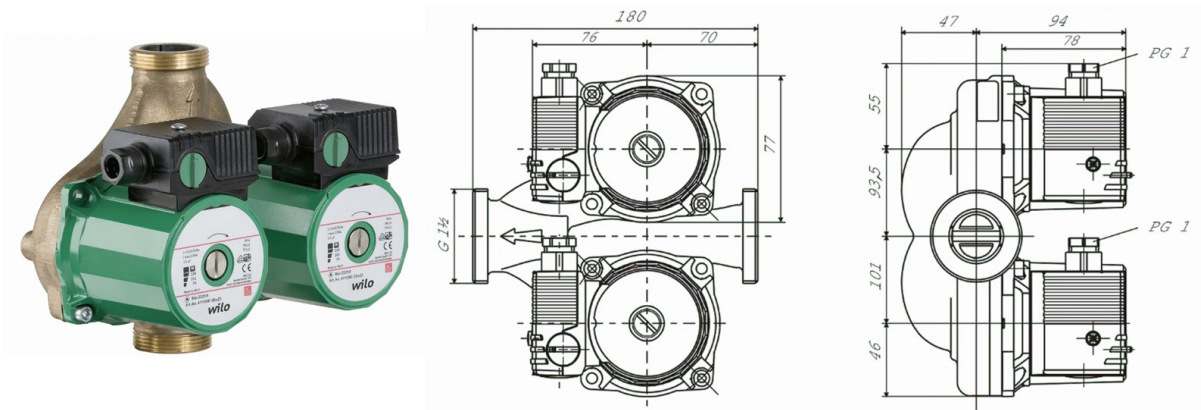


Figura 20. Bomba modelo Star-ZD 25/6 de la marca wilo

#### 1.6.5. Intercambiador de calor

El intercambiador seleccionado es el modelo AN14-30H de la marca Alfa Laval, Figura 21, con las siguientes características técnicas:

- Número de placas = 40
- Área de intercambio = 0,580 [m<sup>2</sup>]
- Potencia = 65 [kW]
- Material = Acero inoxidable
- Caudal para ambos circuitos= 1,175 [kg/s]
- Salto térmico para ambos circuitos= 11 [°C]
- Pérdida de carga para ambos circuitos = 30 [kPa]

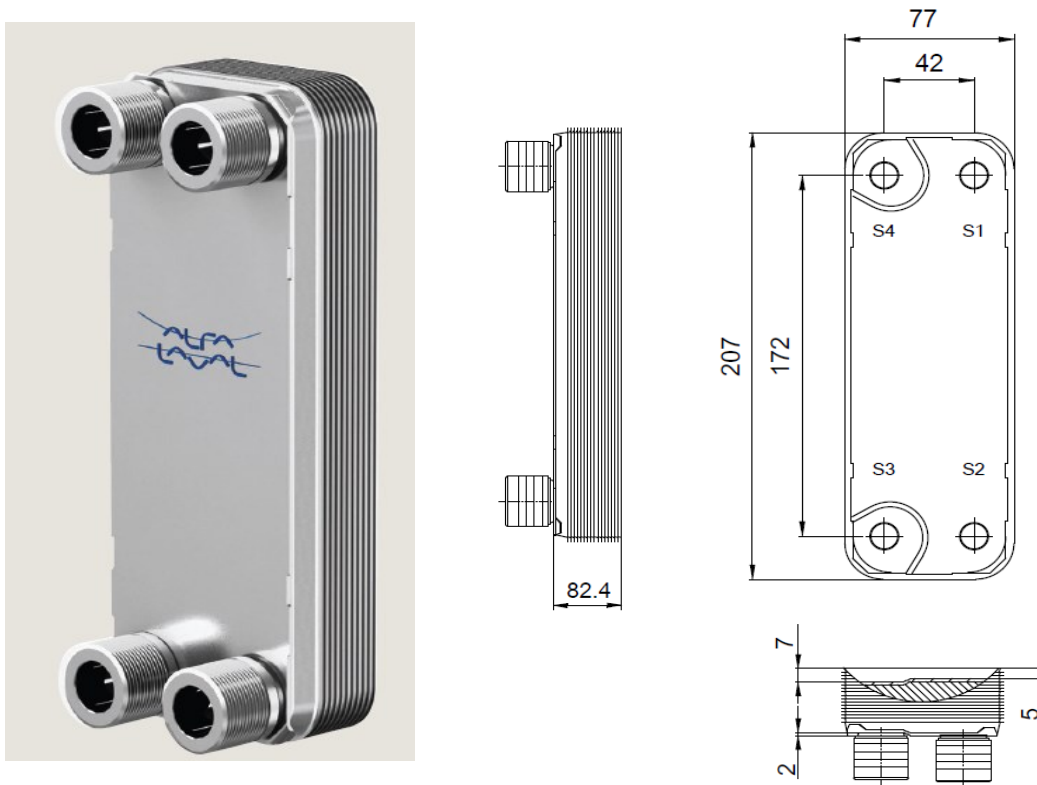


Figura 21. Intercambiador modelo AN14-30H de Alfa Laval

### 1.6.6. Vaso de expansión

El vaso de expansión seleccionado es el modelo 706SOL080 de la marca Termicol, Figura 22, con las siguientes características térmicas:

- Presión máxima de trabajo = 10 [bar]
- Presión de precarga = 2,5 [bar]
- Temperatura mínima = -10 [°C]
- Temperatura máxima = 100 [°C]
- Capacidad = 80 [l]
- Conexiones = 1[']
- Membrana recambiable
- Diámetro = 450 [mm]
- Alto = 750 [mm]
- Peso = 16 [kg]





Figura 22. Vaso de expansión modelo 706SOL080 de la marca Termicol

## 1.7. Normativa

Es necesario que la instalación cumpla con las normas vigentes expuestas en el Código Técnico de la Edificación (CTE-HE4) y en el Reglamento de la Instalación Técnica en la Edificación (RITE). Además, se hará referencia a las normas de la Asociación Española de Normalización (UNE) que han sido utilizadas para la redacción de este proyecto.

### 1.7.1. Código técnico de la edificación (CTE) HE-4

Esta instalación se encuentra dentro del ámbito de aplicación de la norma, ya que se habla de un edificio existente con un consumo de ACS superior a 100 l/día, según al anejo F, en el que se reforma íntegramente la instalación de generación térmica. En la memoria de cálculo, punto 2.5.1, se desarrolla el procedimiento expresado en dicho anejo F, obteniéndose un consumo de 6 765 l/día.

Respecto a la fracción solar mínima, es necesario superar el 70% debido a que la demanda es mayor a los 5 000 l/día, siendo la fracción solar de la instalación proyectada de un 78%.

### 1.7.2. Normas UNE

#### a) UNE 94002:2005

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

#### b) UNE 94003:2007

Esta norma, aplicable a cálculos de instalaciones solares térmicas de baja temperatura, proporciona valores climáticos de irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal y de temperatura ambiente.

### 1.7.3. Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE)

IT 1.1.4.3.1 Preparación de agua caliente para usos sanitarios. Se tendrá en cuenta la legislación higiénico-sanitario en relación con la legionela, por lo que se trabajará con temperaturas entre los 50-70 °C. Los materiales empleados en el circuito deberán resistir la acción agresiva del agua sometida a tratamiento de choque químico.

IT 1.2.4.2.1 Aislamiento térmico de redes de tuberías. En las siguientes tablas, Figura 23 y Figura 24, se expresan los espesores mínimos de aislamiento térmicos, en función del diámetro exterior de la tubería sin aislar y de la temperatura del fluido en la red y para un material de conductividad térmica de referencia de 10°C de 0,40 W/(m.k).

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

Figura 23. Espesores mínimos del aislamiento (mm) en interiores

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

Figura 24. Espesores mínimos del aislamiento (mm) en exteriores

IT 1.2.4.2.7 Redes de tuberías. Es necesario conseguir el equilibrio de las tuberías durante la etapa de diseño empleando válvulas de equilibrio, si fuera necesario.

IT 1.3.4.4.5 Medición. Las instalaciones térmicas deben de disponer de la instrumentación de medida suficiente para la supervisión de todos los valores de los parámetros que intervienen de forma fundamental en el funcionamiento de estos. Los aparatos de medida se situarán en lugares visibles y fácilmente accesibles para su lectura y mantenimiento. [7]

## 1.8. Bibliografía

- [1] A. Martínez Gracia, *Instalaciones solares térmicas de baja temperatura*. en Textos docentes ; 263. Energías renovables. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2017.
- [2] S. L. Viessmann, «VITOCELL 300-V», Madrid, 2018.
- [3] J. Siegenthaler, «10 details for expansion tanks», Heating Plumbing Air Conditioning . Accedido: 30 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.hpacmag.com/features/10-details-for-expansion-tanks/>
- [4] J. Riesco Martín, J. M. Sancho Ávila, C. Jiménez Alonso, M. C. Sánchez de Cos Escuin, J. Montero Cadalso, y M. López Bartolomé, «Atlas de Radiación Solar en España».
- [5] «UNE 94002», 2005.
- [6] «UNE 94003», 2007.
- [7] Grupo Termotecnia, «Apuntes Energía solar a baja temperatura». ETSI, Universidad de Sevilla, 2023.
- [8] M. Y. A. U. MINISTERIO DE TRANSPORTES, «Documento Básico HE», *Código técnico de la edificación*. 2022.

## **2 MEMORIA DE CÁLCULO**

---

## 2.1. Introducción

En este apartado del proyecto se detallarán los cálculos para el diseño y dimensionamiento de la instalación de ACS en la residencia situada en el edificio José Celestino Mutis, municipio de Dos Hermanas. Siguiendo las directrices descritas en la memoria descriptiva y la normativa correspondiente en cada caso.

## 2.2. Datos de partida

Se expresan, en la Tabla 1, los datos necesarios para enunciar el problema que se pretende solucionar. Siendo estos datos las características del edificio que más tarde nos permitirán calcular la demanda, la situación de este y la climatología correspondiente.

### 2.2.1. Situación del edificio

<b>Provincia</b>	Sevilla
<b>Municipio</b>	Dos Hermanas
<b>Ubicación</b>	Universidad Pablo De Olavides (UPO)
<b>Altura sobre el nivel del mar</b>	48 [m]
<b>Orientación</b>	Sureste
<b>Latitud</b>	37°.36
<b>Ocupación</b>	165 personas

Tabla 1. Situación edificio José Celestino Mutis

### 2.2.2. Climatología

En la Figura 25 se muestra las temperaturas máximas y mínimas medias para la ubicación de la instalación en Dos Hermanas, Sevilla. También es relevante las temperaturas máximas medias durante el día y las mínimas medias durante la noche (en líneas discontinuas).

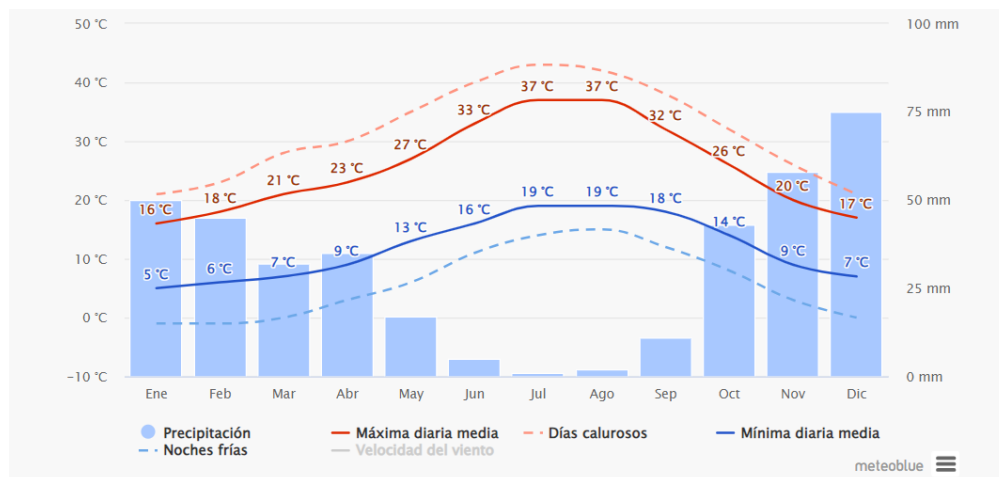


Figura 25. Temperaturas medias mensuales

Es de especial interés conocer la Figura 26, que nos presenta la cantidad de días por mes en los que se producen heladas. Este es un dato importante para el diseño de la instalación, la posibilidad de heladas obliga a proveer al sistema con herramientas para evitar la congelación del líquido caloportador. Herramientas como el uso de anticongelante o una elección del sistema de regulación adecuada.

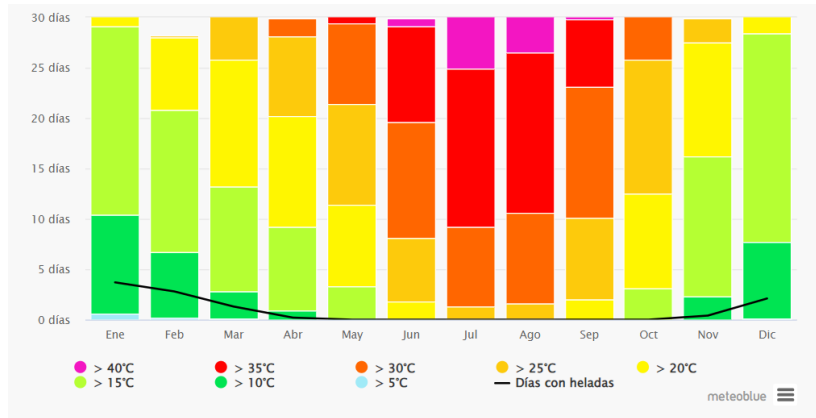


Figura 26. Heladas y temperaturas medias por día en cada mes

### 2.2.3. Radiación solar sobre superficie horizontal

También se consideran datos los expresados en la Tabla 2, obtenidos mediante el Atlas de Radiación Solar en España [4]. A partir de estos datos, se calculará la radiación sobre la superficie inclinada.

Meses	Rad [MJ/m <sup>2</sup> mes]
Enero	9,8
Febrero	13,2
Marzo	18,1
Abril	22,1
Mayo	25,2
Junio	28,4
Julio	29,2
Agosto	25,9
Septiembre	20,08
Octubre	14,5
Noviembre	10,5
Diciembre	8,4
Promedio	18,8

Tabla 2. Valores mensuales de la irradiación para Dos Hermanas, Sevilla

### 2.3. Inclinación y Orientación

Las pérdidas por sombras en la instalación no serán provocadas en ningún caso por otros edificios, ya que se trabaja en la cubierta de mayor altura.

Teniendo en cuenta que en la propia cubierta hay dos pequeñas elevaciones y que la orientación más favorable para los captadores es el sur, se tomara la orientación 34° sureste. Esta medida nos permitirá disponer los captadores paralelos a la fachada sureste del edificio.

La inclinación de los captadores será del mismo orden que la latitud del edificio, 40°.



Figura 27. Edificio con referencia cardinal

### 2.4. Radiación solar sobre la superficie inclinada

Como ya se ha comentado, la superficie de captación se encuentra orientada 34° al sureste e inclinada 40°. Debido a que los datos ya expuestos son sobre la irradiación en una superficie horizontal, es necesario conseguir su equivalente para el caso particular que nos ocupa. Para ello se usará el procedimiento propuesto por Klein y Theilacker.

Para llevar a cabo este cálculo es necesario descomponer, en primer lugar, la radiación en difusa y directa. Para más tarde referirlas sobre la superficie inclinada en vez de la horizontal.

Primero, se definen algunos parámetros:

Declinación solar ( $\delta$ ): ángulo que se forma entre el plano del ecuador y los rayos del sol, variante en función del día del año ( $n$ ).

$$\delta = 23.45 * \text{sen} \left( 360 * \frac{n + 284}{365} \right)$$

Ángulo horario ( $w_s$ ): ángulo de salida del sol. Para una latitud del edificio ( $\phi$ ).

$$w_s = \text{arcos}(-\tan\phi * \text{tang}\delta)$$

Irradiación global extraterrestre ( $H_0$ ) sobre superficie horizontal: radiación solar que llega a la atmosfera terrestre. Siendo  $G_{CS}$  la constante solar ( $1367[\text{W}/\text{m}^2]$ ).

$$H_0 = \frac{24 * 3600}{\pi} G_{CS} \left( 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360 * n}{365} \right) \right) \left( \frac{\pi * w_s}{180} \text{sen}(\delta) \text{sen}(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \text{sen}(w_s) \right)$$

Índice de claridad medio ( $k_t$ ): relaciona la irradiación solar sobre una superficie horizontal ( $H_{G0}$ ) y la irradiación global extraterrestre.

$$K_t = \frac{H_{G0}}{H_0}$$

En la Tabla 3 se pueden ver los parámetros, hasta ahora expuestos, calculados para un mes medio obtenido a partir de un día representativo del mismo.

Meses	Día del año	Declinación solar $\delta$ [°]	Ángulo horario $w_s$ [°]	Irradiación global horizontal $H_{G0}$ [MJ/m <sup>2</sup> mes]	Irradiación global extraterrestre $H_0$ [MJ/m <sup>2</sup> mes]	$K_t$ Índice claridad media mensual
Enero	17	-20,917	73,037	9,800	16,834	0,582
Febrero	47	-12,955	79,886	13,200	22,031	0,599
Marzo	75	-2,418	88,153	18,100	28,619	0,632
Abril	105	9,415	97,272	22,100	35,304	0,626
Mayo	135	18,792	105,055	25,200	39,873	0,632
Junio	162	23,086	108,989	28,400	41,677	0,681
Julio	198	21,184	107,208	29,200	40,703	0,717
Agosto	228	13,455	100,523	25,900	37,001	0,700
Septiembre	258	2,217	91,693	20,080	30,984	0,648
Octubre	288	-9,599	82,582	14,500	23,926	0,606
Noviembre	318	-18,912	74,839	10,500	18,030	0,582
Diciembre	344	-23,050	71,046	8,400	15,393	0,546
Promedio	17	-20,917	73,037	9,800	16,834	0,582

Tabla 3. Parámetros para irradiación inclinada.

Para la descomposición de la irradiación global horizontal en difusa ( $H_d$ ) y directa ( $H_D$ ) se usa una de las siguientes correlaciones en función del ángulo horario de cada mes.

$$w_s \leq 81.4^\circ; \quad \frac{H_d}{H_{G0}} = 1.391 - 3.560 k_t + 4.189 k_t^2 - 2.137 k_t^3$$

$$w_s > 81.4^\circ; \quad \frac{H_d}{H_{G0}} = 1.311 - 3.022 k_t + 3.427 k_t^2 - 1.821 k_t^3$$



Para el caso particular que nos ocupa, se usara la correlación de invierno para los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. Calculándose la irradiación directa como la diferencia entre la global y la difusa.

Meses	Irradiación global horizontal $H_{G0}$ [MJ/m <sup>2</sup> mes]	Irradiación directa $H_D$ [MJ/m <sup>2</sup> mes]	Irradiación difusa $H_d$ [MJ/m <sup>2</sup> mes]
Enero	9,800	6,698	3,102
Febrero	13,200	9,212	3,988
Marzo	18,100	13,133	4,967
Abril	22,100	15,917	6,183
Mayo	25,200	18,275	6,925
Junio	28,400	21,752	6,648
Julio	29,200	23,244	5,956
Agosto	25,900	20,237	5,663
Septiembre	20,080	14,828	5,252
Octubre	14,500	10,203	4,297
Noviembre	10,500	7,178	3,322
Diciembre	8,400	5,473	2,927
Promedio	9,800	6,698	3,102

Tabla 4. Irradiación global, directa y difusa sobre la horizontal.

Para obtener estos datos sobre la superficie inclinada es necesario obtener la relación R, que representa la radiación global respecto a una superficie inclinada entre la radiación global respecto a la horizontal.

$$R = D + \frac{H_d}{H_{G0}} \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + \rho_g \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right)$$

Para:

$\beta$  = inclinación del captador solar (40°)

$\rho_g$  = reflectividad del suelo

D = relación entre radiación directa respecto a la inclinada y radiación directa respecto a la horizontal

$$D = \begin{cases} \max(0, G(w_{ss}, w_{sr})) & \text{para } w_{ss} \geq w_{sr} \\ \max(0, G(w_{ss}, -w_s) + G(w_{ss}, w_{sr})) & \text{para } w_{ss} < w_{sr} \end{cases}$$

$$G(w_1, w_2) = \frac{1}{2d} \left[ \left( \frac{ba}{2} - a'B \right) (w_1 - w_2) \frac{\pi}{180} + (a'A - bB)(\text{sen}(w_1) - \text{sen}(w_2)) - a'C (\cos(w_1) - \cos(w_2)) + \frac{bA}{2} (\text{sen}(w_1) \cos(w_1) - \text{sen}(w_2) \cos(w_2)) + \frac{bC}{2} (\text{sen}^2(w_1) - \text{sen}^2(w_2)) \right]$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \operatorname{sen}(w_s - 60); \quad a' = a - \frac{H_d}{H} \quad b = 0,06609 - 0,4767 \operatorname{sen}(w_s - 60);$$

$$d = \operatorname{sen}(w_s) - \frac{\pi w_s}{180} \cos(w_s)$$

Para estos cálculos es necesario obtener el ángulo horario, significando los subíndices “sr” y “ss” salida y puesta del sol respectivamente.

$$w_{sr} = \begin{cases} -|w_{sr}| & \text{para } (A > 0 \& \& B > 0) \text{ ó } (A \geq B) \\ +|w_{sr}| & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

$$w_{ss} = \begin{cases} -|w_{ss}| & \text{para } (A > 0 \& \& B > 0) \text{ ó } (A \geq B) \\ +|w_{ss}| & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

$$|w_{sr}| = \min \left( w_s, \operatorname{arccos} \left( \frac{AB + C \sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2} \right) \right)$$

$$|w_{ss}| = \min \left( w_s, \operatorname{arccos} \left( \frac{AB - C \sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2} \right) \right)$$

$$A = \cos(\beta) + \tan(\phi) \cos(Y) \sin(\beta); \quad B = \cos(w_s) \cos(\beta) + \tan(\delta) \sin(\beta) \cos(Y);$$

$$C = \frac{\operatorname{sen}(\beta) \operatorname{sen}(Y)}{\cos(\phi)}$$

$\Phi$  = latitud del emplazamiento

$Y$  = orientación del captador

En la Tabla 5 y en la Figura 28 se representa los valores finales mensuales para la irradiación respecto a la superficie inclinada y horizontal.

Meses	D: relación radiación directa inclinada y respecto a la horizontal	R: relación radiación global inclinada y respecto a la horizontal	Irradiación global horizontal $H_{G0}$ [MJ/m <sup>2</sup> mes]	Irradiación global inclinada $H_i$ [MJ/m <sup>2</sup> mes]
Enero	0,562	0,935	9,800	9,163
Febrero	0,807	1,167	13,200	15,408
Marzo	1,097	1,432	18,100	25,928
Abril	1,298	1,639	22,100	36,221
Mayo	1,463	1,800	25,200	45,351
Junio	1,628	1,928	28,400	54,763
Julio	1,674	1,948	29,200	56,884
Agosto	1,517	1,803	25,900	46,706
Septiembre	1,215	1,540	20,080	30,923
Octubre	0,896	1,252	14,500	18,151

Meses	D: relación radiación directa inclinada y respecto a la horizontal	R: relación radiación global inclinada y respecto a la horizontal	Irradiación global horizontal $H_{G0}$ [MJ/m <sup>2</sup> mes]	Irradiación global inclinada $H_i$ [MJ/m <sup>2</sup> mes]
Noviembre	0,621	0,994	10,500	10,435
Diciembre	0,419	0,820	8,400	6,891
Promedio	0,562	0,935	9,800	9,163

Tabla 5. Relaciones e irradiaciones respecto a la superficie horizontal e inclinada

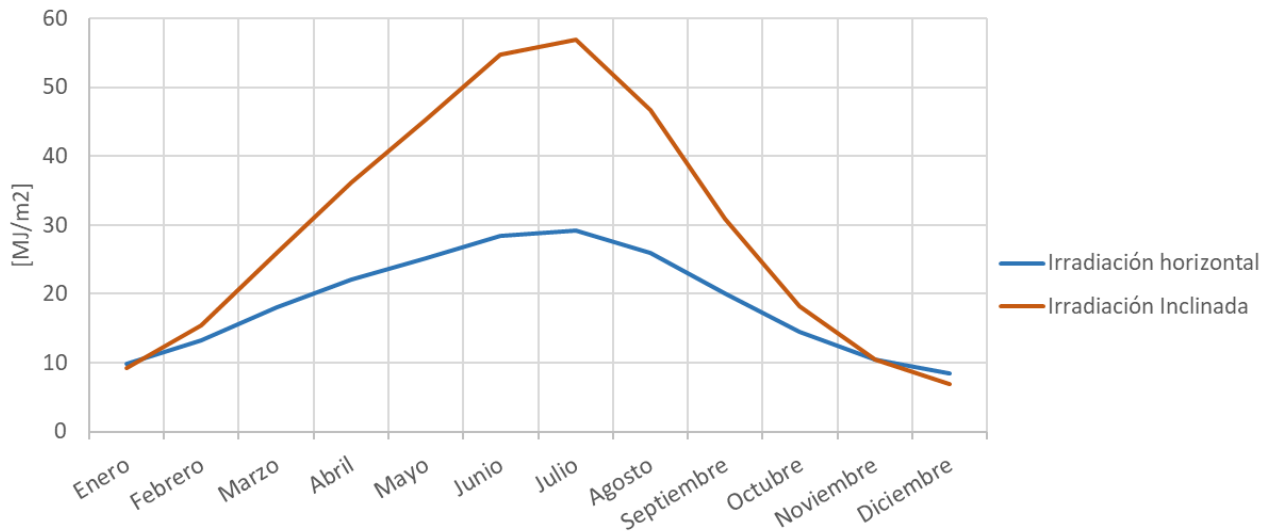


Figura 28. Irradiación horizontal frente a inclinada

## 2.5. Cálculo de la demanda

### 2.5.1. Consumo

El edificio cuya demanda se quiere cubrir es una residencia de estudiantes con 119 habitaciones, individuales y compartidas, y capacidad para 165 personas.

A continuación, se procederá tomando como referencia el documento básico HE4 del CTE [2], donde se puede apreciar el consume diario por persona apropiado para el caso de estudio. Tomando una temperatura de referencia para el agua de 60°C.

Tabla c-Anejo F Demanda orientativa de ACS para usos distintos del residencial privado

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

Tabla 6. Demanda ACS para usos distintos del residencial privado [2]

Con estos datos queda definido el consumo de ACS ( $M_{ac}$ ) del edificio.

$$M_{ac} = 41 \text{ l/día} * \text{personas} * 165 \text{ personas} = 6\,765 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

### 2.5.2. Demanda energética

En este apartado se procederá a calcular la demanda energética necesaria para el ACS. Es decir, la energía necesaria para llevar el caudal de agua de red a la temperatura de consigna, 60°C.

A continuación, se muestra la ecuación usada para el cálculo y el significado de las variables utilizadas.

$$L_{AC} = M_{AC} * \rho_w * C_p * (T_{ac} - T_{Red}) * \Delta t$$

Siendo:

$L_{AC}$  = La demanda energética mensual [J/mes]

$M_{AC}$  = Consumo unitario diario medio [l/día] (calculado en el apartado anterior)

$\rho_w$  = Densidad del agua (1 [kg/litro])

$C_p$  = Calor específico del agua (4190 [J/kg°C])

$T_{ac}$  = Temperatura de referencia del ACS, 60°C

$T_{Red}$  = Temperatura del agua de red [°C], obtenida del CTE-HE4 [8]

$\Delta t$  = Número de días del mes [día]

Meses	T Red [°C]	Demanda Energética [MJ/mes]
Enero	10,8	43 232
Febrero	10,8	39 049
Marzo	12,8	41. 475
Abril	13,8	39 287
Mayo	15,8	38 839
Junio	18,8	35 035
Julio	20,8	34 445
Agosto	20,8	34 445
Septiembre	19,8	34 184
Octubre	15,8	38 839
Noviembre	12,8	40 137
Diciembre	10,8	43 232
Promedio	15,3	38 539

Tabla 7. Demanda energética por meses

Siendo el consumo total al final de un año de 463 403 MJ y uno promedio entre todos los meses del año de en torno a 38 539 MJ.

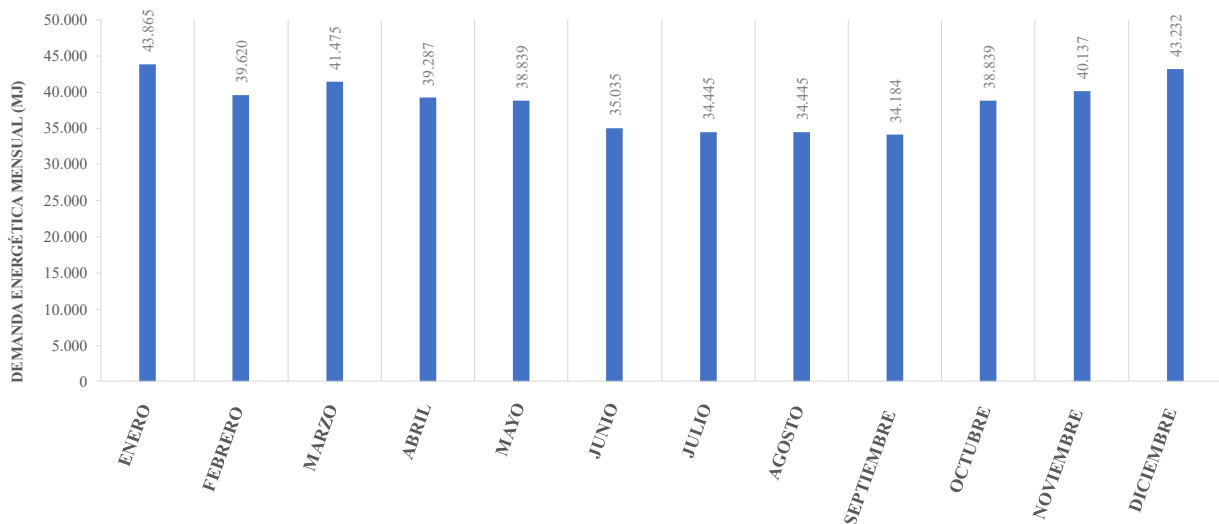


Figura 29. Demanda mensual de energía para ACS

## 2.6. Dimensionado básico

Durante este punto de la memoria de cálculo se procederá a determinar la cantidad de captadores necesarios, el volumen de acumulación y la agrupación de los captadores para conseguir satisfacer la contribución solar mínima exigida por el CTE. Para ello, se llevarán a cabo una serie de simulaciones mediante el programa CHEQ 4.

Primero se procederá a rellenar la pantalla sobre la ubicación de la instalación (Figura 30). De esta manera el programa obtendrá los datos necesarios relacionados con la climatología de la norma correspondiente.

En la siguiente pantalla (Figura 31) se selecciona la configuración más apropiada para la instalación. Siendo la elegida, consumo único con intercambiador independiente, ya que se dispondrá un acumulador centralizado para todos los puntos de consumo. Además, el intercambiador independiente permitirá una mayor eficiencia del sistema.

A continuación, (Figura 32) se define la demanda de la instalación. Siendo está calculada por el propio programa en función de la aplicación del consumo y el número de usuarios con respecto a la normativa. Tras todos los datos introducidos en el programa, este ya es capaz de definirnos la contribución solar mínima exigida para el sistema.

Respecto a las características de la instalación (Figura 33), se han definido los siguientes parámetros.

Un captador solar Termicol modelo G26. Esta empresa andaluza proporciona información relevante relacionada con el equipo y su correcta instalación y mantenimiento.

Se han especificado la inclinación y orientación, ya discutidas anteriormente, además de un valor inicial para el número de captadores y su disposición en series, 30 y 1 respectivamente.

También, se ha definido una longitud de 460 m respecto al circuito primario y secundario, con un espesor del aislante genérico de 40 mm. Esta longitud se ha tomado como una aproximación, teniendo en cuenta los planos del edificio y la disposición del acumulador, intercambiador y captadores

Se ha escogido como sistema de apoyo un termo eléctrico, ya que corresponde con la instalación previa que encontramos en el edificio.

Por último, se ha calculado un valor para la acumulación teniendo en cuenta que debe ser lo más cercano a 75 litros/m<sup>2</sup> de captación y que debe coincidir con productos reales disponibles en el mercado. Se ha estipulado en esta pantalla (Figura 34), también, las dimensiones del circuito de distribución en el edificio. Siendo esta, también, una aproximación teniendo en cuenta los diferentes puntos de consumo en cada una de las 4 plantas.

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	9,8	10,8	10,3
Febrero	13,2	10,8	11,5
Marzo	18,1	12,8	13,6
Abril	22,1	13,8	15,6
Mayo	25,2	15,8	19,2
Junio	28,4	18,8	23,0
Julio	29,2	20,8	26,4
Agosto	25,9	20,8	26,4
Septiembre	20,8	19,8	24,0
Octubre	14,5	15,8	19,1
Noviembre	10,5	12,8	13,9
Diciembre	8,4	10,8	10,7
Promedio	18,8	15,3	17,8

Figura 30. Pantalla localización CHEQ4

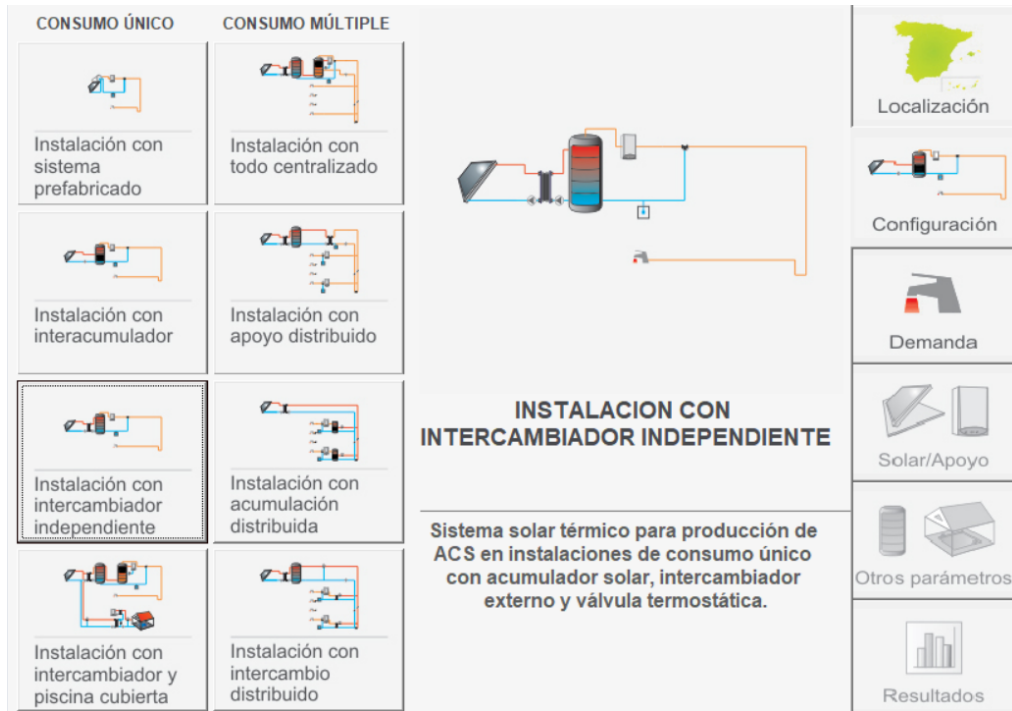


Figura 31. Pantalla configuración CHEQ4

**CONSUMO ÚNICO**

Aplicación:

Número de personas:

Demanda calculada (l/día a 60 °C): 6.765

**CONSUMO MÚLTIPLE**

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

Demanda calculada (l/día a 60 °C):

**CONSUMO TOTAL**

Otras demandas (l/día a 60°C):

Demanda total (l/día a 60°C): 6.765

**OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)**

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

**CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA**

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura 32. Pantalla demanda CHEQ4










<b>CAPTADORES</b> Empresa: <input type="text" value="TERMICOL ENERGÍA SOLAR"/> Marca/Modelo: <input type="text" value="G26"/> <b>AVISO:</b> Verificar la existencia y vigencia de la certificación del captador seleccionado.		<b>Datos de ensayo</b> <table border="1"> <tr><td>Área (m2)</td><td>2,53</td></tr> <tr><td>n0 (-)</td><td>0,78</td></tr> <tr><td>a1 (W/m2K)</td><td>3,47</td></tr> <tr><td>a2 (W/m2K)</td><td>0,012</td></tr> <tr><td>Qtest(l/hm2)</td><td>71,14</td></tr> <tr><td>k50</td><td>0,88</td></tr> <tr><td>Laboratorio</td><td>CENER</td></tr> <tr><td>Certificación</td><td>NPS-24419</td></tr> </table>	Área (m2)	2,53	n0 (-)	0,78	a1 (W/m2K)	3,47	a2 (W/m2K)	0,012	Qtest(l/hm2)	71,14	k50	0,88	Laboratorio	CENER	Certificación	NPS-24419		 Localización
Área (m2)	2,53																			
n0 (-)	0,78																			
a1 (W/m2K)	3,47																			
a2 (W/m2K)	0,012																			
Qtest(l/hm2)	71,14																			
k50	0,88																			
Laboratorio	CENER																			
Certificación	NPS-24419																			
<b>CAMPO DE CAPTADORES</b> Núm. captadores: <input type="text" value="30"/> Captadores en serie: <input type="text" value="1"/> Pérdidas sombras (%): <input type="text" value="3"/> Orientación (°): <input type="text" value="-34"/> Inclinación (°): <input type="text" value="40"/> Área total captadores (m2): 75,90				 Configuración																
<b>CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO</b> Caudal prim.(l/h): <input type="text" value="5.400"/> Anticongelante (%): <input type="text" value="0"/> Long. circuito (m): <input type="text" value="460"/> Diám. tubería (mm): <input type="text" value="38"/> Esp. aislante (mm): <input type="text" value="40"/> Aislante: <input type="text" value="genérico"/>				 Demanda																
<b>SISTEMA DE APOYO</b> Tipo de sistema: <input type="text" value="Termo eléctrico"/> Tipo de combustible: <input type="text" value="Electricidad"/>				 Solar/Apoyo																
				 Otros parámetros																
				 Resultados																

Figura 33. Pantalla solar/apoyo CHEQ4





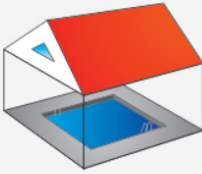



<b>VOLUMEN DE ACUMULACIÓN</b> Volumen total (l): <input type="text" value="6000"/> 		<b>VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES</b> Tipo A (l): <input type="text"/> Tipo C (l): <input type="text"/> Tipo B (l): <input type="text"/> Tipo D (l): <input type="text"/>		 Localización
Vol/Área (l/m2): 79,05		Volumen total (l): 0 Vol/Área (l/m2):		 Configuración
<b>DISTRIBUCIÓN</b> Long. circuito (m): <input type="text" value="460"/> Diám.tubería (mm): <input type="text" value="60"/> Esp. aislante (mm): <input type="text" value="30"/> T. imp.(°C): <input type="text" value="55"/> Aislante: <input type="text" value="genérico"/>		<b>DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES</b> Long. total (m): <input type="text"/> Diám. tubería (mm): <input type="text"/> Esp. aislante (mm): <input type="text"/> Aislante: <input type="text"/>		 Demanda
<b>PISCINA CUBIERTA</b> Altura (m): <input type="text"/> Temp. ambiente (°C): <input type="text"/> Apertura diaria (h): <input type="text"/> Temp. piscina (°C): <input type="text"/> Superficie lámina (m2): <input type="text"/> Renov. volumen día (%): <input type="text"/> Humedad relativa (%): <input type="text"/> Ocupación (pers/m2): <input type="text"/>				 Solar/Apoyo
				 Otros parámetros
				 Resultados

Figura 34. Pantalla otros parámetros CHEQ4

Una vez definidos todos los parámetros, se procede a variar el número de captadores con el objetivo de definir el más adecuado que cumpla con los requisitos mínimos de contribución solar. Teniendo en cuenta que el volumen de acumulación variará en función de la superficie de captación, como ya se ha comentado.

En primer lugar, se analizará partiendo de un número de captadores igual a 30 con un salto en cada simulación de 10.



<b>Número Captadores</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Volumen de acumulación [l]</b>	<b>Fracción solar [%]</b>
30	75,90	6 000	58
40	101,20	7 500	72
50	126,50	9 500	81
60	151,80	12 000	86
70	177,10	13 000	89

Tabla 8. Fracción solar para diferentes números de captadores

Como se puede apreciar en la Tabla 8, la fracción solar solo es aceptable a partir de 40 captadores.

También es de interés, que para instalaciones con 50 captadores o más, el programa avisa que se llegará a cubrir el 100% de la demanda durante 3 meses o más. Esto implicaría la necesidad de implementar medidas de protección contra sobrecalentamientos.

Para alcanzar un valor más adecuado, en el que no fuese necesario tomar estas medidas, pero sí se alcanzase la mayor fracción solar posible, se procede a recalcular. En este caso partiendo de 40 captadores e incrementando 2 cada vez.

<b>Número Captadores</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Volumen de acumulación [l]</b>	<b>Fracción solar [%]</b>
40	101,20	7 500	58
42	106,26	8 000	74
44	111,32	8 000	76
46	116,38	9 000	78
48	121,44	9 000	80

Tabla 9. Fracción solar para diferente números de captadores

Tras obtener los últimos resultados -Tabla 9-, se define el número de captadores como 44. Ya que este valor permite cumplir el mínimo reglamentario con holgura, sin superar el 100% de la demanda varios meses seguidos.

A continuación, se procederá a simular la instalación variando la relación volumen de acumulación y superficie de captación.

Teniendo en cuenta que el programa exclusivamente resuelve para valores de la ratio entre 50 y 180 l/m<sup>2</sup>. Ya que son los permitidos para el HE4 del CTE. Además de que solo se seleccionarán dimensiones de acumuladores comunes en el mercado.

Para los datos expuestos en la Tabla 10, cabe señalar, que surge el aviso relativo a la demanda cubierta al 100% durante tres meses para valores de 14 000 litros o más.

Finalmente, se selecciona un volumen de 8 000 litros, para los cuales se tiene una ratio de 71,86 l/m<sup>2</sup>.

Para finalizar el dimensionamiento básico se procede a variar el número de captadores en serie, con el objetivo de conseguir el óptimo en la instalación. Manteniendo constante el número de captadores y el volumen de acumulación.

<b>Vol/Área [l/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Volumen de acumulación [l]</b>	<b>Fracción solar [%]</b>
44,92	5 000	< 50 l/m <sup>2</sup>
53,90	6 000	75
62,88	7 000	75
71,86	8 000	76
80,85	9 000	76
89,83	10 000	77
98,81	11 000	77
107,80	12 000	78
116,78	13 000	78
125,76	14 000	79

Tabla 10. Valores para diferentes volúmenes de acumulación

<b>Número Captadores en Serie</b>	<b>Fracción solar [%]</b>
1	78
2	72
3	65
4	58

Tabla 11. Fracción solar en función del número de captadores en serie

Tras observar los valores obtenidos en la simulación se define el número de captadores en serie en 1. Finalmente, las variables que definen la instalación quedan especificadas en la Tabla 12.

<b>Número Captadores</b>	<b>Número de captadores en serie</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Volumen de acumulación [l]</b>	<b>Fracción solar [%]</b>
44	1	111,32	8 000	76

Tabla 12. Parámetros finales de la instalación

## 2.7. Disposición de los captadores

Los 46 captadores se conectarán en paralelo sobre la cubierta del edificio, con una inclinación de 40 ° y una orientación de 34° sureste. La distancia entre captadores será aquella que minimice las pérdidas provocadas por la sombra que ellos mismas crean, teniendo en cuenta el espacio disponible.

La distancia entre captadores ( $d$  [m]) depende de la altura del captador ( $h$  [m]), y del ángulo azimutal del sol ( $\theta_z$ ). La altura se calcula en función de la longitud del captador ( $L$  [m]) y de su inclinación ( $\beta$ ).

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

$$h = L \sin(\beta)$$

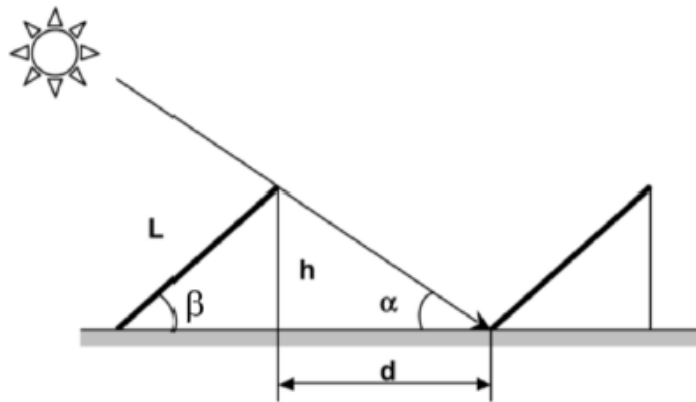


Figura 35. Representación de las variables que definen la separación entre filas de captadores

Dicho ángulo azimutal depende de la localidad, día y hora en el que se mida. Al ser los equinoccios de primavera y otoño y los solsticios de invierno y verano las fechas más relevantes, se expondrá en la Tabla 13 los valores de la distancia para dichos días. Teniendo en cuenta que se calcula siempre en el medio día solar, siendo en todo caso el ángulo horario ( $\omega$ ) igual a 0.

Día	Nº	Declinación solar $\delta$ [rad]	Ángulo azimutal $\theta_z$ [rad]	Distancia d [m]
Equinoccio de primavera	79	-0,014	0,666	1,030
Solsticio de verano	172	0,409	0,243	0,325
Equinoccio de otoño	266	-0,018	0,670	1,038
Solsticio de invierno	325	-0,357	1,009	2,081

Tabla 13. Distancia entre filas de captadores en función del día

Para definir la distancia que se debe dejar entre la primera fila de captadores y la pletina de la cubierta, se procede con la misma ecuación, pero tomando la altura (h) como la elevación de la pletina. Finalmente, dicha separación será de 0,8 metros.

## 2.8. Dimensionado del intercambiador de calor

El dimensionamiento del intercambiador de calor queda definido en el CTE mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{inter}[W] \geq 500 \left[ \frac{W}{m^2} \right] A[m^2] = 58240 [W]$$

Siendo:

$Q_{inter}$  = el calor intercambiado [W]

A = el área de captación (116,48 [m<sup>2</sup>]).

Para conocer el salto térmico que proporciona el intercambiador para el circuito primario y secundario es necesario aplicar un balance de energía en el equipo.

$$Q_{inter} = \dot{m} C_p \Delta T$$

Siendo:

$\dot{m}$  = el caudal del fluido [kg/s]

$C_p$  = el calor específico correspondiente [J/kg K]

$\Delta T$  = el salto térmico [°C]

Para el cálculo de la corriente de fluido que circula por el subsistema primario se usa la siguiente ecuación:

$$M_{primario} = M_{ensayo} * \frac{N_{TOT}}{N_{serie}} * A_{captador}$$

Donde:

$M_{primario}$  = es el caudal del circuito primario [kg/h]

$M_{ensayo}$  = Caudal volumétrico específico del ensayo [kg/hm<sup>2</sup>]

$N_{TOT}$  = número de captadores totales en la instalación

$N_{serie}$  = número de captadores en serie

$A_{captador}$  = área de un captador [m<sup>2</sup>]

El captador seleccionado tiene un caudal de ensayo de 38 [l/hm<sup>2</sup>], una superficie de 2,53 [m<sup>2</sup>] y 44 captadores dispuestos en paralelo. Obteniendo para estos valores un caudal del circuito primario de 4 230,16 [l/h] o 1,175 [kg/s] con lo que se obtendría un salto de temperatura en dicho circuito de 11,85 °C.

Se toma el caudal del circuito secundario igual al primario 1,175 [kg/s].

El intercambiador seleccionado es el modelo AN14-30H de la marca ALFA LAVAL que transfiere una potencia de 65 [kW] para un salto de temperatura del lado del primario de 20 °C.

Se expresan a continuación las condiciones de operación del intercambiador para el circuito primario y secundario:

- Pérdida de carga de 30 [kPa]
- Caudal de agua igual a 1,175 [kg/s]
- Salto de temperatura de 11 °C

## 2.9. Dimensionado aerotermo

Para poder asegurar que el sistema no sufre daños por altas temperaturas se incorpora en el circuito primario, a la salida de los captadores, un aerotermo con capacidad de disminuir la temperatura de la corriente hasta 5° C.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T = 24,592 [kW]$$

Donde:

$\dot{m}$  = el caudal de agua que circula por el circuito primario [kg/s]

$C_p$  = calor específico del agua [kJ/kg K]

El modelo seleccionado es el 705D40T de la marca Termicol, al igual que los captadores, éste permite disipar hasta 40 kW. El equipo es capaz de conseguir un salto térmico de 12,5 °C para una temperatura del aire de 35°C y una corriente de fluido de trabajo de 90°C y 0,814 [kg/s].

Para el caso que nos ocupa, el aerotermo seleccionado sería capaz de enfriar el caudal de trabajo hasta 81,3 °C para las mismas condiciones de temperatura del aire de entrada del fluido.

La caída de presión que experimenta el fluido por el equipo es de aproximadamente 20 [kPa].

## 2.10. Dimensionado de la red de tuberías

En este apartado se definirán los diámetros y pérdidas de cargas correspondientes para cada uno de los tramos de tubería, tanto del circuito primario como secundario. Una vez definidas las pérdidas, se calculan los posibles desequilibrios.

### 2.10.1. Pérdida de carga en el captador

La pérdida de presión dentro de cada uno de los captadores queda definida en el catálogo mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta P = 0.006 \dot{V}^2 + 0.990 \dot{V} = 150 [Pa]$$

Donde:

$\Delta P$  = pérdida de carga en [Pa]

$V$  = caudal que circula por el captadore en [l/h]

Teniendo en cuenta el caudal total que circula por el subsistema primario, definido en el apartado anterior, y el número de captadores, 44, es posible obtener el caudal de agua que circulará por cada uno de ellos (96,14 [l/h]). Obteniendo una pérdida de presión igual a 150 [Pa] para cada uno de los captadores.

### 2.10.2. Cálculo de la red de tuberías

Con el objetivo de minimizar las pérdidas de carga en las tuberías se ha recurrido a la técnica del retorno invertido, de esta manera se reducen los desequilibrios hidráulicos y el trabajo de las válvulas de equilibrado. En la Figura 36 se representa un esquema con la disposición de los captadores y los tramos de tuberías.

Siguiendo el pliego de condiciones técnicas del IDAE con respecto al dimensionamiento de las tuberías, es necesario tener en cuenta los siguientes criterios:

- La velocidad de circulación del fluido debe de ser menor a 2 [m/s] para tuberías dentro de locales habitados y 3 [m/s] cuando se encuentran en zonas exteriores.
- También, es necesario asegurar que la pérdida de carga por metro lineal de tubería es inferior a los 40 [mm.c.a/m] para el caso del agua.

El circuito primario se encuentra, en su mayor parte, sobre la cubierta del edificio, uniendo agrupaciones de cuatro captadores conectados en paralelo. Existe un pequeño tramo del circuito primario que circula a lo largo de la edificación para conectar el captadore con el resto de los equipos en la sala de máquinas, ubicada en la planta baja del edificio. El circuito secundario se encuentra completamente en la sala de máquinas.

En la Tabla 14 se expresa el caudal límite que debe circular por cada tubería en función de su diámetro nominal. Para ello se escoge el más restrictivo de los impuestos por las restricciones del IDEA.

Diámetro ["]	Caudal mínimo para caída por metro de 400 Pa [l/h]	Caudal mínimo para velocidad del fluido de 1,2 m/s [l/h]	CAUDAL LÍMITE [l/h]
1/4	42	137	42
3/8	127	308	127
1/2	278	547	278
3/4	832	1231	832
1	1804	2189	1804
1-1/4	3283	3420	3283
1-1/2	5347	4925	4925
2	11520	8756	8756
2-1/2	20861	13681	13681
3	33853	19701	19701
3-1/2	50943	26815	26815
4	72550	35024	35024
5	130867	54724	54724

Tabla 14. Caudales límites en función de los diámetros nominal de las tuberías

En las Figuras Figura 36 y Figura 37 se muestra como se han dispuesto y numerado los diferentes tramos de tuberías, tanto en la cubierta como en la sala de máquinas.

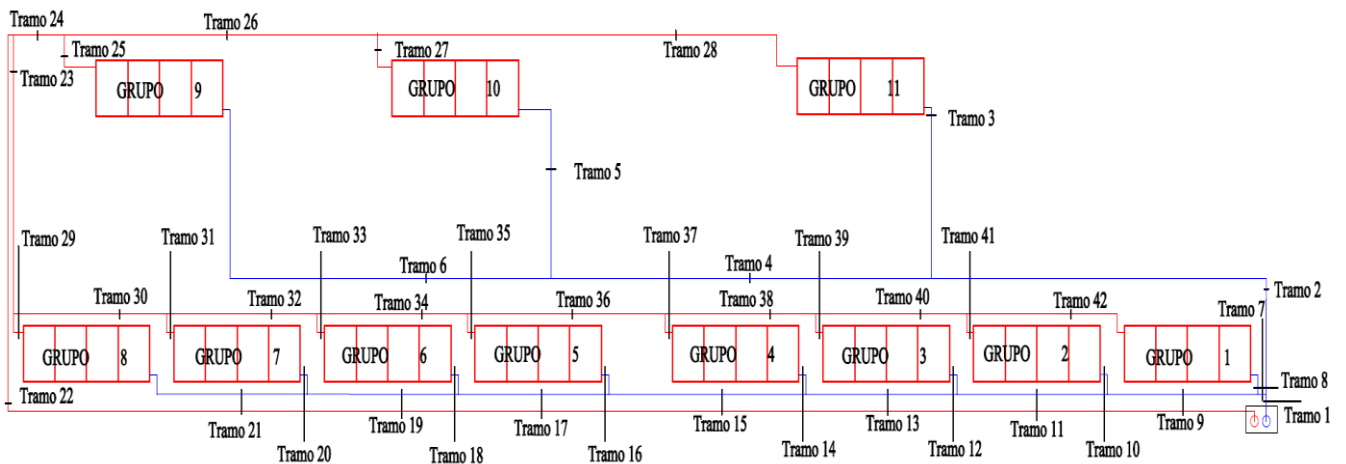


Figura 36. Esquema disposición tuberías en cubierta

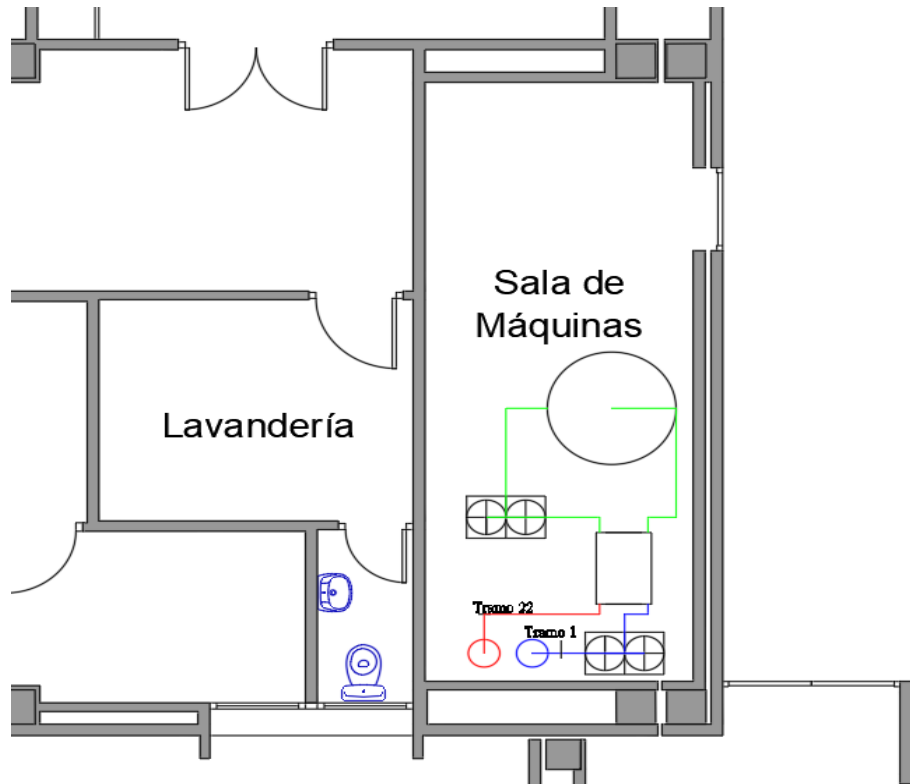


Figura 37. Esquema disposición tuberías en sala de máquinas

En la Tabla 17 se muestran los datos de caudal, longitud, diámetro, velocidad y caída de presión total para cada uno de los tramos de tubería. Una vez designados los diámetros en función de la Tabla 14, se procede a calcular la velocidad y caída de presión final para cada caso, mediante las siguientes ecuaciones:

$$v = \frac{\dot{V}}{\pi D^2}$$

Donde:

$v$ = Velocidad del fluido [ $m^2/s$ ]

$\dot{V}$ = Caudal volumétrico que circula por la tubería [ $m^3/s$ ]

$D$ = Diámetro de la tubería [m]

La pérdida de carga que aparece en la Tabla 17 es la suma de la pérdida longitudinal, los accesorios y los diferentes equipos que conforman cada circuito, como los captadores y el intercambiador. Primero, es necesario calcular la pérdida de carga lineal, después, está se multiplica por la longitud de la tubería y la longitud equivalente de los accesorios que incorpora, presentados en la Tabla 15 y Tabla 16.

La pérdida de carga lineal se obtiene de la ecuación de *Flamant*, particularizada para agua y tuberías de cobre.

$$\Delta P_{lineal} = 378 \frac{\dot{V}^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Diámetro nominal (")	Codo 90º	Curva 90º	Curva 45º	Codo doble 180º	Curva doble 180º	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 15. Longitudes equivalentes de diferentes accesorios

En la Tabla 16 se comentan todos los accesorios incorporados en cada uno de los tramos, además de las pérdidas de presión que estos provocan.

En la instalación se pueden diferenciar hasta 11 circuitos en paralelo que conforman el subsistema primario de la instalación. En la Tabla 18 se disponen las pérdidas de presión de cada uno de ellos, además de la diferencia con respecto al mayor. Para el cálculo de cada circuito es necesario sumar el salto de presiones correspondiente a cada uno de los tramos que lo conforman.

Se debe tener en cuenta que en el caso de que se active la protección contra sobrecalentamiento, la bomba tendrá que hacer frente a la pérdida de rozamiento del fluido por el interior del aerotermo, sin embargo, no tendrá que aportar la diferencia de presión relacionada con la pérdida de carga del intercambiador (Figura 38). Por esta razón y al ser la pérdida de presión por el aerotermo inferior a la del intercambiador, la máxima pérdida de presión se dará para funcionamiento normal y no en momentos de sobrecalentamiento. Aun así, se puede ver en la Tabla 19 como varían las pérdidas de presión de los diferentes circuitos en paralelo para funcionamiento con sobrecalentamiento.

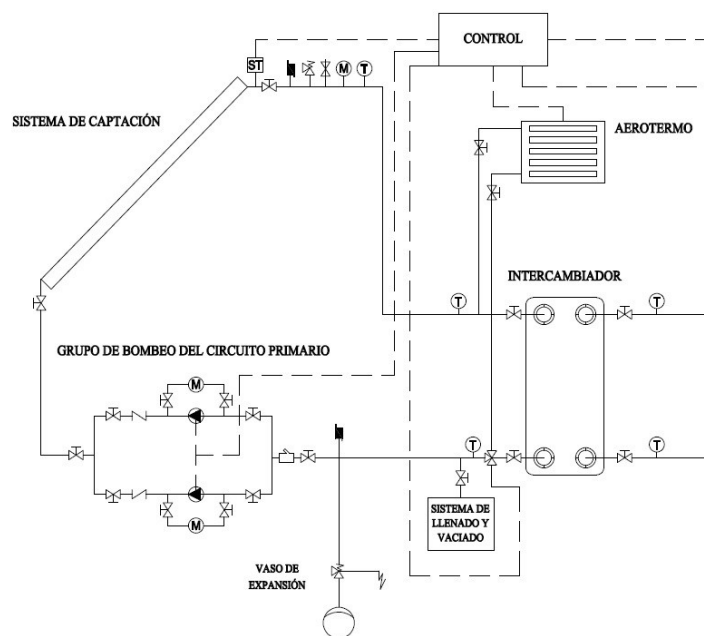


Figura 38. Conexión del aerotermo al circuito primario

Con respecto a circuito secundario, debido a la proximidad entre los equipos, solo se tendrá en cuenta la caída de presión correspondiente al intercambiador de calor, además de un factor de seguridad que se determinará más adelante.



<b>Tramo</b>	<b>Accesorios</b>	$\Delta P_{\text{accesorios}}$ [kPa]	$\Delta P_{\text{Total}}$ [kPa]
T1	1 T alineada	0,10	33,70
T2	1 T alineada y 1 codo	0,12	2,85
T3	1 T derivada, 1 codo y 1 válvula de corte	0,13	0,90
T4	1 T alineada	0,06	6,22
T5	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	1,54
T6	1 T alineada, 2 codos y válvula de corte	0,09	2,23
T7	1 T derivada	0,53	0,66
T8	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,82
T9	1 T alineada	0,09	1,83
T10	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,82
T11	1 T alineada	0,07	1,39
T12	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,82
T13	1 T alineada	0,05	1,01
T14	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,82
T15	1 T alineada	0,07	2,53
T16	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,82
T17	1 T alineada	0,04	1,17
T18	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,82
T19	1 T alineada	0,06	2,23
T20	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,82
T21	1 T alineada, 2 codos y válvula de corte	0,09	1,42
T22	3 Codos	0,60	20,93
T23	1 T derivada	0,53	3,99
T24	1 T alineada	0,04	0,42
T25	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,89
T26	1 T alineada	0,06	4,58
T27	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,29
T28	1 T alineada, 2 codos y válvula de corte	0,09	2,70
T29	1 T alineada, 1 codo y válvula de corte	0,08	0,17
T30	1 T derivada	0,42	2,19
T31	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,21
T32	1 T alineada	0,07	1,39
T33	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,21
T34	1 T alineada	0,05	1,01
T35	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,21
T36	1 T alineada	0,07	2,53
T37	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,21
T38	1 T alineada	0,04	1,17
T39	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,21
T40	1 T alineada	0,06	2,23
T41	1 T derivada, 1 codo y válvula de corte	0,13	0,21
T42	1 T alineada, 2 codos y válvula de corte	0,09	0,81

Tabla 16. Accesorios y pérdidas de cargar por tramo

Tramo	$\dot{V}$ [l/h]	L [m]	D ["]	v [m/s]	$\Delta P_{Total}$ [kPa]
T1	4230,16	13,25	1,5	1,03	33,70
T2	1153,68	15,12	1	0,63	2,85
T3	384,56	1,68	0,75	0,37	0,90
T4	769,12	17,68	0,75	0,75	6,22
T5	384,56	7,87	0,75	0,37	1,54
T6	384,56	14,96	0,75	0,37	2,23
T7	3076,48	0,34	1,25	1,08	0,66
T8	384,56	0,85	0,75	0,37	0,82
T9	2691,92	6,23	1,25	0,94	1,83
T10	384,56	0,85	0,75	0,37	0,82
T11	2307,36	6,23	1,25	0,81	1,39
T12	384,56	0,85	0,75	0,37	0,82
T13	1922,80	6,23	1,25	0,67	1,01
T14	384,56	0,85	0,75	0,37	0,82
T15	1538,24	8,16	1	0,84	2,53
T16	384,56	0,85	0,75	0,37	0,82
T17	1153,68	6,23	1	0,63	1,17
T18	384,56	0,85	0,75	0,37	0,82
T19	769,12	6,23	0,75	0,75	2,23
T20	384,56	0,85	0,75	0,37	0,82
T21	384,56	7,08	0,75	0,37	1,42
T22	4230,16	76,97	1,5	1,03	20,93
T23	3076,48	9,70	1,25	1,08	3,99
T24	1153,68	2,10	1	0,63	0,42
T25	384,56	7,46	0,75	0,37	0,89
T26	769,12	12,97	0,75	0,75	4,58
T27	384,56	1,60	0,75	0,37	0,29
T28	384,56	25,46	0,75	0,37	2,70
T29	384,56	0,92	0,75	0,37	0,17
T30	2691,92	6,32	1,25	0,94	2,19
T31	384,56	0,82	0,75	0,37	0,21
T32	2307,36	6,23	1,25	0,81	1,39
T33	384,56	0,82	0,75	0,37	0,21
T34	1922,80	6,23	1,25	0,67	1,01
T35	384,56	0,82	0,75	0,37	0,21
T36	1538,24	8,16	1	0,84	2,53
T37	384,56	0,82	0,75	0,37	0,21
T38	1153,68	6,23	1	0,63	1,17
T39	384,56	0,82	0,75	0,37	0,21
T40	769,12	6,23	0,75	0,75	2,23
T41	384,56	0,82	0,75	0,37	0,21
T42	384,56	7,05	0,75	0,37	0,81

Tabla 17. Dimensionado de tuberías por tramo

GRUPO	Caída de presión Total [kPa]	Desequilibrio [kPa]	Desequilibrio porcentual [%]
1	70,76	-1,23	-1,7
2	71,99	0,00	0,0
3	71,16	-0,84	-1,2
4	71,00	-1,00	-1,4
5	71,00	-1,00	-1,4
6	71,16	-0,84	-1,2
7	71,99	0,00	0,0
8	70,36	-1,63	-2,3
9	67,24	-4,76	-6,6
10	70,52	-1,48	-2,1
11	66,08	-5,91	-8,2

Tabla 18. Pérdidas de presión para los diferentes circuitos del subsistema primario

GRUPO	Caída de presión Total [kPa]	Desequilibrio [kPa]	Desequilibrio porcentual [%]
1	60,76	-1,23	-2,0
2	61,99	0,00	0,0
3	61,16	-0,84	-1,3
4	61,00	-1,00	-1,6
5	61,00	-1,00	-1,6
6	61,16	-0,84	-1,3
7	61,99	0,00	0,0
8	60,36	-1,63	-2,6
9	57,24	-4,76	-7,7
10	60,52	-1,48	-2,4
11	56,08	-5,91	-9,5

Tabla 19. Pérdidas de presión en diferentes circuitos con aerotermo

## 2.11. Dimensionado de la bomba de circulación

Conocidos los caudales del circuito primario y secundario y las pérdidas máximas de presión para cada uno de ellos, se procede al dimensionamiento de las bombas. El equipo consistirá en dos bombas idénticas conectadas en paralelo, de manera que una trabajará como reserva.

El caudal de ambas bombas es idéntico e igual a 4,230 [m<sup>3</sup>/h].

### 2.11.1. Selección de la bomba del circuito primario

La pérdida de presión que debe combatir el equipo es igual a la caída de presión máxima experimentada por los circuitos paralelos que conforman el subsistema, además de un factor de seguridad del 5%.

$$\Delta P = \Delta P_{m\acute{a}x} (1 + 0,05) = 71,99 (1 + 0,05) = 75,59 [kPa] = 7,7 [mH_2O]$$

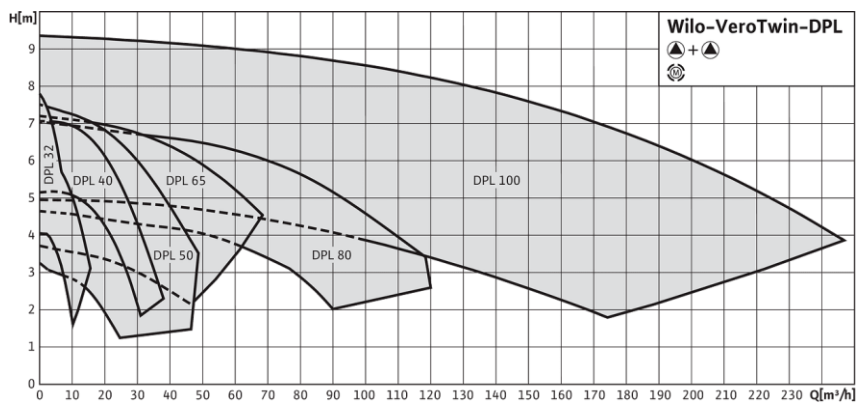


Figura 39. Curva característica para la bomba Vero Twin-DPL

El equipo seleccionado es el modelo Vero Twin- DPL de la marca Wilo, como se puede apreciar en la Figura 39 el menor tamaño capaz de hacer frente a la pérdida de la instalación es el de diámetro nominal 32. A continuación, se comentan algunas características importantes del equipo:

- Máxima presión de trabajo = 10 [bar]
- Número de polos = 2
- Peso = 36,2 [kg]
- Rango de temperaturas = -20 a 120 [°C]
- Temperatura ambiente máxima = 40 [°C]
- Alimentación eléctrica = 3- 400 [V], 50 [Hz]
- Consumo de potencia nominal = 0,37 [kW]

### 2.11.2. Selección de la bomba del circuito secundario

La caída de presión que debe combatir el equipo es igual a las pérdidas dentro del intercambiador y a un factor de seguridad igual al 5%.

$$\Delta P = \Delta P_{inter} (1 + 0,05) = 30 (1 + 0,05) = 31,5 [kPa]$$

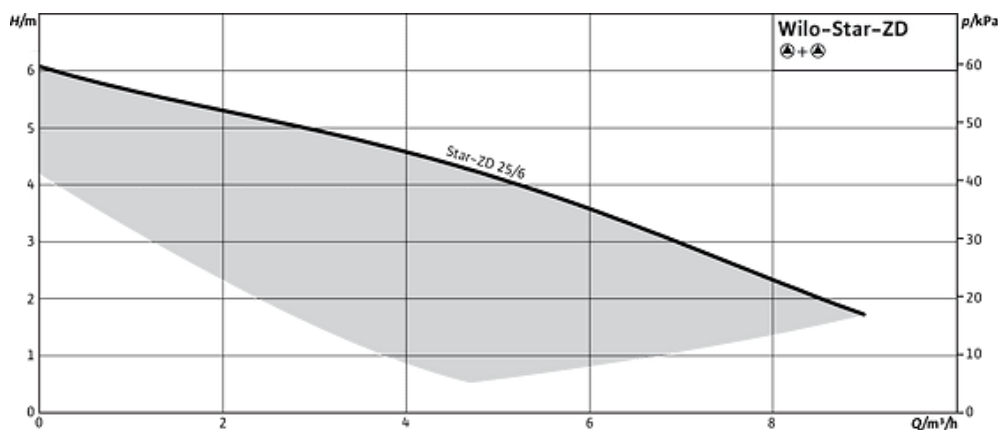


Figura 40. Curva característica para la bomba Wilo Star-ZD 25/6

El equipo seleccionado es el modelo Star-ZD 25/6 de la marca wilo, como se puede apreciar en la Figura 40 para una pérdida de presión de 31,5 [kPa] y un caudal de 4,2 [m<sup>3</sup>/h] el punto de la instalación esta en el centro de la zona de funcionamiento del equipo. A continuación, se dan algunas características fundamentales del equipo:

- Máxima presión de trabajo = 10 [bar]
- Número de polos = 2
- Peso = 6,5 [kg]
- Rango de temperaturas = 2 a 65 [°C]
- Temperatura ambiente máxima = 40 [°C]
- Alimentación eléctrica = 1- 230 [V], 50 [Hz]
- Consumo de potencia nominal = 57 [W]

## 2.12. Dimensionado vaso de expansión

Se hace uso de la norma UNE-100155:2004 *Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión* para el dimensionamiento de este equipo. Es necesario calcular el volumen del fluido caloportador encerrado en el circuito primario obtenido a partir de la suma del fluido dentro de las tuberías, captadores y parte primaria del intercambiador, además de un 10% extra como factor de seguridad.

Primero, se calcula el volumen encerrado dentro de las tuberías, definido en función de su longitud y diámetro.

$$V_{tuberías} = L \frac{\pi D^2}{4} = 205,35 [l]$$

El volumen contenido en los captadores es igual a la capacidad de este, dato ofrecido por el fabricante, multiplicado por la cantidad instalada.

$$V_{captadores} = 1,4 \left[ \frac{l}{\text{captador}} \right] 44 = 61,6 [l]$$

También se obtiene del catálogo del fabricante el volumen de agua del circuito primario en el intercambiador.

$$V_{inter} = 0,66 [l]$$

Finalmente, el volumen de fluido del circuito primario, incluyendo el factor de seguridad, es el siguiente:

$$V_{circuito1} = (1 + 0,1) V_{tuberías} V_{captadores} V_{inter} = 267,61 [l]$$

El coeficiente de expansión se calcula para la temperatura máxima de funcionamiento del sistema, para un rango de esta temperatura de entre 140 y 210 °C se puede usar la siguiente formula:

$$C_e = (-95 + 1,2 * t) * 10^{-3}$$

Usando la temperatura de estancamiento del captador solar igual a 210°C, proporcionada por el fabricante, se puede obtener un valor del coeficiente de expansión igual a 0,157.

Antes de calcular el coeficiente de presión del vaso de expansión, es necesario definir la presión mínima y máxima de funcionamiento.

La presión mínima de funcionamiento es la presión del vaso de expansión cuando la instalación está parada. Esta presión se obtiene de sumar la atmosférica, la correspondiente a la diferencia de altitud entre el vaso de expansión y el punto más alto de la instalación y un mínimo de 0,2 [bar] como margen de seguridad.

Al encontrarse el vaso de expansión en la sala de máquinas y el punto más alto de la instalación, la salida de los captadores, en la cubierta del edificio la distancia vertical entre ambos asciende a 14,5 [m].

$$P_{min} = \rho gh + P_{atm} + P_{seg} = 262\,100 \text{ [Pa]}$$

La presión máxima de funcionamiento queda definida en función de la presión máxima soportada por los captadores, proporcionada por el fabricante. De manera que se calcula como el mínimo de los siguientes valores.

$$P_{max} = 0,9 * P_{maxcap} = 7,2 \text{ [bar]}$$

$$P_{max} = P_{maxcap} - 0,5 = 7,5 \text{ [bar]}$$

Donde  $P_{maxcap}$  es la presión máxima soportada por el captador e igual a 8 [bar]. Obteniéndose una presión máxima final igual a 7,2 [bar].

Quedando el coeficiente de presiones de la siguiente forma,

$$C_p = \frac{P_{max}}{P_{max} - P_{min}} = 1,57$$

Por último, el volumen del vaso de expansión queda definido en la siguiente ecuación:

$$V_v = V_{circuito1} * C_e * C_p = 267,61 * 0,157 * 1,57 = 66,06 \text{ [l]}$$

El vaso de expansión seleccionado es el modelo 706SOL080 de la marca Termicol, con capacidad de hasta 80 [l].

### 2.13. Cálculo de espesores de aislamiento

El espesor del aislamiento de las diferentes tuberías de la instalación depende de varios factores: su localización, en el interior o exterior del edificio; la temperatura del fluido que circula por ellas y sus dimensiones. En las Figura 23 y Figura 24 quedan definidos los espesores mínimos para exteriores e interiores de las tuberías dependiendo de su diámetro en función del RITE.

A continuación, en la Tabla 20, se disponen los espesores que se usarán en la instalación en función de los diámetros y su localización.

De ["]	3/4	1	1 1/4	1 1/2
<b>INTERIOR [mm]</b>	25	25	25	30
<b>EXTERIOR [mm]</b>	35	35	35	40

Tabla 20. Espesores mínimos por diámetro exterior de tubería

## 2.14. Selección de accesorios

Es necesario para la instalación, a parte de los equipos ya mencionados en la memoria, los siguientes accesorios:

- Sistema de llenado y vaciado para el sistema primario, que incluye bomba independiente para el llenado, 2 válvulas de corte, una antirretorno y termómetro.
- Purgador de aire manuales en los vasos de expansión del circuito primario, secundario y a la salida de cada grupo de captadores. Formando un total de 13 purgadores manuales.
- Un sistema de control conectado a sondas de temperatura a la salida de los captadores y en el punto bajo del depósito de acumulación. Lo que hace necesario, a parte del propio sistema electrónico de control, dos sondas de temperaturas compatibles con el sistema.
- También, se incorporan 16 termómetros distribuidos por el sistema, a la salida de cada grupo de captadores, para cada entrada y salida del intercambiador y en el depósito de acumulación.
- Manómetros para controlar la presión de cada una de las bombas, 4 unidades, y uno más por cada grupo de captadores, 15 unidades en total.
- Válvula de tres vías eléctrica que permita la conexión del aerotermo con el circuito primario, para en caso de sobrecalentamiento poder actuar.
- Filtros en la aspiración de cada bomba de circulación (2).
- Válvulas antirretorno en la impulsión (2).
- Válvulas de corte en las entradas y salidas de todos los equipos: captadores solares (22 unidades); bombas (4 unidades); depósito de acumulación (4 unidades); intercambiador (4 unidades) y aerotermo (2 unidades).
- Válvulas de equilibrado para cada uno de los 11 circuitos presentes en la instalación.

## **3 PLIEGO DE CONDICIONES**

---



### 3.1. Objetivo

El objetivo del pliego de condiciones técnicas es fijar los criterios utilizados en la instalación para la producción de agua caliente sanitaria con captadores solares. Incluye la definición de equipos y materiales, información sobre el montaje de estos, pruebas y 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 178/2021 de 23 de marzo.
- 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.

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

#### 3.3.1. Tuberías

En los distintos circuitos cerrados de la instalación podrán utilizarse tuberías de cobre, acero negro, acero inoxidable o material plástico compatible con el fluido de trabajo, siempre que soporte las condiciones extremas correspondientes y tengan la protección necesaria en función de su ubicación.

En los circuitos de agua caliente sanitaria podrán utilizarse cobre y acero inoxidable. También, se utilizarán 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.

### 3.3.2. Accesorios

- Compensadores de dilatación.

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

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

Los extremos del compensador serán de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chaflán de 37° o 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>. Las bridas irán soldadas a los cuellos del compensador por los procedimientos recomendados para la soldadura de piezas en acero al carbono de espesores medios.

- Juntas.

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

- Lubricante de roscas.

General: no endurecedor, no venenoso.

- Acoplamientos dieléctricos o latiguillos.

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

- Derivaciones.

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

- Codos en bombas.

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

- Sombreretes

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

- Guías.

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

- Termómetros.

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

- Manómetros.

Los manómetros serán con válvula de aguja de aislamiento en acero inoxidable, e inmersos en glicerina. Los rangos de los manómetros serán tales que la aguja, durante el funcionamiento normal, esté en el medio del dial. La precisión será de al menos el 1%.

Puntos de toma de presión: Se incluirán los puntos de toma con válvula necesarios y/o indicados en planos o especificaciones.

- Válvulas de seguridad.

Se incluirán todas las válvulas de seguridad indicadas, o necesarias (de tarado adecuado) para un funcionamiento completamente seguro y correcto de los sistemas. Durante el periodo de pruebas de la instalación se procederá al timbrado de las mismas. Las válvulas de seguridad de alivio serán de paso angular y carga por resorte. Serán adecuadas para condiciones de trabajo de 0 a 120°C y hasta 25 kg/cm<sup>2</sup>.

Los materiales de fabricación serán bronce RG-5 para el cuerpo, vástago, tornillo de fijación, tuerca deflectora y la tobera, latón para el cabezal y obturador, acero cadmiado para el resorte y PTFE para la junta.

- Purgadores de aire.

Cuando sea necesario, y con el fin de disponer de una instalación silenciosa y evitar formación de cámaras de aire, se dispondrá la tubería con pendiente ascendente hacia la dirección de flujo. Las derivaciones se harán de tal modo que se eviten retenciones de aire y se permita el paso libre del mismo. Se incluirán purgadores de aire, manuales o automáticos, en todos los puntos altos, particularmente en los puntos más elevados de los montantes principales, así como en todos los puntos necesarios, teniéndose especial cuidado en los retornos (ascensos, codos ascendentes).

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

- Vaciados.

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

- Conexiones a equipos.

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

### **3.3.3. Válvulas**

- Generalidades.

Las válvulas llevaran impreso de forma indeleble el diámetro nominal, la presión nominal y, si procede, la presión de ajuste. La elección de las válvulas se realizará, de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura) siguiendo los siguientes criterios:

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

Las válvulas de seguridad, por su importante función, deberían ser capaces de derivar la potencia máxima del captador o grupo de captadores, incluso en forma de vapor, de manera que en ningún caso sobrepase la máxima presión de trabajo del captador o del sistema.

Los purgadores automáticos resistirán las presiones y temperaturas máximas alcanzables en el circuito correspondiente. Los del circuito primario se recomienda que resistan, al menos, temperaturas de 150°C.

- Materiales

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

Válvulas 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 ½ con esfera de latón duro cromado.

### 3.3.4. 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.

### 3.3.5. Vaso de expansión

Los vasos de expansión serán siempre cerrados. El vaso de expansión llevara 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, y 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 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.

### **3.3.6. Bombas**

La bomba de circulación llevara 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.
- Acoplamiento 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 eléctrico 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.

### **3.3.7. Captadores solares**

- Generalidades

El captador solar 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 transmisividad mayor o igual a 0,8.
- La distancia media entre el absorbedor y la cubierta transparente no será 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.

- Modelo de captador

Todos los captadores que integren la instalación se recomienda que sean del mismo tipo y modelo. Sino 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.
- 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.

### 3.3.8. 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 para 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 solares 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.
- 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°C ni paradas con diferencias superiores a 7°C.
- La diferencia de temperatura entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial no será inferior a 3°C.
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.

### **3.3.9. 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.

- Medida de temperatura

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

La medición de la diferencia de temperatura del fluido de trabajo se realizará 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 estar bañadas por el fluido cuya temperatura se quiere medir, o situadas, como máximo, a una distancia de 5 cm del fluido.

### **3.3.10. Acumuladores**

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

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

El depósito 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 del acumulador y podrá ser de tipo sumergido o de doble envolvente. El intercambiador sumergido podrá ser de serpentín o de haz tubular.

### **3.3.11. 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.

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 electrosoldadas. 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 deberán ser suministrados apilados sobre una base de madera adecuada para su traslado mediante carretilla elevadora. Si los captadores desembalados quedan a la intemperie, se colocarán con un ángulo mínimo de 20° y máximo de 80°.

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

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

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

#### **3.6.1. General**

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

El instalador se responsabilizará de la ejecución de las pruebas funcionales, del buen funcionamiento de la instalación y de su estado 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, 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 su funcionamiento es correcto, cuando la instalación satisfaga como mínimo las pruebas parciales del presente capítulo.

#### **3.6.2. Pruebas parciales**

Todas las pruebas estarán precedidas de una comprobación de los materiales al momento de su recepción en obra.

Durante la ejecución de obra, todos los tramos de tubería, uniones o elementos que vayan a quedar ocultos, deberían ser expuestos para su inspección y debería quedar expresamente aprobado su montaje antes de quedar ocultos.

Adicionalmente, se inspeccionarán los soportes de tubería utilizados, los diámetros, trazados y pendientes de tuberías, la continuidad de los aislamientos, etc.

- Pruebas de equipos

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

- Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas

Todas las redes de circulación de fluidos deberán ser probadas hidrostáticamente, a fin de asegurar su estanqueidad, antes de quedar ocultas por obras de albañilería, material de relleno o por el material aislante. Son

aceptables las pruebas realizadas de acuerdo con la norma UNEEN 14336:2005, en función del tipo de fluido transportado.

- Pruebas de libre dilatación

Una vez que las pruebas anteriores de las redes de tuberías hayan resultado satisfactorias y se haya comprobado hidrostáticamente el ajuste de los elementos de seguridad, las instalaciones equipadas con captadores solares se llevarán hasta la temperatura de estancamiento de los elementos de seguridad, habiendo anulado previamente la actuación de los aparatos de regulación automática.

Durante el enfriamiento de la instalación y al finalizar el mismo, se comprobará visualmente que no hayan tenido lugar deformaciones apreciables en ningún elemento o tramo de tubería y que el sistema de expansión haya funcionado correctamente.

### 3.6.3. Pruebas finales

Las pruebas finales permitirán garantizar que la instalación reúne las condiciones de calidad, fiabilidad y seguridad exigidas en proyecto. Son aceptables, las pruebas finales que se realicen siguiendo las instrucciones indicadas en la norma UNE-EN 12599.

Las pruebas de libre dilatación y las pruebas finales de la instalación solar se realizarán en un día soleado y sin demanda.

En la instalación solar se llevará a cabo una prueba de seguridad en condiciones de estancamiento del circuito primario, con el circuito lleno y la bomba de circulación parada, cuando el nivel de radiación sobre la apertura del captador sea superior al 80% de radiación definida como máxima por el proyectista, durante al menos una hora.

### 3.6.4. Ajustes y equilibrado

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

- Sistemas de distribución de agua

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

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

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

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

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

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

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

- Control automático

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

### **3.6.5. Recepción**

- Recepción provisional

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

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

El acto de recepción provisional 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.

- 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 transformará 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 las Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23, Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26 se definen las actividades necesaria para cada uno de los sistemas que conforman la instalación.

Equipo	Frecuencia [meses]	Descripción
Captadores	6	Diferencias sobre originas. Diferencias entre captadores.
Cristales	6	Condensaciones y suciedad.
Juntas	6	Agrietamiento, deformaciones.
Absorbedor	6	Corrosión, deformaciones.
Carcasa	6	Deformación, oscilaciones, ventanas de respiración.
Conexiones	6	Aparición de fugas.
Estructura	6	Degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos
Captadores	12	Tapado parcial del campo de captadores Destapado parcial del campo de captadores Vaciado parcial del campo de captadores Llenado parcial del campo de captadores

Tabla 21. Mantenimiento preventivo en el sistema de captación

Equipo	Frecuencia [meses]	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en el fondo.
Ánodos de sacrificio	12	Comprobación del desgaste.
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento.
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad.

Tabla 22. Mantenimiento preventivo en el sistema de acumulación.

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

Tabla 23. Mantenimiento preventivo del circuito hidráulico

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

Tabla 24. Mantenimiento preventivo del sistema eléctrico y de control.

<b>Equipo</b>	<b>Frecuencia [meses]</b>	<b>Descripción</b>
Sistema auxiliar	12	CF- Actuación.
Sondas de temperatura	12	CF- Actuación.

Tabla 25. Mantenimiento preventivo del sistema auxiliar

<b>Equipo</b>	<b>Frecuencia [meses]</b>	<b>Descripción</b>
Intercambiador de placas	12	CF- Eficiencia y prestaciones. Limpieza.

Tabla 26. Mantenimiento preventivo en el sistema de intercambio

### **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 MEDICIONES Y PRESUPUESTOS**

---

#### 4.1. Sistema de captación

N. Orden	Concepto	Uds	Precio [€/ud]	Precio [€]
1.1	Captador solar modelo G26 de la marca Termicol o similar con las siguientes características:  Superficie útil: 2,30 [m2] Dimensiones: 2039x1239x81 [mm] Peso: 38,2 [kg] Factor óptico:0,81 Factor lineal pérdidas: 3,643 [W/k m2] Factor cuadrático pérdidas: 0,013 [W/k2 m2] K50: 0,88 Caudal de ensayo: 144 [l/h] Pérdida de carga para caudal de ensayo: 300 [Pa]	44	794,44	34.955,37
1.2	Estructura de soporte marca Termicol referencia 451V21 o similar, en acero galvanizado para 4 captadores	11	212,50	2.337,55
1.3	Conjunto de accesorios Termicol, referencia 215BATCAP0 o similar, que incluya, para baterías de captadores, sistema de purga, seguridad y cierre necesario.	11	158,02	1.738,18
1.4	Racones de conexión entre captadores Termicol, modelo Racor o similar	66	7,63	503,47
1.5	Aerotermino de la marca Termicol, con referencia 705DI040M o similar de 40 kW de potencia, para una temperatura del agua de 90°C y 35°C del aire. Perdida de presión igual a 20 [kPa].	1	1.536,57	1.536,57
<b>Total del Sistema de Captación</b>				<b>41.071,14 €</b>

#### 4.2. Sistema de acumulación

N. Orden	Concepto	Uds	Precio [€/ud]	Precio [€]
2.1	Deposito modelo MV8000RB de lapesa o similar con las siguientes características:  Capacidad de 8000 [l] Acero con revestimiento epoxídico Presión máxima de trabajo de 8 [bar] Peso: 1057 kg	1	9.215,07	9.215,07
2.2	Aislamiento fibra de vidrio 100 mm de espesor	1	2.786,32	2.786,32
<b>Total del Sistema de Acumulación</b>				<b>12.001,39 €</b>



### 4.3. Sistema de intercambio

N. Orden	Concepto	Uds	Precio [€/ud]	Precio [€]
3.1	Intercambiador de la marca Alfa Laval modelo AN14-30H o similar con las siguientes características: Número de placas: 40 Área de intercambio: 0,58 [m2] Potencia: 65 [kW] Acero inoxidable Caudal= 1,175 [kg/s] Salto térmico: 11 [°C] Pérdida de carga: 30 [kPa]	1	2.978,70	2.978,70
3.2	Aislamiento fibra de vidrio 100 mm de espesor	1	680,01	680,01
<b>Total del Sistema de Intercambio</b>				<b>3.658,71 €</b>

### 4.4. Sistema de medida y control

N. Orden	Concepto	Uds	Precio [€/ud]	Precio [€]
4.1	Sistema de control de la marca Termicol, modelo MTDC-V5 o similar con las siguientes características: Entradas para sensores de temperatura:4 Salidas relé: 2 Salida PWM: 1 Variantes hidráulicas: 25	1	398,85	398,85
4.2	Sonda de temperatura PT100 Termicol o similar	2	21,80	43,59
4.3	Válvula bola inoxidable 3 vías con actuador eléctrico para diámetro de 1 1/2" marca Salvador Escoda S.A.	1	1.131,75	1.131,75
4.4	Termómetro digital marca Termicol o similar	16	16,56	265,03
4.5	Manómetro de escala 0-10 [bar] marca Termicol o similar	15	4,74	71,11
<b>Total Sistema Medida y Control</b>				<b>1.910,33 €</b>

### 4.5. Sistema hidráulico

N. Orden	Concepto	Uds	Precio [€/ud]	Precio [€]
5.1	Bomba del circuito primario modelo Vero Twin-DPL 32/85 de la marca wilo o similar con las siguientes características: Diferencia de presión de diseño= 75,59 [kPa] Caudal de diseño= 4 230 [l/h] Máxima presión de trabajo = 10 [bar] Peso = 36,2 [kg] Rango de temperaturas = -20 a 120 [°C] Temperatura ambiente máxima = 40 [°C] Consumo de potencia nominal=0,37 [kW] Alimentación eléctrica= Trifásica, 400 [V] y 50 [Hz]	1	2.227,96	2.227,96

N. Orden	Concepto	Uds	Precio [€/ud]	Precio [€]
5.2	Bomba del circuito secundario modelo Star-ZD 25/6 de la marca wilo o similar con las siguientes características:  Diferencia de presión de diseño= 31,5 [kPa] Caudal de diseño= 4 230 [l/h] Máxima presión de trabajo = 10 [bar] Peso = 6,5 [kg] Rango de temperaturas = 2 a 65 [°C] Temperatura ambiente máxima = 40 [°C] Consumo de potencia nominal= 57 [W] Alimentación eléctrica= Monofásica, 230 [V] y 50 [Hz]	2	400,05	800,10
5.3	Vaso de expansión referencia 706SOL080 de la marca Termicol o similar con las siguientes características:  Presión máxima de trabajo = 10 [bar] Presión de precarga = 2,5 [bar] Temperatura mínima = -10 [°C] Temperatura máxima = 100 [°C] Capacidad = 80 [l] Conexiones = 1[""] Diámetro = 450 [mm] Alto = 750 [mm] Peso = 16 [kg]	2	399,94	799,89
5.4	Tubería de cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetro 42 mm en barras de 5 metros	20	21,53	430,68
5.5	Tubería de cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetro 35 mm en barras de 5 metros	11	17,74	195,16
5.6	Tubería de cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetro 28 mm en barras de 5 metros	11	11,31	124,43
5.7	Tubería de cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetro 22 mm en barras de 5 metros	29	8,66	251,25
5.8	Codo 90° cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetro 3/4" Hembra-Hembra (25 piezas)	2	3,25	6,50
5.9	Codo 90° cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetro 1" Hembra-Hembra (10 piezas)	1	8,99	8,99
5.10	Codo 90° cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetro 1-5/8" Hembra-Hembra (2 piezas)	1	9,43	9,43
5.11	TE cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetro 3/4"	4	6,70	26,81
5.12	Reducción cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetros (1-3/8"x3/4") Hembra-Hembra (20 piezas)	1	5,67	5,67
5.13	TE cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetro 1-3/8" (5 piezas)	2	11,81	23,63

N. Orden	Concepto	Uds	Precio [€/ud]	Precio [€]
5.14	TE reducida Salvador Escoda S.A. o similar con diámetros (1-5/8"x1-5/8"x1-1/8")	2	24,43	48,87
5.15	Reducción cobre Salvador Escoda S.A. o similar con diámetros (1-5/8"x1-3/8") Hembra-Hembra (10 piezas)	1	8,94	8,94
5.16	TE reducida Salvador Escoda S.A. o similar con diámetros (7/8"x7/8"x1-1/8")	6	10,46	62,77
5.17	Filtro "Y" modelo AA08116 de Salvador Escoda S.A. o similar para diámetro de 1-1/2"	2	39,75	79,50
5.18	Sistema de llenado y vaciado del circuito primario marca IVAR, modelo MUL 11 que incluye: Bomba de circulación. Válvulas de corte. Termómetro. Válvula antirretorno.	1	343,95	343,95
5.19	Válvula antirretorno de clapeta cierre metal Salvador Escoda S.A. o similar de diámetro 1-1/2"	2	52,90	105,80
5.20	Válvulas de bola inoxidable (válvula de corte) diámetro 1- 1/2" marca Salvador Escoda. (Para bombas, deposito de acumulación, intercambiador y aerotermo. Bombas de corte del campo de captadores en kit correspondiente)	14	68,42	957,88
5.21	Válvula de seguridad con purga manual Referencia AC 05 210 marca Salvador Escoda S.A. (Solo para vasos de expansión, las necesarias para captadores en el kit correspondiente)	2	10,77	21,54
5.23	Válvula de equilibrado Salvador Escoda S.A. o similar con diámetro de 1-1/2"	11	117,48	1.292,25
5.24	Aislamiento tubular flexible autoadhesivo Clase M1 Salvador Escoda S.A. o similar de 32mm espesor para tuberías de 1-5/8"	15	17,55	263,25
5.25	Aislamiento tubular <<k-flex al Clad system>> Salvador Escodao similar de 40 mm de espesor y diámetro 3/4" (9 metros)	15,00	498,60	7.479,00
5.26	Aislamiento tubular <<k-flex al Clad system>> Salvador Escodao similar de 40 mm de espesor y diámetro 1-1/8" (7 metros)	8,00	421,33	3.370,64
5.27	Aislamiento tubular <<k-flex al Clad system>> Salvador Escodao similar de 40 mm de espesor y diámetro 1-3/8" (7 metros)	8,00	448,77	3.590,16
5.28	Aislamiento tubular <<k-flex al Clad system>> Salvador Escodao similar de 40 mm de espesor y diámetro 1-5/8" (7 metros)	15,00	463,40	6.951,00
<b>Total Sistema Hidráulico</b>				<b>29.486,00 €</b>

En la Tabla 27 se hace un breve resumen de las mediciones obtenidas. Siendo el valor final presupuestado de CIENTO QUINCE MIL CUATROCIENTOS CUARENTA Y SIETE EUROS CON DOCE CENTIMOS. Siendo el precio por metro cuadrado de captación solar igual a 1.037,07 €€.

<b>Sistema de captación</b>	41.071,14 €
<b>Sistema de acumulación</b>	12.001,39 €
<b>Sistema de intercambio</b>	3.658,71 €
<b>Sistema de medida y control</b>	1.910,33 €
<b>Sistema hidráulico</b>	29.486,00 €
<b>Total</b>	88.127,57 €
<b>Beneficio Industrial (10%)</b>	8.812,76 €
<b>IVA (21%)</b>	18.506,79 €
<b>TOTAL</b>	115.447,12 €

Tabla 27. Resumen presupuesto

Por último, se representa en Figura 41 los porcentajes de cada uno de diferentes sistemas en los que se ha dividido la instalación.

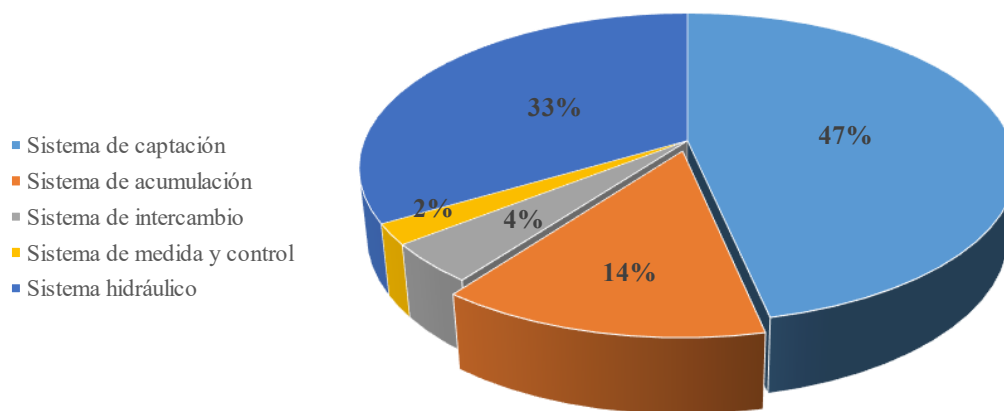


Figura 41. Porcentaje de las mediciones finales respecto a cada sistema


## **5 PLANOS**

---





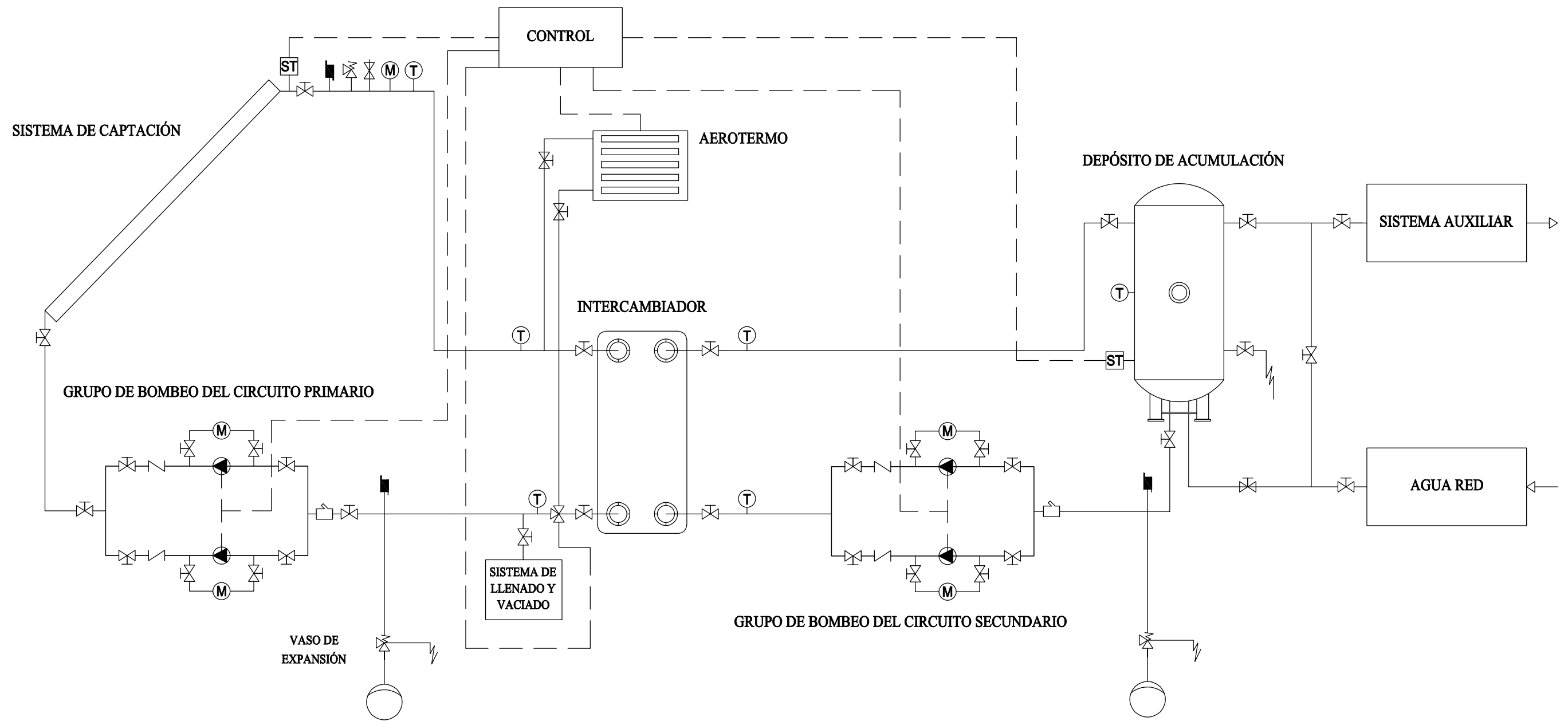


 Escuela Técnica Superior de <b>INGENIERÍA DE SEVILLA</b> FIRMA Fdo. Jesús Llorente Díaz	<b>DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR          TÉRMICA EN UNA RESIDENCIA DE ESTUDIANTES</b>				
	FECHA	ESCALA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	FEBRERO 2024	---	JLLD	DISP-CAP	---
SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO				Nº PLANO: <b>1</b>	








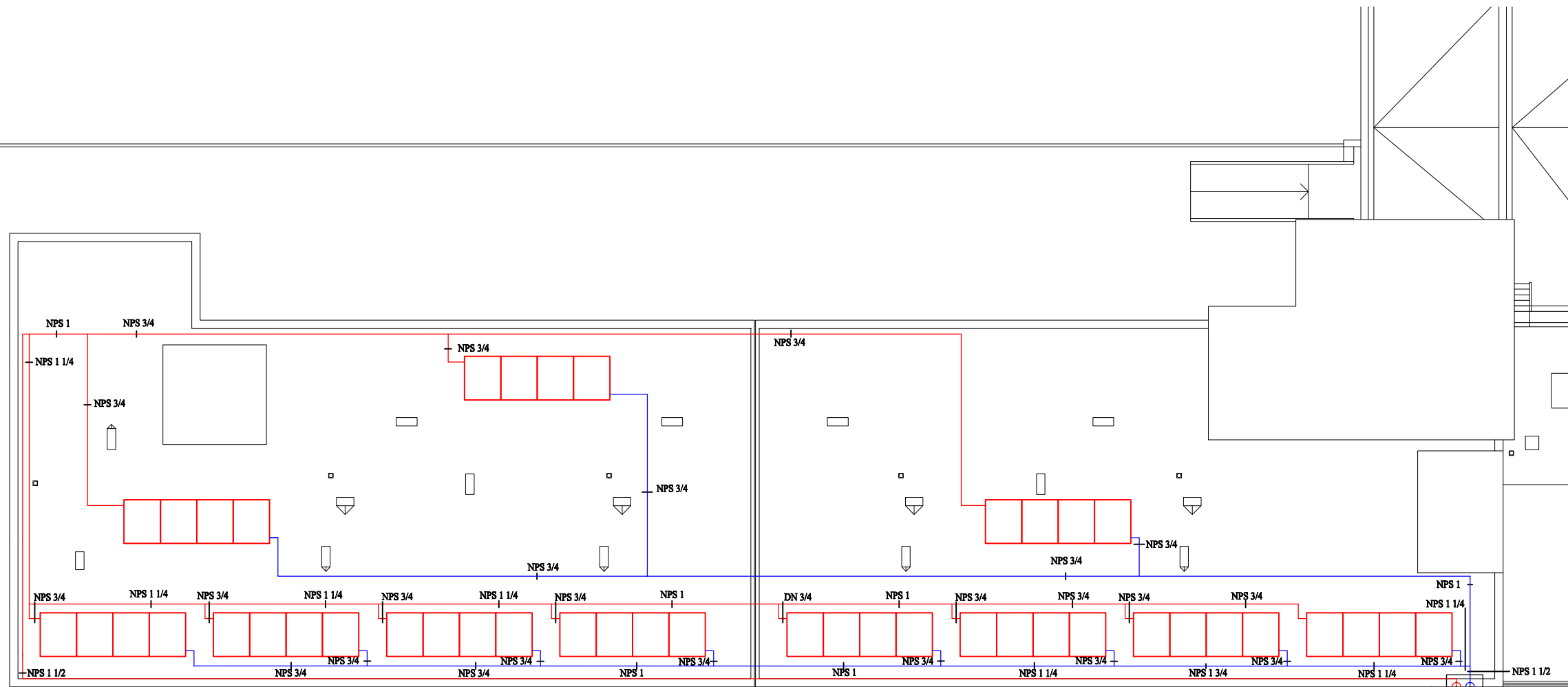
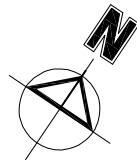


### LEYENDA

-  UNIDAD DE DESAGÜE
-  PURGADOR DE AIRE AUTOMÁTICO
-  Sonda de TEMPERATURA
-  VÁLVULA DE TRES VÍAS
-  VÁLVULA DE VACIADO
-  VÁLVULA DE SEGURIDAD
-  FILTRO DE ASPIRACIÓN
-  VÁLVULA DE CORTE
-  VÁLVULA ANTIRRETORNO
-  TERMÓMETRO
-  MANÓMETRO
-  BOMBA

 Escuela Técnica Superior de <b>INGENIERÍA DE SEVILLA</b>	<b>DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR</b>				
	<b>TÉRMICA EN UNA RESIDENCIA DE ESTUDIANTES</b>				
FECHA	ESCALA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO	
FEBRERO 2024	---	JLLD	DISP-CAP	---	
FIRMA	ESQUEMA DE PRINCIPIO			Nº PLANO:	
Fdo. Jesús Llorente Díaz				<b>2</b>	

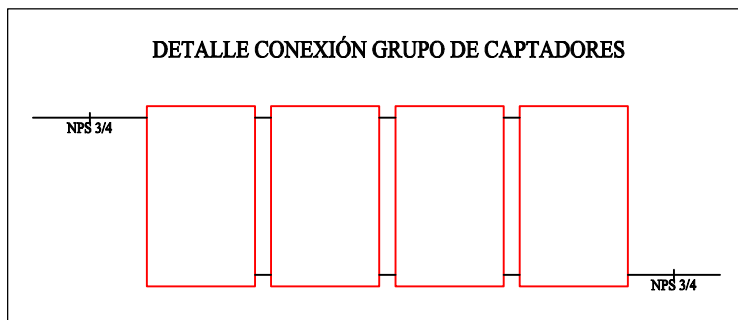




A sistema de bombeo  
(Sala de Máquinas)

Del intercambiador  
(Sala de Máquinas)

DETALLE CONEXIÓN GRUPO DE CAPTADORES



	TUBERÍAS DE RETORNO
	TUBERÍAS DE IMPULSIÓN
NPS XX	NOMINAL PIPE SIZE ["]

Escuela Técnica Superior de  
**INGENIERÍA DE SEVILLA**

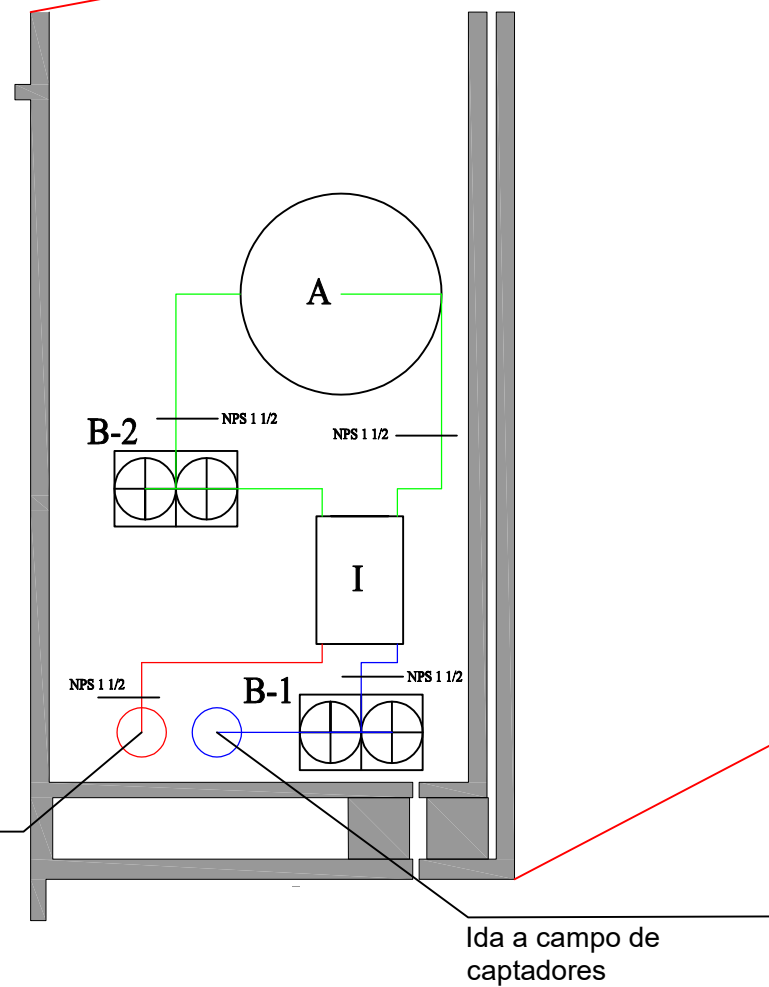
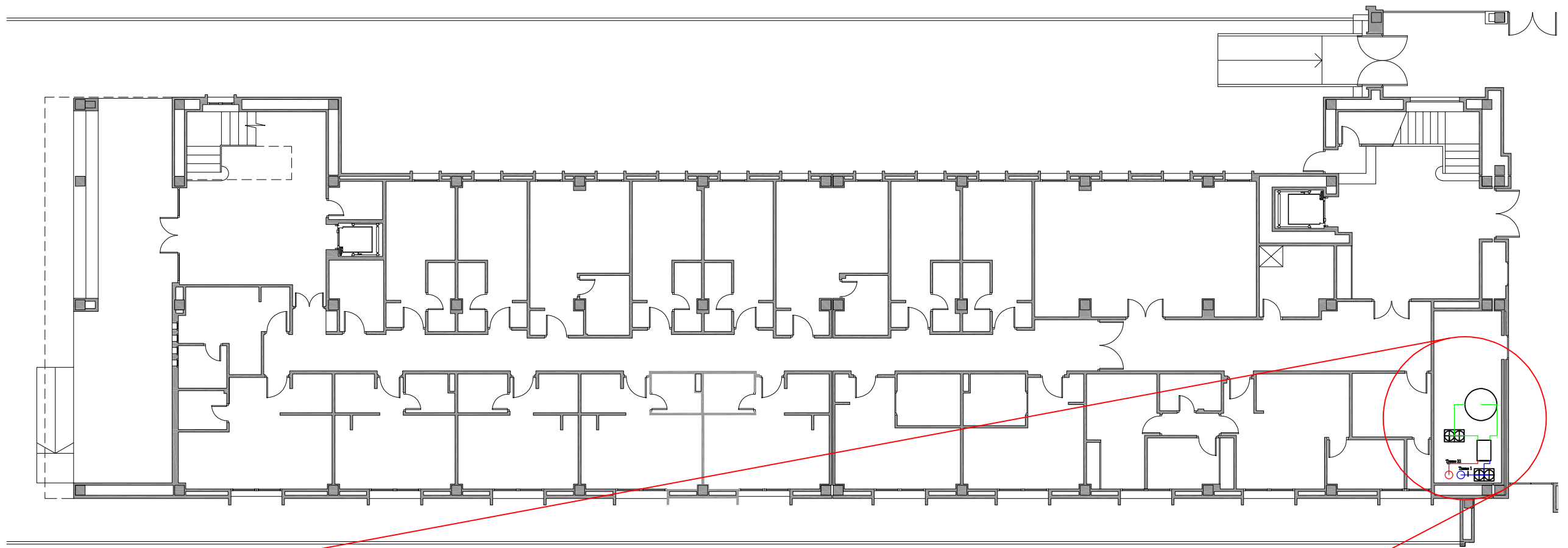
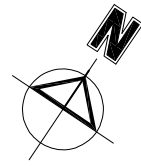
FIRMA

Fdo. Jesús Llorente Díaz

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR  
TÉRMICA EN UNA RESIDENCIA DE ESTUDIANTES**

FECHA	ESCALA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
FEBRERO 2024	-1 m 0 1 2 m	JLLD	DISP-CAP	---
<b>DISTRIBUCIÓN DE CAPTADORES EN LA CUBIERTA</b>				Nº PLANO:
				<b>3</b>





NPS XX	NOMINAL PIPE SIZE ["]
	TUBERÍAS DE RETORNO
	TUBERÍAS DE IMPULSIÓN
B-1	BOMBA DE CIRCULACIÓN DEL PRIMARIO
B-2	BOMBA DE CIRCULACIÓN DEL SECUNDARIO
A	ACUMULADOR
I	INTERCAMBIADOR

Escuela Técnica Superior de  
**INGENIERÍA DE SEVILLA**

FIRMA

Fdo. Jesús Llorente Díaz

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR  
TÉRMICA EN UNA RESIDENCIA DE ESTUDIANTES**

FECHA	ESCALA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
FEBRERO 2024	-1m 0 1 2m	JLLD	DISP-EQP	---
<b>DISPOSICIÓN DE EQUIPOS EN SALA DE MÁQUINAS</b>				Nº PLANO:
				<b>4</b>

