

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio y diseño de una instalación solar térmica para producción de agua caliente en un hospital

Autor: María del Rosario Domínguez Martínez-Pais

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Sevilla, 2022



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio y diseño de una instalación solar térmica para producción de agua caliente en un hospital

Autor:

María del Rosario Domínguez Martínez-Pais

Tutor:

José Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

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

Sevilla, 2022

Trabajo Fin de Grado: Estudio y diseño de una instalación solar térmica para producción de agua caliente en un hospital

Autor: María del Rosario Domínguez Martínez-Pais

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2022

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría empezar agradeciéndole a mi familia, a mi padre y a mi madre, todo el apoyo que me he recibido por su parte, han sido y siempre serán los dos grandes referentes de mi vida. A mis hermanos por ser dos pilares fundamentales en mi día a día y ayudarme siempre que lo necesitase. Gracias por todo el amor recibido por vuestra parte.

A mis amigos, que me han acompañado durante toda la vida, que siempre han apostado por mí y nunca me han dejado de lado.

A mis amigos de la carrera, los cuales me han enseñado que las penas compartidas son menos penas y que han conseguido amenizar con muchas risas las largas sesiones de estudio.

A mis amigos de Erasmus, esos que han estado durante todo el proceso de elaboración de este trabajo y han visto la evolución de mi proyecto. Gracias por animarme en los momentos de bajón y confiar en mí incluso cuando ni yo lo hacía, esto no lo hubiese conseguido sin vosotros.

A mis profesores durante estos cuatro años de carrera, que tanto me han enseñado, y en especial a Jose Guerra, por su dedicación, interés y su ayuda en este trabajo.

*María del Rosario Domínguez Martínez-Pais
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales
Sevilla, 2022*

Resumen

El proyecto que se desarrolla a continuación se centra en el estudio y diseño de una instalación solar térmica de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) para un hospital con una ocupación de 480 personas en Jerez de la Frontera, Cádiz. Para llevar a cabo este trabajo es necesaria la realización de diferentes estudios, como el funcionamiento básico de una instalación solar térmica, situación y características del edificio, la radiación solar recibida en la ubicación del hospital, clima de la zona donde se está trabajando, demanda y consumo del hospital y dimensionado de todos los componentes.

Los parámetros característicos de la instalación se han obtenido utilizando la herramienta de cálculo CHEQ4, que a partir de la introducción de una serie de datos básicos de la instalación facilita el diseño de esta asegurando el cumplimiento y evaluación de la exigencia de contribución solar mínima dispuesta en la normativa aplicable, el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

El proyecto se divide en cinco documentos básicos que lo definen: memoria descriptiva, memoria de cálculo, pliego de condiciones técnicas, mediciones y presupuestos y planos.

Abstract

The following project focuses on the study and design of a low-temperature solar thermal installation for the production of domestic hot water (DHW) for a hospital with an occupancy of 480 people in Jerez de la Frontera, Cadiz. To carry out this paper it is necessary to perform different studies, such as the basic performance of a solar thermal installation, location and characteristics of the building, solar radiation received at the location of the hospital, climate of the area where the work it is being done, demand and consumption of the hospital and sizing of all components.

The characteristic parameters of the installation have been obtained using the CHEQ4 calculation tool, which from the introduction of a series of basic data of the installation facilitates the design of this ensuring compliance and evaluation of the requirement of minimum solar contribution provided in the applicable regulations, the Technical Building Code (CTE) and the Regulation of Thermal Installations in Buildings (RITE).

The project is divided into five basic documents that define it: descriptive memory, calculation memory, technical specifications, measurements and budgets and drawings.

Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
1. MEMORIA DESCRIPTIVA	1
1. OBJETO DEL PROYECTO	2
2. INTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR	2
3. MÉTODO DE CÁLCULO	11
4. DESCRIPCION DEL EDIFICIO	20
5. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR	23
6. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	24
7. NORMATIVA	29
8. BIBLIOGRAFÍA	30
2. MEMORIA DE CÁLCULO	33
1. INTRODUCCIÓN	34
2. DATOS DE PARTIDA	34
3. CÁLCULO DE LA DEMANDA	44
4. DIMENSIONADO BÁSICO	45
5. DISPOSICIÓN DE CAPTADORES	51
6. DIMENSIONADO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	53
7. DIMENSIONADO RED DE TUBERÍAS	54
8. DIMENSIONADO BOMBA DE CIRCULACIÓN	63
9. DIMENSIONADO VASO DE EXPANSIÓN	68
10. DIMENSIONADO AEROTERMO	71
11. CÁLCULO DE ESPESORES DE AISLAMIENTO	71
12. SELECCIÓN DE ACCESORIOS	72
3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	73
1. OBJETO	74
2. NORMATIVA APLICABLE	74
3. CONDICIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS	74
4. PROVISIÓN DEL MATERIAL	84
5. CONDICIONES DE MONTAJE	84
6. PRUEBAS, PUESTA EN MARCHA Y RECEPCIÓN	84
7. MANTENIMIENTO	87
4. MEDICIONES Y PRESUPUESTO	89
5. PLANOS	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores característicos de Jerez de la Frontera, Cádiz.	37
Tabla 2. Declinación solar y ángulo horario.	38
Tabla 3. Irradiación global y extraterrestre horizontal e índice de claridad.	39
Tabla 4. Irradiación global horizontal, directa y difusa.	40
Tabla 5. Relaciones radiación sobre superficie inclinada y horizontal.	42
Tabla 6. Irradiación global horizontal e inclinada.	43
Tabla 7. Demanda de ACS y temperatura de red mensual.	45
Tabla 8. Resultados simulaciones variando número de captadores Nc.	47
Tabla 9. Resultados segundas simulaciones variando número de captadores Nc.	47
Tabla 10. Resultado simulaciones variando relación Volumen-Área.49	49
Tabla 11. Resultados simulaciones variando número captadores en serie.	50
Tabla 12. Dimensionado básico de la instalación.	51
Tabla 13. Distancia entre filas de captadores.	52
Tabla 14. Diámetros normalizados en función del caudal circulante.	56
Tabla 15. Dimensionado tuberías cubierta sala de máquinas	59
Tabla 16. Dimensionado tuberías cubierta nave almacén	61
Tabla 17. Dimensionado tuberías en sala de máquinas. Circuito primario	62
Tabla 18. Dimensionado tuberías en sala de máquinas. Circuito secundario	62
Tabla 19. Longitudes equivalentes de accesorios de tuberías de cobre.	63
Tabla 20. Pérdidas de carga en tramos cubierta de sala de máquinas	64
Tabla 21. Pérdidas de carga en tramos cubierta nave almacén	66
Tabla 22. Pérdida de carga en tramos sala de máquinas. Circuito primario	67
Tabla 23. Pérdida de carga en tramos sala de máquinas. Circuito secundario	68
Tabla 24. Pérdida carga total en circuito primario	68
Tabla 25. Espesores de aislamiento mínimos en el interior de edificios	71
Tabla 26. Espesores de aislamiento mínimos en el exterior de edificios	71
Tabla 27. Espesores mínimos de aislamiento en la instalación	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los elementos de una instalación solar térmica.	3
Figura 2. Captador solar plano.	4
Figura 3. Partes de un captador solar plano.	5
Figura 4. Conexión tres captadores en serie.	6
Figura 5. Conexión tres captadores en paralelo.	6
Figura 6. Conexión mixta de nueve captadores, tres en serie.	7
Figura 7. Intercambiador de placas	8
Figura 8. Caldera convencional	9
Figura 9. Bomba de circulación.	10
Figura 10. Pantalla de inicio de CHEQ4	13
Figura 11. Estructura de pantallas en CHEQ4.	13
Figura 12. Pantalla “Localización” de CHEQ4.	14
Figura 13. Pantalla “Configuración” de CHEQ4.	15
Figura 14. Pantalla “Demanda” de CHEQ4.	16
Figura 15. Pantalla “Solar/Apoyo” de CHEQ4.	17
Figura 16. Pantalla “Otros parámetros” de CHEQ4.	17
Figura 17. Pantalla “Resultados” de CHEQ4.	18
Figura 18. Pantalla de CHEQ4. Revisión seguimiento normativa.	19
Figura 19. Informe final CHEQ4.	20
Figura 20. Vista aérea del Hospital	21
Figura 21. Interior de la central térmica	22
Figura 22. Central térmica y almacén colindante	22
Figura 23. Esquema de principio de la instalación	23
Figura 24. Captador Solar Termicol, 20TUS	25
Figura 25. Acumulador LAPESA MV-10-IB	26
Figura 26. Intercambiador ALFA LAVAL modelo CB110-38M	27
Figura 27. Bomba WILO modelo VEROTWIN DPL 32/135-1,5/2.	28
Figura 28. Vaso de expansión Ibaiondo, modelo 140CMF	29
Figura 29. Mapa de zonas climáticas de España	34
Figura 30. Temperaturas medias y precipitaciones	35
Figura 31. Temperaturas mínimas absolutas anuales (1870-2017).	36
Figura 32. Temperaturas máximas y días con heladas.	36
Figura 33. Irradiación global sobre superficies global e inclinada.	43
Figura 34. Valores del consumo en l/día*persona.	44
Figura 35. Demanda de ACS cada mes.	46
Figura 36. Contribución solar frente número de captadores.	48
Figura 37. Contribución solar frente volumen de acumulación.	49

Figura 38. Contribución solar frente número de captadores en serie.	50
Figura 39. Separación entre filas de captadores solares	52
Figura 40. Separación entre fila de captadores y pretil de la cubierta	53
Figura 41. Pérdida carga captador en función caudal.	55
Figura 42. Tramos de tuberías en la cubierta de sala de máquinas	57
Figura 43. Tramos de tuberías en la cubierta de la nave almacén	58
Figura 44. Tramos de tuberías en sala de máquinas	58
Figura 45. Desglose del presupuesto por sistemas (%)	95

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del proyecto es dimensionar una instalación de energía solar térmica a baja temperatura e integrarla en la instalación convencional de producción de agua caliente para usos sanitarios (ACS) ya existente en un hospital de Jerez de la Frontera.

2. INTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR

El funcionamiento de una instalación solar térmica de baja temperatura se basa en la transformación de la radiación solar captada por los captadores solares planos en energía solar térmica. En una instalación de energía solar a baja temperatura, el nivel térmico en los captadores solares es inferior a 100 C. La configuración de las instalaciones de energía solar depende de la aplicación, del tamaño de la instalación, de los equipos que contienen o de su acoplamiento. El funcionamiento básico de estas instalaciones es sin embargo muy similar; la energía solar térmica captada es cedida en el campo de captadores a un fluido de trabajo, que posteriormente es transferida al sistema de almacenamiento de la instalación. Desde el sistema de acumulación se aporta la energía térmica almacenada al sistema de consumo de ACS y en caso de no disponer de energía suficiente, la instalación convencional aporta la energía necesaria.

El funcionamiento de un captador solar plano, que es el elemento característico de este tipo de instalaciones, se basa fundamentalmente en el concepto de cuerpo negro, superficie selectiva y efecto invernadero, que se desarrollan a continuación.

Cuerpo negro: un cuerpo negro es un cuerpo ideal que se caracteriza por ser un perfecto emisor (emite la máxima cantidad posible de energía radiante a cada temperatura), un perfecto absorbedor (absorbe toda la radiación incidente en cualquier rango de longitudes de onda) y es un emisor difuso. Desde el punto de vista de un captador solar, la superficie sobre la que incide la radiación solar (superficie absorbente) se construye con materiales que se aproximen al comportamiento de un cuerpo negro, de manera que sea capaz de absorber prácticamente la totalidad de la radiación solar incidente.

Superficie selectiva: la radiación solar absorbida aumenta la temperatura del captador solar y al comportarse como un cuerpo negro, emite la máxima energía radiante posible, disminuyendo la energía neta captada y por tanto el rendimiento del captador solar y de la instalación. La radiación solar incidente es radiación de onda corta (inferior a 3 μm), mientras que la radiación emitida por el captador a temperatura del orden de 100 C o inferior es radiación de onda larga (superior a 3 μm). Una superficie selectiva se comporta de forma “selectiva” en función de la longitud de onda de la radiación solar. En la zona de onda corta (radiación solar) se comporta como cuerpo negro, mientras que en la zona de onda larga (radiación emitida por el captador solar) se comporta como un cuerpo bajo emisivo, reduciendo lo máximo posible la radiación emitida, de forma que aumenta la energía solar neta captada. La superficie selectiva es fácil de obtener mediante un tratamiento químico de la superficie absorbente y su comportamiento no se degrada de forma significativa con el tiempo.

Efecto invernadero: el efecto invernadero se basa en la propiedad de determinados materiales de ser transparentes a la radiación de onda corta (radiación solar) y ser opacos a la radiación de onda larga (radiación emitida por la superficie absorbente del captador). El material tiene un comportamiento selectivo frente a la transmisividad. El vidrio blanco (con bajo contenido de

óxido de hierro) tiene esta propiedad y es el que se utiliza en la superficie activa del captador para configurar una cámara de aire que reduzca las pérdidas convectivas por la cara superior. De forma esquemática, el vidrio blanco deja pasar la radiación solar incidente y no deja pasar la radiación emitida por la superficie selectiva del captador, aumentando su rendimiento.

2.1 ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA INSTALACIÓN

Una instalación de energía solar térmica a baja temperatura se puede considerar formada por diferentes sistemas desde la captación de la energía solar hasta los puntos de consumo de la instalación convencional (Figura 1). En cada sistema se puede identificar un elemento representativo que caracteriza el funcionamiento del sistema.

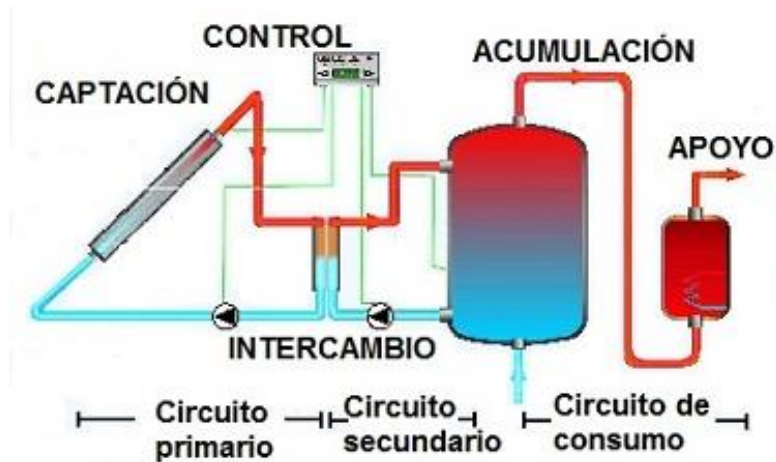


Figura 1. Esquema de los elementos de una instalación solar térmica.

En líneas generales, una instalación de energía solar térmica se puede considerar formada por los siguientes sistemas:

- Sistema de captación: transforma la energía procedente del sol en energía térmica que se transfiere al fluido de trabajo. El elemento característico es el captador solar plano.
- Sistema de acumulación: almacena la energía solar captada. El elemento característico es el depósito de acumulación.
- Sistema de intercambio: transfiere la energía solar captada desde el fluido que circula por los captadores solares al fluido del sistema de acumulación. No existe en todos los sistemas. El elemento representativo es el intercambiador de calor y en algunos casos se encuentra integrado en el acumulador.
- Sistema auxiliar: aporta la energía necesaria para satisfacer la demanda, complementando la energía aportada por la instalación solar. El elemento representativo es la caldera convencional con o sin acumulación.
- Sistema hidráulico: transporta la energía entre sistemas. Desde el sistema de captación y auxiliar hasta el punto de consumo pasando por el sistema de intercambio y de acumulación. Como elemento representativo se puede considerar la bomba de circulación.

- Sistema de regulación y control: regula el funcionamiento de los diferentes equipos de la instalación. El elemento característico es el controlador diferencial.

A continuación, se resume el funcionamiento de cada sistema y del elemento más representativo.

a) Sistema de captación

Está formado por el conjunto de captadores solares (Figura 2) y es el encargado de transformar la radiación solar incidente en el captador en energía térmica, aumentando la temperatura del fluido de trabajo que circula por el circuito primario. En las instalaciones de baja temperatura se utilizan captadores solares planos, sin concentración, sin sistema de seguimiento y capaces de captar tanto la radiación directa como la difusa.



Figura 2. Captador solar plano.

Un captador solar es realmente un intercambiador de calor por el que circula un solo fluido, el fluido del circuito primario que es el fluido frío. El fluido caliente en este caso no existe como tal y es sustituido por la radiación solar incidente que es el foco caliente. Los elementos de un captador solar plano (Figura 3) desde la superficie activa a la superficie posterior son los siguientes; vidrio de bajo contenido en óxido de hierro, cámara de aire, placa absorbente metálica, tuberías o conductos por donde circula el fluido de trabajo, aislamiento térmico y una caja donde se integran todos los elementos y que aporta rigidez al conjunto.

El funcionamiento de un captador solar plano se rige por diferentes principios básicos que hay que tener presentes al definir la configuración de la instalación y la integración de los elementos. Como principios básicos de funcionamiento se pueden indicar los siguientes:

- La energía solar incidente no es controlable.
- La demanda de energía y la energía solar captada están desfasadas.
- La orientación e inclinación del captador solar influyen en el rendimiento del sistema.
- El rendimiento del sistema de captación aumenta al disminuir la temperatura de entrada en el captador solar del fluido de trabajo.
- Hay que captar la energía solar a la mayor temperatura posible.
- Hay que dar prioridad al consumo de la energía solar captada frente a la energía aportada por el sistema convencional.

La orientación e inclinación de los captadores solares se determina en función de las características del edificio, maximizando en todo caso el rendimiento de captación y la energía

solar incidente. Si el edificio no tuviera ninguna limitación, los captadores se instalarían en zonas sin sombras, orientados al sur y con una inclinación que depende de la curva de demanda. Con carácter general, si la demanda es “constante” en base anual la inclinación es del orden de la latitud del lugar, si la demanda es mayor en invierno la inclinación es del orden de la latitud + 10° y si la demanda es mayor en verano, la inclinación es del orden de la latitud del lugar – 10°.

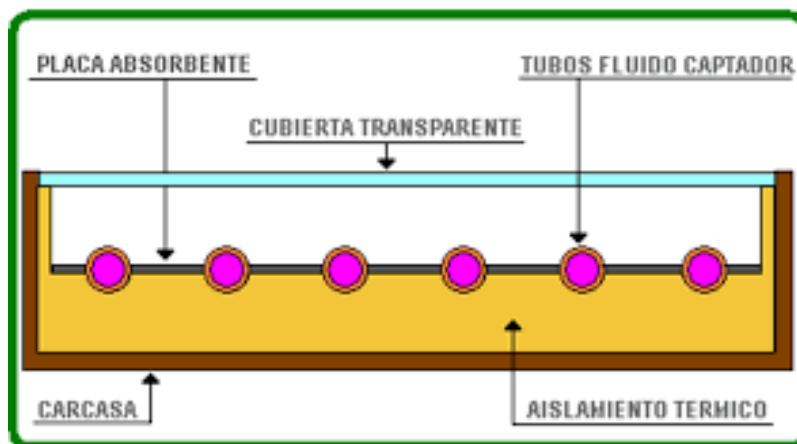


Figura 3. Partes de un captador solar plano.

Las características del edificio influyen fundamentalmente en la orientación del captador solar y en la sombra arrojada en los captadores por los elementos del propio edificio, por edificios adyacentes o por las filas de captadores cuya separación se calcula minimizando las sombras entre filas compatible con el espacio disponible en la superficie donde se ubiquen los captadores solares. La orientación de los captadores se establece en función de la orientación del edificio, la situación de los elementos propios que provoquen sombras y el espacio disponible. En todo caso al aumentar el ángulo azimutal de los captadores, disminuye la radiación solar incidente y por tanto es necesario aumentar el número de captadores solares para la misma contribución solar.

Los captadores solares se pueden agrupar en diferentes configuraciones en función de criterios técnicos, económicos y de rendimiento. Las configuraciones posibles son; en serie, en paralelo o en serie-paralelo. La configuración influye en la temperatura de salida del fluido de trabajo, en la energía solar captada, en el rendimiento del sistema de captación, en la pérdida de carga en el sistema de captación, en el caudal del circuito primario, en el diámetro de las tuberías del circuito primario y por tanto en el coste inicial de la instalación.

En la agrupación en serie (Figura 4), el fluido de trabajo a la salida de un captador entra en el siguiente. La temperatura de salida del fluido de trabajo aumenta, disminuye el rendimiento de captación y por tanto la energía solar captada, disminuye el caudal del circuito primario, aumenta la pérdida de carga en el campo de captadores, disminuye el diámetro de las tuberías y el coste inicial de la instalación.

En la agrupación en paralelo (Figura 5), el fluido de trabajo a la salida se conecta directamente al circuito de retorno del circuito primario. La temperatura de salida del fluido de trabajo disminuye, aumenta el rendimiento de captación y por tanto la energía solar captada, aumenta el caudal del circuito primario, disminuye la pérdida de carga en el campo de captadores, aumenta

el diámetro de las tuberías y el coste inicial de la instalación.

Las configuraciones en serie y en paralelo presentan ventajas e inconvenientes. Con carácter general, la ventaja de una configuración se convierte en un inconveniente en la otra configuración, aunque es verdad que el sistema de control puede mejorar el funcionamiento de una de las configuraciones. Por ejemplo, el sistema de control diferencial aumenta el número de horas de funcionamiento de la configuración en serie, aumentando la energía solar captada en base anual y por tanto la contribución solar en base anual, pudiendo ser del orden de la configuración en paralelo. Por otra parte, al aumentar la temperatura de salida en las configuraciones en serie, es necesario prestar especial atención en estas configuraciones a la protección por temperatura máxima en captadores solares.

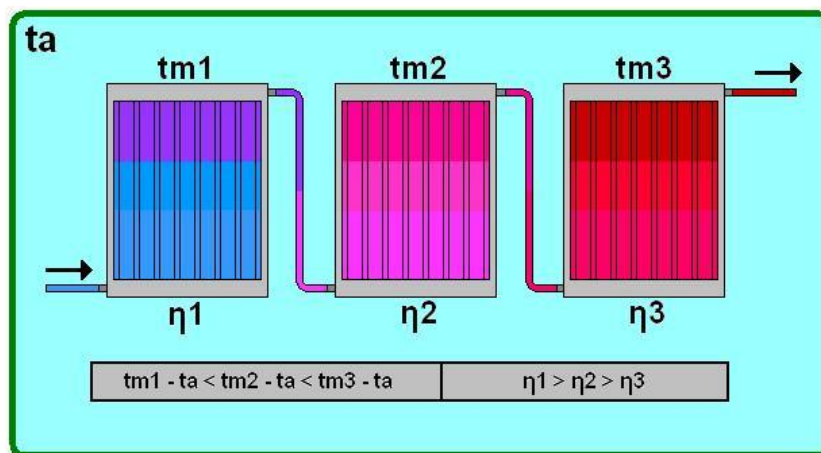


Figura 4. Conexión tres captadores en serie.

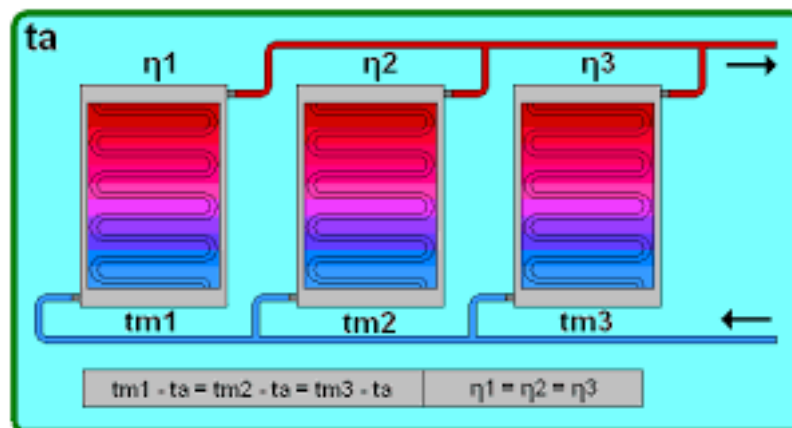


Figura 5. Conexión tres captadores en paralelo.

Para mantener las ventajas de las conexiones en serie y en paralelo, se considera la configuración mixta o configuración serie-paralelo (Figura 6). Es una configuración frecuente en las grandes instalaciones, donde el coste de la red de tuberías puede ser importante. El número máximo de captadores en serie se fija de manera que la disminución del rendimiento de captación se compense con la reducción del coste de la instalación. El número máximo de captadores en serie

suele ser tres, aunque es una decisión del proyectista.

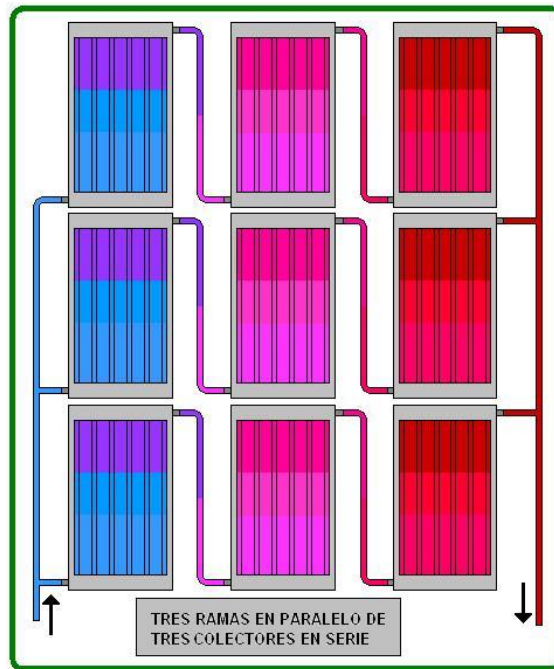


Figura 6. Conexión mixta de nueve captadores, tres en serie.

Tanto en las configuraciones en paralelo como en las configuraciones serie-paralelo es conveniente equilibrar los circuitos en paralelo para no penalizar el rendimiento del sistema de captación. Para ello es conveniente diseñar los circuitos con retorno invertido y en caso de no ser posible, es conveniente instalar válvula de equilibrado en lugar de hacer el equilibrado de forma manual durante la puesta en marcha de la instalación.

b) Sistema de acumulación

El sistema de acumulación es equivalente al volante de inercia de la instalación. El sistema almacena la energía solar captada cuando no existe demanda y aporta energía al consumo cuando hay demanda y no hay captación de energía solar en el sistema de captación. Su misión es compensar en la medida de lo posible, el desfase entre oferta y demanda.

En las instalaciones de energía solar a baja temperatura para ACS, el sistema de acumulación está formado por depósitos de agua caliente, almacenándose la energía en forma de calor sensible al aumentar la temperatura del agua en el depósito. En algunos casos, el depósito incorpora el intercambiador de calor del circuito primario en forma de serpentín interior o de una doble camisa en la superficie lateral del depósito. Se denomina un interacumulador.

Un fenómeno importante en los depósitos de agua caliente en las instalaciones de energía solar es la estratificación en su interior. Conseguir una buena estratificación, permitiría mantener la energía acumulada y conseguir en su interior zonas a diferentes temperaturas. De esta forma se puede compatibilizar aumentar el rendimiento de captación disminuyendo la temperatura del fluido a la entrada a captadores y disminuir el consumo de energía auxiliar aumentando la temperatura del agua de salida a consumo procedente del depósito de acumulación.

Los depósitos suelen ser cilíndricos, verticales y con una alta relación altura/diámetro, con objeto de favorecer la estratificación del agua en su interior. Las conexiones de las tuberías de entrada

y salida al acumulador también deben favorecer la estratificación de temperaturas en el interior. Para ello la parte fría de los circuitos (salida a captadores o intercambiador y entrada del agua de red) se han de conectar en la zona inferior del depósito y la parte caliente (retorno de captadores o intercambiador y salida a consumo) a la zona superior del depósito. En algunos casos, los depósitos incorporan discos horizontales perforados en su interior, con objeto de favorecer la estratificación del agua en el depósito.

Los materiales del depósito más empleados son el acero inoxidable y el acero al carbono con tratamientos interiores a base de vitrificado de simple o doble cara y recubrimientos de resinas epoxi. También son muy utilizados el aluminio y la fibra de vidrio reforzado.

El aislamiento del depósito de acumulación es crucial con el fin de minimizar las pérdidas energéticas al exterior. El espesor de aislamiento debe ser como mínimo el especificado en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E).

c) Sistema de intercambio

El sistema de intercambio transfiere la energía solar captada desde el circuito primario al circuito secundario. Está constituido por un intercambiador de calor (Figura 7), normalmente un intercambiador de placas si es un intercambiador independiente del depósito de acumulación.



Figura 7. Intercambiador de placas

Las instalaciones con intercambiador de calor se denominan instalaciones de transferencia indirecta, mientras que las instalaciones sin intercambiador de calor se conocen como instalaciones de transferencia directa. Aunque un intercambiador de calor supone una mayor inversión inicial y una disminución del rendimiento de captación, es recomendable su instalación como medida de protección de los captadores solares frente a la cal del agua. Permite asimismo utilizar un fluido con anticongelante en el circuito primario como medida de protección contra heladas en los captadores solares.

d) Sistema de apoyo

El sistema de apoyo aporta la energía necesaria para combatir la demanda cuando no es suficiente la energía almacenada en el depósito de acumulación. La normativa en vigor exige la instalación de un sistema auxiliar o de apoyo con una potencia punta capaz de suministrar el 100% de la demanda en cualquier condición de funcionamiento.

El equipo auxiliar suele ser una caldera convencional (Figura 8), termo eléctrico, calderas de condensación de baja temperatura, de biomasa o eléctricas.



Figura 8. Caldera convecional

f) Sistema de transporte

El sistema de transporte tiene como función transportar la energía desde los sistemas de generación (sistema de captación y sistema de apoyo) hasta los puntos de consumo. Está constituido por la red de tuberías aisladas, bombas de circulación (Figura 9), vaso de expansión, válvulas, filtros, sistemas de llenado y vaciado y el fluido caloportador.

e) Sistema de control

Este sistema regula el funcionamiento de los diferentes equipos y sistemas de la instalación. Forma parte del sistema de control las sondas de temperaturas, válvulas de seguridad y una centralita de regulación.

El elemento más característico en las instalaciones de energía solar a baja temperatura es la centralita de regulación, que regula el funcionamiento de las bombas de circulación mediante un sistema de control diferencial. En cada instante de tiempo, la centralita compara la temperatura medida por una sonda de temperatura situada a la salida de una de las filas de captadores con la temperatura medida por una sonda de temperatura instalada en la parte inferior del depósito, en la zona de entrada del agua fría de red. Si la temperatura a la salida de captadores es mayor que la temperatura en la zona inferior del depósito, se ha captado energía en el sistema de captación y el sistema de control indica a las bombas del circuito primario y secundario que entren en funcionamiento. En caso contrario detiene el funcionamiento de las bombas. Para evitar inestabilidades en el funcionamiento de las bombas se define un diferencial de temperaturas para el arranque y parada de las bombas.



Figura 9. Bomba de circulación.

En instalaciones de cierto tamaño, donde la longitud del circuito primario es importante, se puede instalar una tercera sonda de temperatura a la entrada en el intercambiador del agua caliente procedente del campo de captadores. Inicialmente, el sistema de control solo pone en funcionamiento la bomba del primario cuando la temperatura a la salida de captadores es mayor que la temperatura en la zona inferior del depósito. Cuando la temperatura de la sonda de temperatura a la entrada del intercambiador es mayor que la temperatura en la zona inferior del depósito, el sistema de control pone en funcionamiento la bomba del secundario.

Una alternativa más simple para tener en cuenta la inercia del circuito primario es eliminar la sonda en el intercambiador y cuando el sistema de control arranca la bomba del primario, pone en funcionamiento también la bomba del secundario con un retardo que es el tiempo que tarda en llegar el agua desde el sistema de captación al intercambiador.

La sonda de temperatura instalada en la salida de una fila de captadores, permite al sistema de control establecer una estrategia de control para protección contra heladas o protección contra temperaturas máximas en el campo de captadores. Si la instalación no utiliza un fluido con anticongelante, cuando la temperatura es inferior a un valor de consigna, el sistema de control pone en funcionamiento las bombas de circulación, utilizando la energía almacenada en el depósito para evitar la congelación del fluido de trabajo en los captadores.

De la misma manera, cuando la temperatura a la salida de captadores supera un valor de consigna, deriva el agua del circuito primario hacia un intercambiador (un aerotermo o un disipador estático) para transferir la energía sobrante al aire ambiente exterior.

Las válvulas de seguridad controlan la presión máxima. Cuando la presión supera el valor de consigna, se abre la válvula, eliminando el fluido al sistema de vaciado hasta que la presión es inferior a la de consigna. Al menos se instala una válvula de seguridad en el vaso de expansión.

El sistema de apoyo se controla mediante una sonda de temperatura instalada en el depósito auxiliar o en la misma caldera en los sistemas sin acumulación. Cuando la temperatura medida por la sonda de temperatura es inferior a la de consigna, entra en funcionamiento el sistema auxiliar hasta que la temperatura supera la temperatura de consigna.

2.2. TIPOLOGÍA DE INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR PARA ACS

Las instalaciones de energía solar para ACS pueden adoptar diferentes configuraciones en función del circuito primario/secundario y del acoplamiento con el sistema de apoyo. En las

instalaciones de energía solar en bloques de vivienda, las configuraciones posibles pueden ser muy diferentes debido al tipo de acometida del agua fría a las viviendas y a la posible centralización del campo de captadores, acumulación, intercambiador de calor o sistema de energía auxiliar. Cuando se consideran como viviendas individuales, es posible instalar sistemas por termosifón individuales.

En los edificios no destinados a viviendas, los sistemas de energía solar son todos sistemas de circulación forzada y todos los elementos suelen estar centralizados. Existen básicamente dos tipos de sistemas; con el intercambiador de calor externo al acumulador y con el intercambiador incluido en el depósito (interacumulador).

En los sistemas con el intercambiador independiente hay dos circuitos independientes (primario y secundario) y dos equipos de bombeos correspondientes a las bombas del primario y del secundario. En instalaciones con interacumulador, no existe circuito secundario y solo existen las bombas del circuito primario.

3. MÉTODO DE CÁLCULO

Existen numerosos procedimientos para el cálculo de la demanda de fracción solar. En este proyecto se trabajará con un programa informático CHEQ4.

CHEQ4 es una herramienta que permite calcular la contribución solar de una instalación solar térmica para producción de agua caliente sanitaria (tiene la opción también de calcular la contribución solar de una instalación solar térmica para calentar el agua de piscinas), utilizando la metodología MetaSol. Este programa facilita la aplicación, cumplimiento y evaluación de la sección HE4 incluida en la exigencia básica HE Ahorro de energía del CTE. Fue promovida en 2012 por la Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT) en España y financiada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

MetaSol es una metodología de cálculo basada en curvas obtenidas a partir de los resultados de más de 69.000 simulaciones dinámicas realizadas con TRNSYS. Todas las configuraciones incluidas en CHEQ4 han sido modelizadas con TRNSYS y simuladas posteriormente en diferentes escenarios. Una vez realizadas las simulaciones, se genera con los resultados una base de datos y mediante un tratamiento estadístico, se han identificado las variables más significativas, obteniéndose 7 funciones, que permiten predecir las ganancias y pérdidas de cada uno de los sistemas.

MetaSol define doce variables de entrada que caracterizan las condiciones de operación y propiedades del sistema, y tres factores de efectos aleatorios, que caracterizan la localización (radiación, temperatura de agua de red, temperatura ambiente, demanda, etc.). Sin embargo, no todas las propiedades tienen sentido en todos los esquemas, por lo que cada función está caracterizada por entre seis y diez variables y dos o tres factores climáticos.

El proceso de obtención de las variables representativas de las que depende la contribución solar es claramente diferente del procedimiento utilizado en el método f-Chart. Como se ha comentado previamente, MetaSol identifica las variables representativas del sistema mediante métodos estadísticos mientras que el método f-Chart identifica estas variables mediante un análisis previo de las magnitudes adimensionales representativas del sistema, lo que facilita la generalización de las correlaciones obtenidas.

El alcance del método CHEQ4 se puede resumir en los siguientes puntos:

- Se aplica a instalaciones de energía solar térmica para agua caliente sanitaria y calentamiento de agua de piscina.
- Calcula la contribución solar en base mensual, por lo que necesita valores mensuales medios diarios para los datos de entrada (climáticos y de consumo).
- Considera 8 sistemas diferentes, cuatro para instalaciones de consumo único y cuatro para instalaciones de consumo múltiple (bloque de viviendas).
- Incluye los sistemas prefabricados.
- Considera las pérdidas térmicas en el circuito primario de captación y en el circuito de distribución. No indica que considere las pérdidas en el circuito secundario de captación.
- Las funciones se han obtenido utilizando el coeficiente lineal de pérdidas de segundo orden del captador solar.
- La contribución solar se define en relación a la demanda bruta del sistema (demanda de ACS más las pérdidas en el circuito de distribución en algunos sistemas).

La metodología de uso del programa es sencilla, una vez elegida la configuración, la localización, el consumo y las características de los componentes, la contribución solar se obtiene conceptualmente en tres etapas: determinación de las variables de entrada, situación de las variables de entrada en las funciones de la configuración escogida y cálculo de la contribución solar mensual y anual de la instalación.

CHEQ4 se materializa en un software que IDEA ofrece de forma gratuita al sector de la energía solar térmica. Es un software desarrollado en un entorno muy amigable para el usuario, conceptualmente bien concebido, fácil de utilizar, bien estructurado y con ayudas al usuario de fácil acceso en cada una de las pantallas del programa. Para mostrar la facilidad de uso del software y el volumen de variables de entrada necesarias, se describe a continuación brevemente las diferentes pantallas de CHEQ4.

Una vez iniciado el software aparece la pantalla de inicio que se puede observar en la Figura 10, donde se muestra la versión y la fecha de la base de datos de colectores solares que incorpora el programa. En la zona inferior aparecen dos botones que permiten actualizar la base de datos o aceptar la que ya existe en el programa.

El programa se estructura en el conjunto de pantallas que se muestran en la Figura 11, a través de las cuales se realiza la entrada de datos. La versión de CHEQ4 es la 2.0.1, con la Metodología de cálculo MetaSol y base de datos actualizada al 3 de marzo de 2022.

Una vez pulsado el botón “Aceptar” que aparece en la pantalla de inicio anteriormente mostrada, se inicia la entrada de datos que se estructura en las seis pantallas en las que ya se ha comentado que se estructura el programa. A estas se accede secuencialmente una vez completa la información solicitada en la pantalla anterior. Las seis pantallas son:

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



Figura 10. Pantalla de inicio de CHEQ4



Figura 11. Estructura de pantallas en CHEQ4.

Para pasar de una pantalla a la siguiente se pulsa el icono correspondiente en el lateral derecho de la pantalla. Es obligatorio hacerlo en el orden descendente que se muestra en la pantalla.

En cada pantalla existe un botón de ayuda en la zona inferior donde se definen las variables solicitadas en la pantalla, se explica el significado de las más relevantes o se indican valores representativos de algunas variables.

La primera pestaña es la de la **“Localización”** (Figura 12), en ella se selecciona la localización, es decir, provincia y municipio. Una vez seleccionados estos, el programa muestra la zona climática a la que pertenece el municipio (según HE4 del Código Técnico de la Edificación), la latitud y la altura. Se obtiene una tabla con la irradiación global media mensual sobre la superficie horizontal (según Atlas de Radiación Solar en España de la AEMET), la temperatura diaria media mensual de agua de red y la temperatura ambiente diaria media mensual. La altura del emplazamiento de la instalación coincide por defecto con la altura del municipio. Si se modifica la altura del emplazamiento, el programa corrige de forma automática las temperaturas del agua de red y del ambiente.

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	10,0	11,7	12,3
Febrero	13,4	11,7	13,0
Marzo	18,1	12,7	14,2
Abril	22,9	13,7	15,7
Mayo	26,2	15,7	18,2
Junio	28,4	17,7	21,0
Julio	28,7	18,7	23,5
Agosto	25,6	19,7	24,0
Septiembre	20,9	18,7	23,0
Octubre	14,9	16,7	19,6
Noviembre	10,7	13,7	15,6
Diciembre	8,6	11,7	12,8
Promedio	19,0	15,2	17,7

Figura 12. Pantalla “Localización” de CHEQ4.

Tras esta primera pestaña, encontramos la pantalla de **“Configuración”** (Figura 13) en la cual se selecciona el tipo de instalación que más se ajuste al sistema con el que se quiere trabajar. Se muestran los ocho tipos de instalaciones que contempla el programa en dos bloques en vertical, uno de instalaciones de consumo único y otro de consumo múltiple. Las instalaciones de consumo múltiple corresponden a instalaciones en bloques de viviendas y las instalaciones de consumo único al resto de edificios. En particular se consideran las siguientes configuraciones:

1. Instalación de consumo único con sistema prefabricado
2. Instalación de consumo único con interacumulador
3. Instalación de consumo único con intercambiador independiente
4. Instalación de consumo único con intercambiador y piscina cubierta
5. Instalación de consumo múltiple con todo centralizado

6. Instalación de consumo múltiple con apoyo distribuido
7. Instalación de consumo múltiple con acumulación distribuida
8. Instalación de consumo múltiple con intercambio distribuido

En la pantalla de “Configuración” se elige una configuración pulsando el icono correspondiente, y una vez elegida se muestra en el centro de la pantalla con una pequeña descripción de la misma.



Figura 13. Pantalla “Configuración” de CHEQ4.

Una vez completa esta pantalla, se puede acceder a la pestaña de “**Demanda**” (Figura 14) donde se especifica la demanda total de agua caliente sanitaria del edificio, dependiendo del tipo de instalación variarán los parámetros que habrá que introducir. Si es de consumo único, habrá que elegir el tipo de aplicación e indicar el número de personas, pero si es de consumo múltiple, se introducirá el número de viviendas y dormitorios, obteniéndose el número de personas y el consumo en litros/día. El programa calcula el consumo en litros/día a 60 °C en función de los datos anteriores y los consumos unitarios del HE4 del Código Técnico de la Edificación.

En la siguiente zona de la pantalla se pueden indicar otros consumos de agua caliente de la instalación a 60 °C no contemplados en el consumo anterior, obteniéndose el consumo total de agua caliente de la instalación a 60 °C. Por defecto, CHEQ4 considera que el consumo es el mismo en todos los meses del año. A la derecha del consumo total se incluye una tabla mensual donde se muestra el porcentaje de consumo mensual de la instalación. Por defecto aparece el 100% en todos los meses, pero se pueden modificar los porcentajes mensuales si la instalación tiene un consumo de agua caliente variable en función del mes.

Una vez definida la localidad de la instalación y calculado el consumo de agua caliente, en la parte inferior de la pantalla aparece la contribución solar mínima exigida por el HE4 del Código Técnico de la Edificación.

Figura 14. Pantalla “Demanda” de CHEQ4.

La siguiente pantalla es “**Solar/Apoyo**” (Figura 15) que se estructura en cuatro bloques. En el bloque de “Captadores” se selecciona empresa, marca y modelo del captador solar de la base de datos del programa. Tras este, se encuentra el bloque de “Campo de Captadores” donde se introduce el número de captadores, el número de captadores en serie, las pérdidas por sombra (%), la orientación y la inclinación. Se pasa al “Circuito primario/secundario” donde se requiere conocer el caudal del circuito primario, el porcentaje del anticongelante, la longitud equivalente del circuito primario, diámetro de la tubería y espesor y tipo de aislante utilizado.

El caudal del circuito primario lo calcula el programa en función del caudal de ensayo, del número de captadores y del número de captadores en serie. Se puede modificar este valor dentro de un rango establecido del valor calculado. El programa indica el diámetro de tubería en función del caudal. El tipo de aislante se elige de una relación de ocho tipos diferentes de aislamiento.

Por último, en el de “Sistema de apoyo” se elige el tipo de sistema de una relación de seis sistemas (caldera convencional, caldera de condensación, caldera de baja temperatura, caldera de biomasa, caldera eléctrica y termo eléctrico) y el tipo de combustible de una relación de hasta tres combustibles diferentes (gas natural, gasóleo y GLP) en función del sistema de apoyo.

La quinta pantalla es la de “**Otros parámetros**” (Figura 16), en esta se introduce el volumen del depósito de acumulación solar. Si la instalación tiene acumulación distribuida se indica el volumen de los acumuladores en las diferentes tipologías de viviendas.

El apartado de “Distribución” se divide a su vez en el circuito de distribución y circuitos de distribución en subestaciones, se debe tener en cuenta que en el caso de consumo múltiple se considerará que el circuito de distribución corresponderá a la general de distribución sin incluir las derivaciones individuales a viviendas.

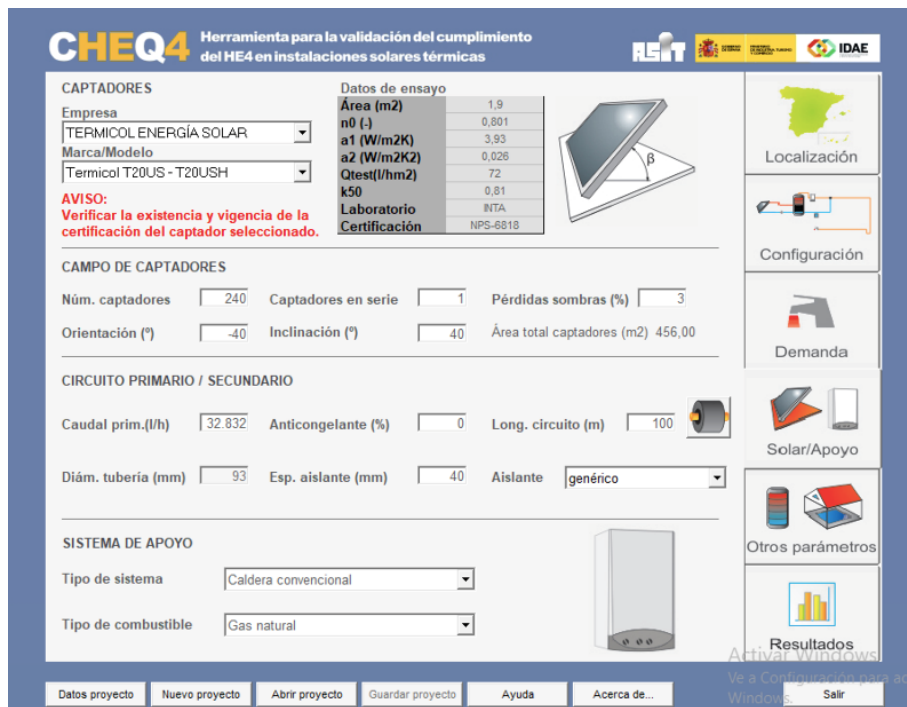


Figura 15. Pantalla “Solar/Apoyo” de CHEQ4.



Figura 16. Pantalla “Otros parámetros” de CHEQ4.

En el circuito de distribución es necesario introducir la longitud del circuito, el diámetro de la tubería, el espesor y tipo de aislante y a temperatura de impulsión o potencia de los

intercambiadores de consumo distribuido en función del tipo de sistema. Por otro lado, para el circuito de distribución de las subestaciones es necesario conocer la longitud del circuito, el diámetro de la tubería y el espesor y tipo de aislante.

En el apartado de “Piscina cubierta” se deben dar los siguientes datos con la finalidad de calcular la demanda energética de la piscina: profundidad de la piscina, tiempo de apertura diaria, superficie de la lámina de agua, humedad relativa y temperatura ambiente, temperatura de consigna del agua de la piscina, porcentaje de renovación diaria del agua de la piscina y, por último, el ratio de ocupación máximo de la piscina.

Se llega por último a la pantalla de “**Resultados**” (Figura 17) donde un indicador permite al usuario conocer si el sistema cumple o no los requerimientos de contribución solar mínima exigida por el HE4. Se muestra en esta pestaña una tabla de resultados donde se observan los valores anuales de la fracción solar (%), demanda neta y bruta (kWh), aporte solar al sistema (kWh), consumo de energía primaria auxiliar (kWh) y reducción de emisiones de CO₂. Además, se muestran gráficamente los valores mensuales de fracción solar, demanda bruta, aportación solar y consumo auxiliar. Por si fuera necesario, el programa da la opción de generar un certificado donde se especifican todos los datos del proyecto y resultados obtenidos.



Figura 17. Pantalla “Resultados” de CHEQ4.

En el momento de acceder a la pestaña de resultados, CHEQ4 verifica el cumplimiento de algunas de las condiciones de cálculo de la contribución solar, de diseño y dimensionado que figuran en el HE4. El programa revisa el cumplimiento de los siguientes apartados:

- Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición $50 < V/A < 180$; siendo A (m²) la suma de áreas de los captadores y V (l) el volumen del depósito de acumulación solar.

- Las pérdidas máximas por desorientación e inclinación y por sombra serán inferiores a los límites establecidos en el HE4 anterior y que ya no se contemplan en el nuevo HE4.
- En el caso de que en algún mes del año la contribución solar real sobrepase el 110% de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100 %, se adoptarán cualquiera de las medidas de protección que se indican (Figura 18).

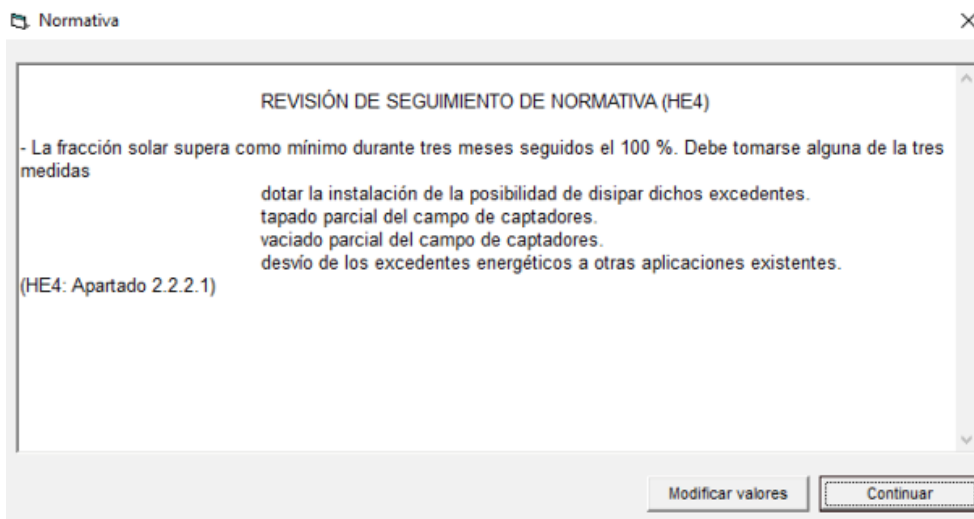


Figura 18. Pantalla de CHEQ4. Revisión seguimiento normativa.

Si la instalación solar térmica cumple con los requerimientos de contribución solar mínima exigida en el HE4 del Código Técnico de la Edificación, CHEQ4 genera un informe de resultados que especifican todos los datos del proyecto y los resultados obtenidos (Figura 19).

Como resumen del análisis del método CHEQ4 se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Datos de partida necesarios: datos meteorológicos (radiación solar y temperatura ambiente), datos de consumo, características de los captadores, sistema de captación, acumulación, sistema auxiliar, redes de tuberías, etc.
- Exactitud y precisión: suficiente para un método promedio.
- Periodo característico de cálculo: un día por mes.
- Resultados: contribución solar, demanda, aporte solar y energía auxiliar en base anual.
- Tiempo de ejecución: reducido.
- Coste: gratuito.
- Incorporación de ayudas y verificación de parámetros de diseño: incluye ayudas y verifica el rango de validez de algunos parámetros de diseño.
- Complejidad de la interfaz con el usuario: mínima.
- Conocimientos por parte del usuario: medio.
- Formación del usuario: medio.
- Tipo de usuario: cualificación media.

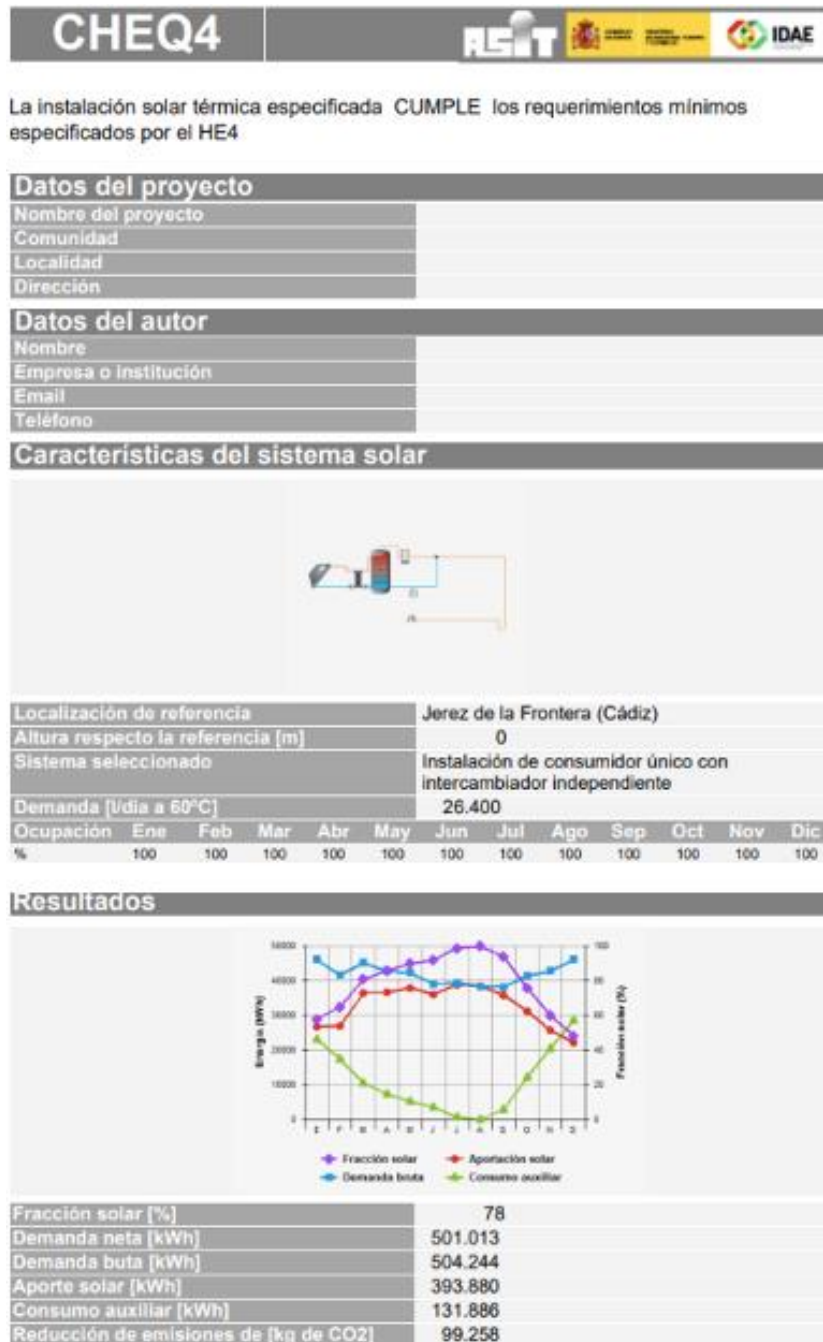


Figura 19. Informe final CHEQ4.

4. DESCRIPCION DEL EDIFICIO

El edificio es un hospital situado en la localidad de Jerez de la Frontera (Figura 20). El hospital con una capacidad de 480 personas, está distribuido en dos edificios principales; el Hospital materno-infantil (Edificio I) y el Hospital general (Edificio II) y un conjunto de edificios auxiliares como la sala de máquinas que alberga los equipos centrales de producción de energía térmica y una nave almacén contigua a la sala de máquinas.

El sistema convencional de producción de agua caliente (ACS) se encuentra en la central térmica (Figura 21). Consta de 4 calderas de alto rendimiento de Gas Natural, tres ellas con una potencia de 2000 kW y la cuarta de 440 kW. El sistema de acumulación está constituido por 3 depósitos conectados en serie de 4000 litros cada uno. Un grupo de bombeo distribuye el ACS a los puntos de consumo de los diferentes edificios que componen el hospital.



Figura 20. Vista aérea del Hospital

La superficie disponible en los dos edificios principales no es utilizable para ubicar el campo de captadores solares. Las cubiertas se corresponden con las cubiertas de las edificaciones originales, que datan de los años 1968-1975. Presentan dificultades de acceso, bajo aislamiento térmico y riesgo de filtraciones de agua.

Como alternativa se considera la superficie de de los edificios auxiliares. La central térmica o sala de máquinas se encuentra en un módulo aparte, dedicado exclusivamente a albergar las calderas y depósitos de acumulación del sistema convencional. La utilización de las cubiertas de estos edificios tiene la ventaja de la proximidad del campo de captadores con la sala de máquinas. Existe además espacio disponible en el interior de la sala de máquinas para ubicar los depósitos de acumulación de la instalación de energía solar.

Se instala por tanto la superficie de captación en la cubierta de la sala de máquinas y en la cubierta de un módulo almacén colindante (Figura 22). La superficie disponible en la cubierta de la sala de máquinas es de 1190 m² y 825 m² en el almacén. El uso de estas dos cubiertas minimiza los problemas de sombra arrojada por edificios próximos.



Figura 21. Interior de la central térmica



Figura 22. Central térmica y almacén colindante

5. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR

El esquema de principio de la instalación se representa en la Figura 23. El fluido es impulsado por la bomba del circuito primario desde el intercambiador a las distintas filas de captadores solares distribuidas uniformemente en 48 filas de 5 captadores conectados en paralelo, con un total de 240 captadores y una superficie total de captación de 456 m². Los captadores se distribuyen en dos cubiertas: en la cubierta de la sala de máquinas se instalan 30 filas y en la cubierta del almacén anexo 18 filas.

En cada cubierta, la red de tuberías se ha configurado con retorno invertido lo que garantiza el equilibrado de los diferentes circuitos en cada una de las cubiertas. Los circuitos de cada cubierta se equilibran mediante la instalación de válvulas de equilibrado en la conexión de la red de tuberías a cada cubierta.

El circuito primario es un circuito cerrado que incorpora un sistema de llenado y vaciado, el equipo de bombeo, el vaso de expansión y accesorios como válvulas de corte, purgadores y filtros entre otros. Se incorpora también unos aerotermos para proteger los captadores de temperaturas excesivas, fundamentalmente en verano. El fluido de trabajo en el circuito primario es agua sin anticongelante.

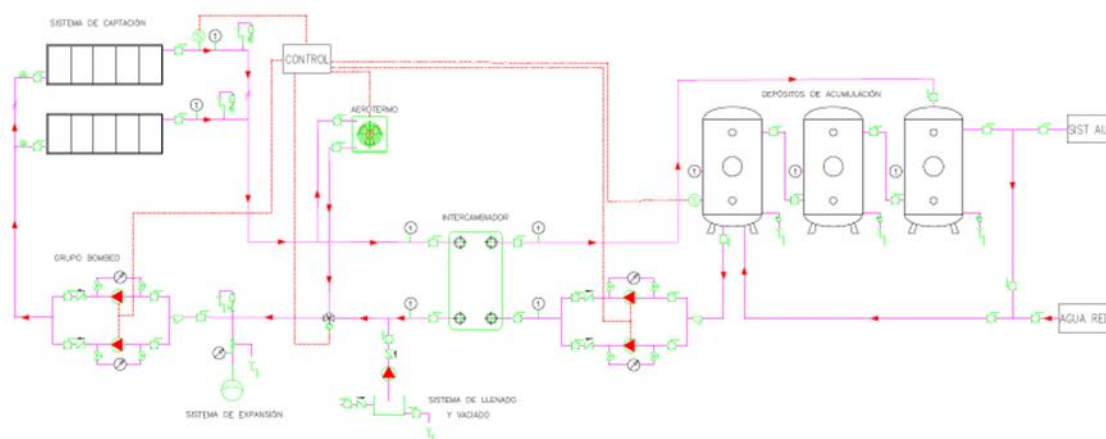


Figura 23. Esquema de principio de la instalación

En el circuito secundario, la bomba impulsa el agua desde la parte fría del sistema de acumulación hasta el intercambiador de calor, donde se transfiere la energía solar captada. Desde el intercambiador de calor el agua caliente retorna a la zona a mayor temperatura del sistema de acumulación. El intercambiador de calor, los equipos de bombeo y los depósitos de acumulación se encuentran en la sala de calderas de la instalación convencional.

El sistema de acumulación está constituido por tres depósitos de 10.000 litros cada uno conectados en serie. La bomba del secundario aspira el agua de la zona inferior del primer depósito. El agua caliente sale de la parte superior del último depósito hacia el sistema convencional de producción de agua caliente del hospital.

Se instalan válvulas de corte a la entrada y salida de cada fila en el campo solar, y en las entradas y salidas de cada elemento de la instalación: bombas, acumuladores, intercambiador y sistema auxiliar. Se instala un purgador manual a la salida de cada fila de captadores para eliminar el

posible aire del circuito. Se instala asimismo un sistema de vaciado/llenado en la aspiración de la bomba del primario y sistemas de vaciado en cada uno de los depósitos.

El sistema de control en la instalación será de tipo diferencial. La bomba del circuito primario entrará en funcionamiento cuando el salto de temperaturas entre la salida del campo de captadores y el depósito acumulador es mayor a 7 C garantizando un aporte energético al acumulador. Cuando este salto es menor a 3 C la bomba se parará. El circuito secundario actuará de la misma manera, pero con un retardo del orden de 90 segundos para tener en cuenta la inercia de la tubería de retorno del circuito primario. Este tiempo depende de la velocidad del fluido y de la longitud de la tubería y se ajusta durante la puesta en marcha de la instalación.

Cuando la temperatura a la salida de captadores es inferior a 5 C, el sistema de control pone en funcionamiento las bombas del circuito primario y secundario hasta que la temperatura de salida de captadores sea mayor de 10 C, evitando de esta forma los problemas de congelación del agua en los captadores.

Si la temperatura a la salida de captadores es superior a 90 C, el sistema de control pone en funcionamiento la bomba del circuito primario y posiciona la válvula de tres vías instalada en el circuito primario, para desviar hacia el aerotermo el agua procedente del campo de captadores, evitando así un calentamiento excesivo en captadores.

6. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

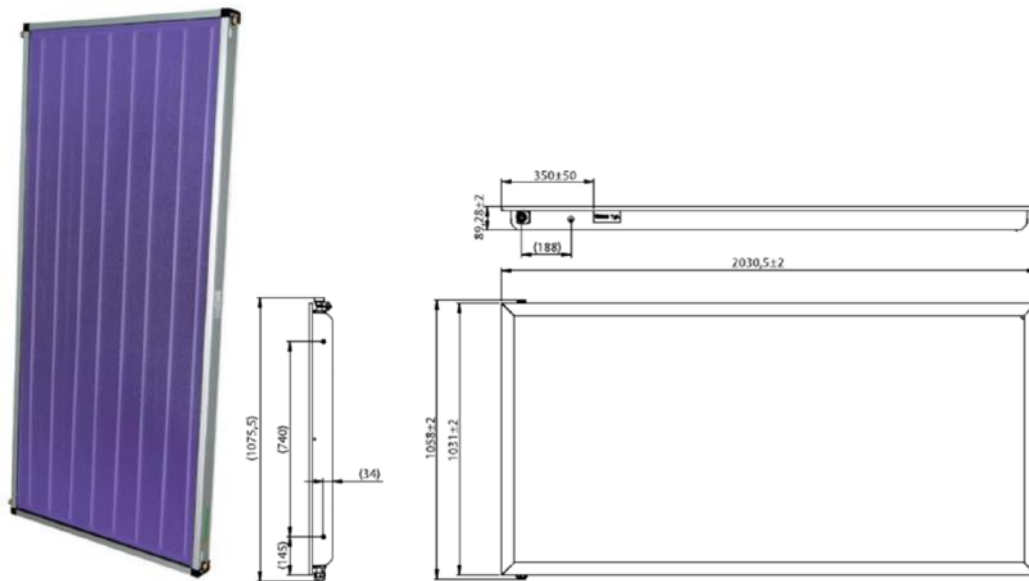
Se resume en este apartado las características técnicas de los equipos fundamentales de la instalación: captadores solares, depósitos de acumulación, intercambiador de calor, bombas de circulación y vaso de expansión.

6.1. CAPTADORES SOLARES

Los captadores empleados en la instalación son de la marca TERMICOL. El modelo forma parte de la gamade captadores ultraselectivos T-US, concretamente es el T20US. (Figura 24)

Características técnicas del captador:

- Superficie bruta/neta: 2,02 m² / 1,9 m²
- Dimensiones totales: 2.130 x 970 x 83 mm.
- Disposición: vertical
- Rendimiento óptico: 80,1 %.
- Coeficiente lineal de pérdidas k1: 3,93 W/m² K
- Coeficiente cuadrático de pérdidas k2: 0,026 W/m² K²
- K50: 0,81
- Caudal de ensayo: 72 l/h m²
- Pérdida de carga: Figura 24
- Cubierta: Vidrio templado con bajo contenido en hierro.
- Aislamiento: Tipo manta de lana de vidrio de gran espesor.
- Absorbedor: multibanda, de aluminio con soldadura ultrasónica.
- Número de tubos: 8.
- Capacidad de fluido: 1,02 litros.
- Peso en vacío: 37 kg.
- Presión máxima de trabajo: 6 atm.



CAPTADORES

Empresa

Marca/Modelo

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

Datos de ensayo

Área (m ²)	1,9
n0 (-)	0,801
a1 (W/m ² K)	3,93
a2 (W/m ² K ²)	0,026
Q _{test} (l/hm ²)	72
k50	0,81
Laboratorio	INTA
Certificación	NPS-6818

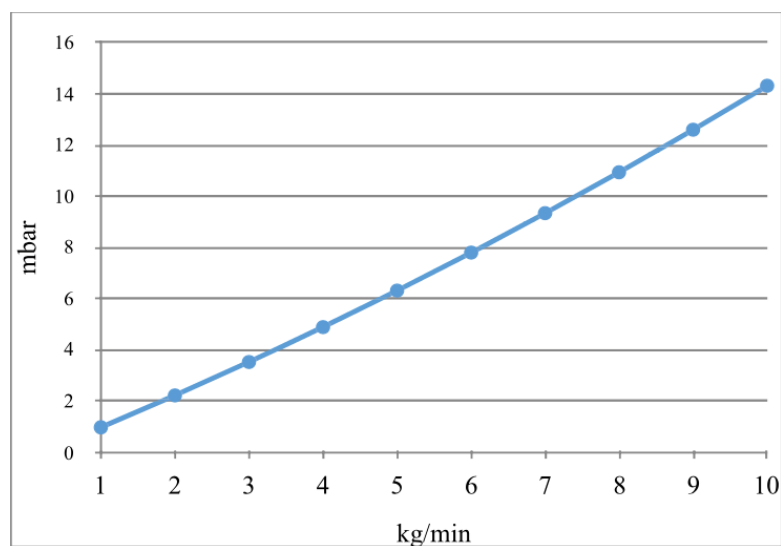


Figura 24. Captador Solar Termicol, 20TUS

6.2. DEPÓSITO DE ACUMULACIÓN

Se ha seleccionado un depósito vertical, de LAPESA, modelo MV-10-IB (Figura 25), con las siguientes características técnicas:

- Capacidad de acumulación de ACS: 10.000 litros.
- Material: Acero al carbono S235JR.
- Temperatura máxima de trabajo de ACS: 110 °C.
- Presión máxima de trabajo: 6 bar.
- Presión máxima circuito de calentamiento: 25 bar.
- Boca de hombre lateral: DN400.
- Tratamiento interno: limpio de partículas.
- Tratamiento externo: imprimación antioxidante.
- Diámetro exterior (D): 1.750 mm.
- Altura total (H): 5.013 mm.
- Peso en vacío: 12.430 kg.

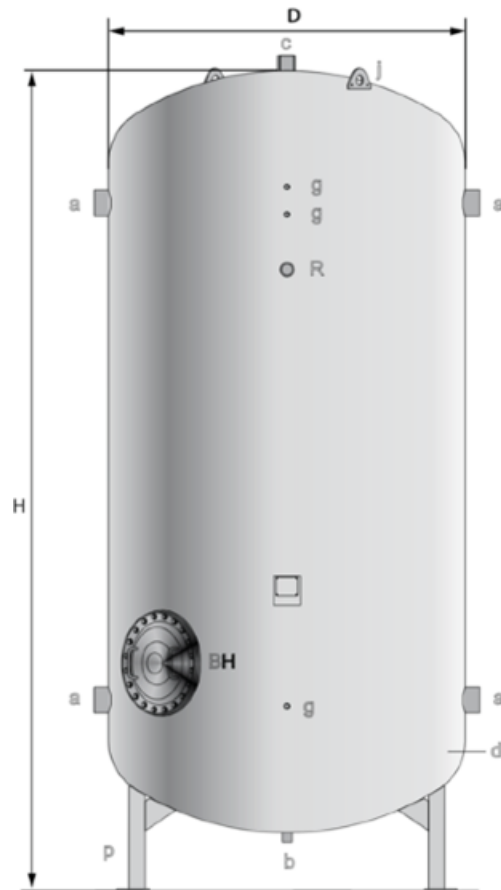


Figura 25. Acumulador LAPESA MV-10-IB

6.3. INTERCAMBIADOR DE CALOR

Como equipo de intercambio se ha optado por un intercambiador de placa termosoldado de la marca ALFA LAVAL, modelo CB110-38M (Figura 26), con las siguientes características

- Número de placas: 42
- Área de intercambio: 616x191 mm.
- Potencia: 228 kW.
- Material: Acero inoxidable.
- Caudal primario: 9,12 kg/s
- Caudal secundario: 9,12 kg/s
- Salto térmico en primario: 6 °C.
- Pérdida de carga en primario: 3,5 m.c.a.
- Salto térmico en secundario: 6 °C
- Pérdida de carga en secundario: 3,5 m.c.a.
- Presión máxima de trabajo: 10 bar.



Figura 26. Intercambiador ALFA LAVAL modelo CB110-38M

6.4. BOMBA DE CIRCULACIÓN

La bomba de circulación del circuito primario es de la marca WILO, modelo VEROTWIN DPL 32/135-1,5/2, en su versión de 2 polos (Figura 27). Es una bomba doble de construcción Inline con dos bombas centrífugas de rotor seco de una etapa en una carcasa común con clapeta de conmutación en la boca de impulsión, de las siguientes características:

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

- Temperatura ambiente máxima: 40 °C.
- Alimentación eléctrica: 1-230V, 50 HZ.
- Consumo de potencia nominal: 1,1 kW.
- Para un caudal de 16 m³/h, gradiente de presión equivalente a 14 m.c.a.
- Dimensiones: Figura 27.

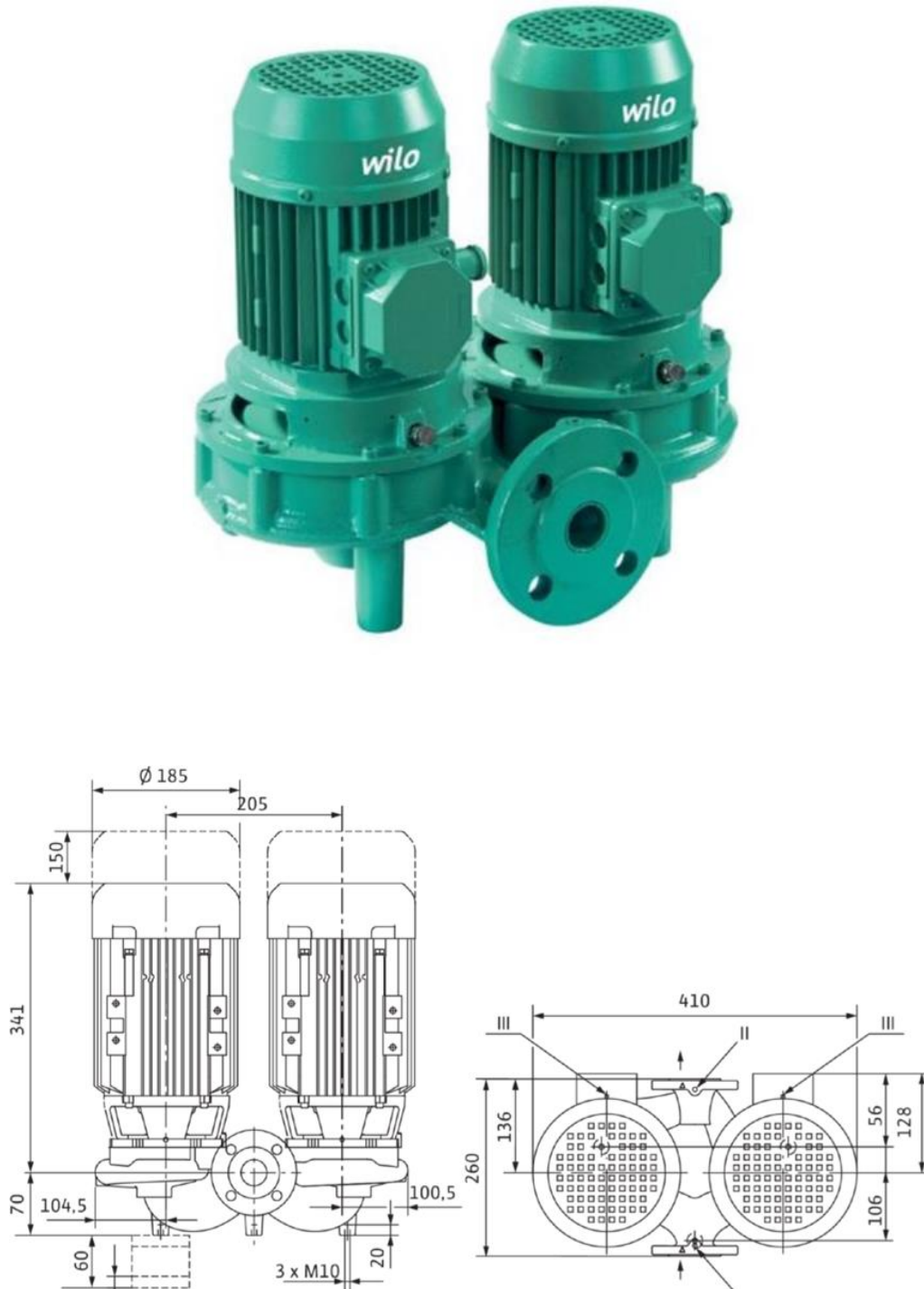


Figura 27. Bomba WILO modelo VEROTWIN DPL 32/135-1,5/2.

La bomba de circulación del secundario es similar a la bomba del primario, marca WILO, modelo VEROTWIN DPL 32/135-1,5/2, en su versión de 2 polos (Figura 27).

6.5. VASO DE EXPANSIÓN

El vaso de expansión de membrana es el modelo 140CMF de la marca Ibaiondo (Figura 28), con las siguientes características

- Presión máxima de trabajo: 8 bar.
- Presión precarga: 1,5 bar.
- Temperatura mínima: -10 °C.
- Temperatura máxima: 100 °C.
- Capacidad: 140 litros.
- Conexiones: $\frac{3}{4}$ ''
- Membrana recambiable en goma DPM.
- Diámetro: 485 mm.
- Alto: 935 mm.



Figura 28. Vaso de expansión Ibaiondo, modelo 140CMF.

7. NORMATIVA

La instalación proyectada tiene que cumplir el Código Técnico de la Edificación CTE-HE4 y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE)

a) Código Técnico de la Edificación HE-4:

- Cumplimiento de la contribución solar mínima: La localidad de Jerez de la Frontera, según el CTE HE4, pertenece a la zona climática V, y debe cumplir una fracción solar mínima del 70%. La instalación proyectada tiene una contribución solar del 78%.
- Cumplimiento del cálculo de la demanda: El cálculo de la demanda se realiza en el apartado 3 de la Memoria de Cálculo.

b) Cumplimiento del RITE:

- Cumplimiento de la IT 1.1.4.3.1. “Preparación de agua caliente para usos sanitarios”
- Cumplimiento de la IT 2.3.3. “Sistemas de distribución de agua” Los diferentes circuitos del sistema solar primario están conectados de forma que el circuito queda totalmente equilibrado hidráulicamente con retorno invertido. Las tuberías serán colocadas en lugares accesibles para la inspección y mantenimiento de estas, sobre todo en los tramos principales y sus accesorios.
- Cumplimiento de la IT 2.3.4. “Control automático”
- Cumplimiento de la IT 1.2.4.2.1. “Aislamiento térmico” Es obligatorio según esta norma, que todas las tuberías, accesorios y equipos de la instalación estarán aislados térmicamente, evitándose consumos energéticos superfluos y los fluidos caloportadores llegan a las unidades terminales con una temperatura próxima a la salida de producción.

Los espesores de los aislamientos han sido seleccionados en el apartado 10 de la Memoria de Cálculo, cumpliendo las especificaciones de esta norma.

- Cumplimiento de la IT 1.3.4.4.5. “Medición”: Se deben tener una serie de instrumentos y equipos de medida para el control de las magnitudes que intervienen en el funcionamiento: presión y temperatura. Para ello se utilizarán termómetros, termostatos y manómetros, instalados en lugares visibles y fácilmente medibles.

La instalación incorpora de un manómetro en el vaso de expansión cerrado (en el circuito primario), un manómetro en la aspiración y otro en la descarga de las bombas, y termómetros y manómetros a la entrada y salida del intercambiador solar.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alfa Laval, <https://www.alfalaval.es>
- Cadiz Clima, <https://cadizclima.blogspot.com/2014/12/algunos-detalles-del-frio-invierno-1890.html>, 2014
- Código Técnico de la Edificación (CTE), sección HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, 2019
- Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley, 2013
- Grupo de Termotecnia. Apuntes de Energía Solar. Departamento de Ingeniería Energética. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2022
- Ibaiondo, <https://www.ibaiondo.com>
- Klein, S.A., Theilacker, J.C. An Algorithm for calculating monthly average radiation on inclined surfaces. Journal of Solar Energy Engineering, February 1981, Vol 103/33.
- Lapesa. Depósitos y equipamientos para agua caliente sanitaria, producción y acumulación. <https://www.lapesa.es/es>
- Martín, D. Estudio y diseño de una instalación solar térmica para producir agua caliente en el sector residencial. Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2020.

- Merino, C. Instalación solar para producción de ACS en un hospital. Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2015.
- Norma UNE 94003-2007: Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas.
- Norma UNE- EN 12976-2: Sistemas solar térmicos y sus componentes.
- Norma UNE 94002-2005: Instalaciones térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE), 2021
- Termicol. <https://termicol.es>
- Wilo, <https://wilo.com/es/es/>

2. MEMORIA DE CÁLCULO

manera, la “mínima diaria media” (línea azul continua) muestra la media de la temperatura mínima. Por otro lado, los días calurosos y noches frías (líneas azules y rojas discontinuas) muestran la media del día más caliente y noche más fría de cada mes en los últimos 30 años. La temporada fresca en esta localidad dura 3,6 meses, el mes más frío del año en Jerez de la Frontera es enero con una temperatura mínima promedio de 6°C. La mínima más baja registrada en los últimos 58 años es de 0,2 °C (27/01/2005).

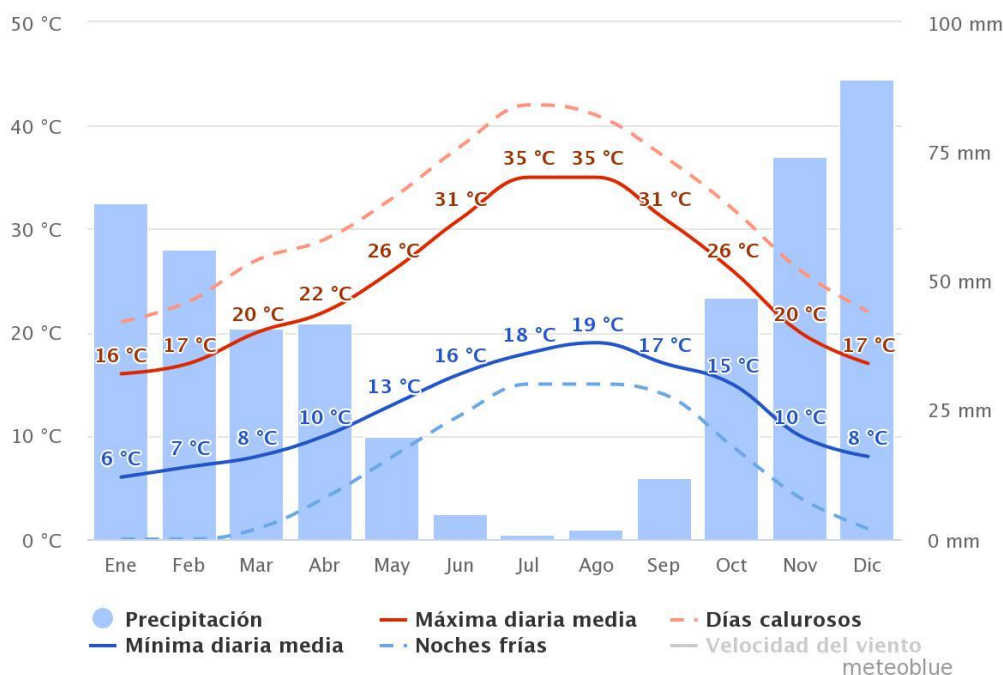


Figura 30. Temperaturas medias y precipitaciones.

Cabe destacar que, en la última semana de noviembre de 1890, en la noche del 20 al 29, se anotó una temperatura de -2,8°C en el observatorio de la Armada (San Fernando). La elaboración del gráfico de la Figura 31 ha sido realizada a partir de los datos publicados en los Anales de observaciones meteorológicas, sísmicas y magnéticas del Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando, 2017).

en la Figura 32 se observa el número de días que se alcanzaron distintos rangos de temperaturas en Jerez de la Frontera cada mes del año además del número de días con heladas en cada mes.

Para la obtención de estos valores se ha utilizado la herramienta de Meteoblue basada en 30 años de simulaciones de modelos meteorológicos por hora, los datos meteorológicos simulados tienen aproximadamente una resolución espacial de 30 km y este programa toma como referencia mediciones realizadas desde una estación meteorológica, situada en Jerez de la Frontera, con latitud de 36,69°N y una longitud de 6,14°O a 53 m s.n.m.

En la Tabla 1 se observan los datos de la irradiación global media mensual sobre la horizontal [Rad MJ/m²], la temperatura diaria media mensual de agua de red según la norma UNE 94002 [T.Red °C] y la temperatura ambiente diaria media mensual según la UNE 94003 [T.Amb °C] que han sido proporcionados por el programa CHEQ4 utilizado en la metodología de cálculo.

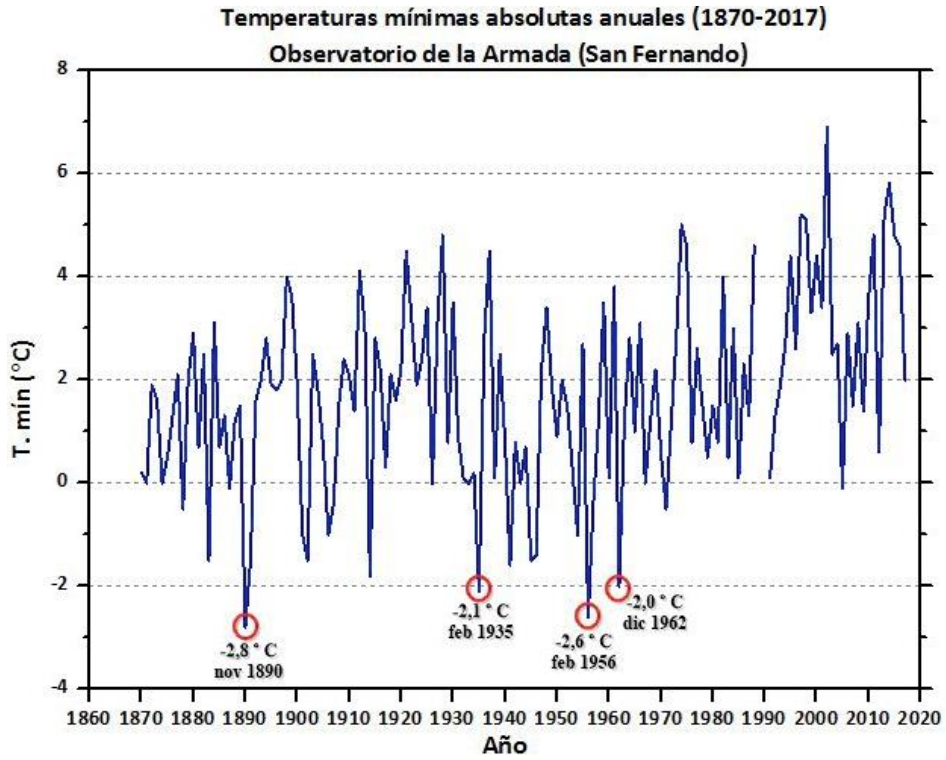


Figura 31. Temperaturas mínimas absolutas anuales (1870-2017).

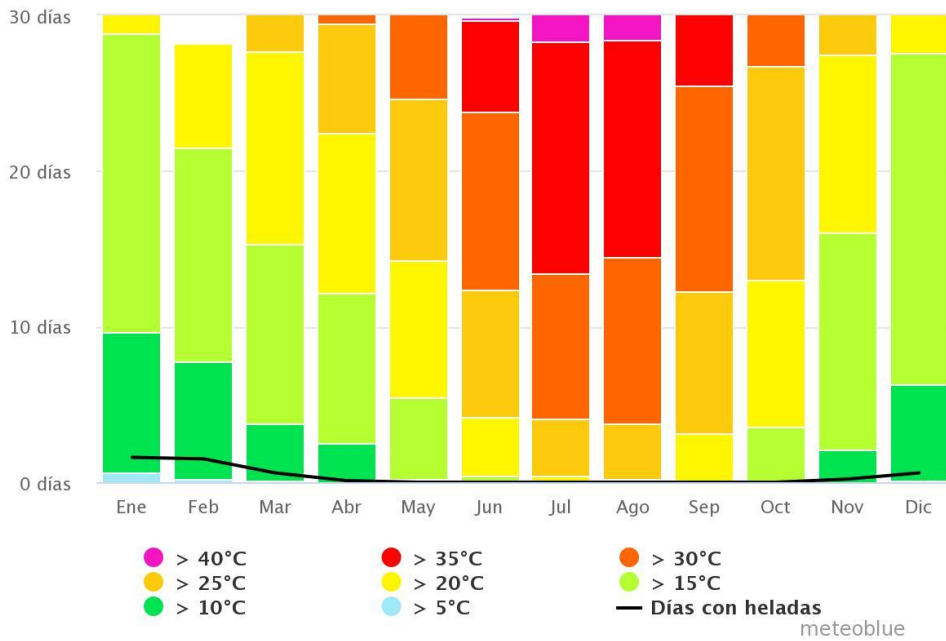


Figura 32. Temperaturas máximas y días con heladas.

Tabla 1. Valores característicos de Jerez de la Frontera, Cádiz.

Meses	Rad [MJ/m ²]	T. Red [°C]	T. Amb [°C]
Enero	10	11,7	12,3
Febrero	13,4	11,7	13
Marzo	18,1	12,7	14,2
Abril	22,9	13,7	15,7
Mayo	26,2	15,7	18,2
Junio	28,4	17,7	21,0
Julio	28,7	18,7	23,5
Agosto	25,6	19,7	24,0
Septiembre	20,9	18,7	23,0
Octubre	14,9	16,7	19,6
Noviembre	10,7	13,7	15,6
Diciembre	8,6	11,7	12,8
Promedio	19,0	15,2	17,7

2.3. RADIACIÓN SOLAR SOBRE SUPERFICIE INCLINADA

La superficie de captación tiene una inclinación de 40 ° y está orientada 40 ° al suroeste. Para calcular la radiación solar incidente sobre esta superficie a partir de la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal, se utiliza el procedimiento propuesto por Klein y Theilacker.

En primer lugar, se descompondrá la radiación solar horizontal media diaria mensual en sus componentes directa y difusa y después se transformará la radiación directa y difusa sobre superficie horizontal a superficie inclinada.

Inicialmente se calcula la declinación solar (δ) que se define como el ángulo que se forma entre el plano del ecuador y la línea que une el centro del sol con el centro de la Tierra. Se calcula mediante la ecuación de Cooper

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

Donde “n” es el día del año para el que se calcula la declinación solar.

Para calcular la irradiación extraterrestre horizontal es necesario el ángulo de salida del sol (ángulo horario) (w_s), el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$w_s = \arccos(-\tan\phi * \tan\delta)$$

Siendo ϕ la latitud del edificio.

El ángulo de salida del sol coincide con el ángulo de puesta del sol si la orientación es sur, el cual no es nuestro caso. Por otro lado, si se multiplica el ángulo de salida del sol por 2h /15 (°) se obtendrían las horas teóricas de sol, es decir, la duración del día en horas. En la Tabla 2 se indica para cada mes del año la declinación solar y el ángulo horario de salida del sol para un día representativo del mes.

Tabla 2. Declinación solar y ángulo horario.

<i>Mes</i>	<i>Día del año</i>	<i>Declinación solar δ (°)</i>	<i>Ángulo horario w_s (°).</i>
<i>Enero</i>	17	-20,92	73,63
<i>Febrero</i>	47	-12,95	80,23
<i>Marzo</i>	75	-2,42	88,22
<i>Abril</i>	105	9,41	97,02
<i>Mayo</i>	135	18,79	104,53
<i>Junio</i>	162	23,09	108,32
<i>Julio</i>	198	21,18	106,61
<i>Agosto</i>	228	13,45	100,16
<i>Septiembre</i>	258	2,22	91,64
<i>Octubre</i>	288	-9,60	82,83
<i>Noviembre</i>	318	-18,91	75,36
<i>Diciembre</i>	344	-23,05	71,71

La irradiación global extraterrestre sobre una superficie horizontal (H_0) se calcula mediante la ecuación

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

Siendo G_{CS} la constante solar (1367 W/m^2).

El índice de claridad medio definido como la relación entre la irradiación anual sobre una superficie horizontal situada en la Tierra y la irradiación anual sobre una superficie horizontal fuera de la atmósfera,

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

Siendo H_{G0} la irradiación global horizontal y H_0 la irradiación extraterrestre horizontal. En la Tabla 3 se indica para cada mes del año, la irradiación global horizontal, la irradiación extraterrestre horizontal y el índice de claridad medio mensual.

Tabla 3. Irradiación global y extraterrestre horizontal e índice de claridad.

Mes	H_{G0} : Irradiación global horizontal [MJ/m ²]	H_0 : Irradiación extraterrestre horizontal [MJ/m ²]	K_t : Índice de claridad media mensual
Enero	10	17,41	0,57
Febrero	13,4	22,56	0,59
Marzo	18,1	29,03	0,62
Abril	22,9	35,53	0,64
Mayo	26,2	39,92	0,66
Junio	28,4	41,63	0,68
Julio	28,7	40,70	0,71
Agosto	25,6	37,15	0,69
Septiembre	20,9	31,32	0,67
Octubre	14,9	24,41	0,61
Noviembre	10,7	18,59	0,58
Diciembre	8,6	15,98	0,54

A continuación, se descompone la radiación global horizontal en radiación directa y difusa. Para ello se necesitarán dos correlaciones, se usa una u otra en función del valor de w_s para cada mes. Estas ecuaciones permiten calcular la radiación difusa en función de la radiación global, ambas sobre superficie horizontal.

Para $w_s \leq 81'4^\circ$ (invierno) usaremos la siguiente correlación:

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

Para $w_s > 81'4^\circ$ (resto del año) se utiliza la siguiente ecuación:

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

Observando los valores obtenidos anteriormente del ángulo horario se observa que se utiliza la correlación de invierno para los meses de enero, febrero y diciembre mientras que para el resto de los meses se usa la otra.

Para calcular la directa basta con saber que la suma de la radiación difusa (H_d) y la directa (H_D)

es la radiación global (H). Es decir, aplicamos la siguiente expresión para obtener la radiación directa que es la que falta por calcular (Tabla 4):

$$H = H_D + H_d$$

Tabla 4. Irradiación global horizontal, directa y difusa.

Mes	H: Irradiación global horizontal [MJ/m ²]	H _D : Irradiación directa [MJ/m ²]	H _d : Irradiación difusa [MJ/m ²]
Enero	10	6,77	3,23
Febrero	13,4	9,29	4,11
Marzo	18,1	12,35	5,75
Abril	22,9	16,05	6,85
Mayo	26,2	18,63	7,57
Junio	28,4	20,84	7,56
Julio	28,7	21,65	7,05
Agosto	25,6	18,94	6,66
Septiembre	20,9	15,06	5,84
Octubre	14,9	10,00	4,90
Noviembre	10,7	6,85	3,85
Diciembre	8,6	5,55	3,05

Para calcular la radiación global sobre una superficie inclinada es necesario calcular la relación R entre la radiación global en una superficie inclinada y la radiación global sobre la superficie horizontal. Se utiliza el procedimiento desarrollado por Klein y Theilacker, válido para cualquier ángulo azimutal (γ) y se calcula mediante la ecuación:

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

Siendo:

D: relación entre la radiación directa en la superficie inclinada y la radiación directa sobre la superficie horizontal.

H_d: radiación difusa sobre la superficie horizontal.

β : inclinación del captador solar.

ρ_g : reflectividad del suelo.

Los términos que multiplican a la componente difusa y reflejada representan el factor de forma de la superficie del captador con la bóveda celeste y con los alrededores respectivamente.

La relación entre la radiación directa en la superficie inclinada y la radiación directa sobre la superficie horizontal (D) se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$D = \begin{cases} \max(0, G(\omega_{ss}, \omega_{sr})) & \text{if } \omega_{ss} \geq \omega_{sr} \\ \max(0, G(\omega_{ss}, -\omega_s) + G(\omega_{ss}, \omega_{sr})) & \text{if } \omega_{sr} > \omega_{ss} \end{cases}$$

Donde:

$$G(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{2d} * \left[\left(\frac{bA}{2} - a'B \right) (\omega_1 - \omega_2) \frac{\pi}{180} + (a'A - bB)(\sin\omega_1 - \sin\omega_2) \right. \\ \left. - a'C(\cos\omega_1 - \cos\omega_2) + \frac{bA}{2} (\sin\omega_1 \cos\omega_1 - \sin\omega_2 \cos\omega_2) \right. \\ \left. + \frac{bC}{2} (\sin^2 \omega_1 - \sin^2 \omega_2) \right]$$

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(\omega_s - 60); b = 0,06609 - 0,4767 \sin(\omega_s - 60);$$

$$d = \sin\omega_s - \frac{\pi\omega_s}{180} \cos\omega_s; a' = a - \frac{H_d}{H}$$

Por otro lado, para calcular ω_{ss} y ω_{sr} se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\omega_{sr} = \begin{cases} -|\omega_{sr}| & \text{if } (A > 0 \text{ and } B > 0) \text{ or } (A \geq B) \\ +|\omega_{sr}| & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\omega_{ss} = \begin{cases} +|\omega_{ss}| & \text{if } (A > 0 \text{ and } B > 0) \text{ or } (A \geq B) \\ -|\omega_{ss}| & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$|\omega_{sr}| = \min \left[\omega_s, \arccos \frac{(AB + C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2})}{A^2 + C^2} \right]$$

$$|\omega_{ss}| = \min \left[\omega_s, \arccos \frac{(AB - C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2})}{A^2 + C^2} \right]$$

Donde:

$$A = \cos\beta + \tan\phi \cos\gamma \sin\beta$$

$$B = \cos\omega_s \cos\beta + \tan\delta \sin\beta \cos\gamma$$

$$C = \frac{\sin\beta \sin\gamma}{\cos\phi}$$

En las expresiones anteriores ω es el ángulo horario, β la inclinación del colector solar y ϕ la latitud del emplazamiento. Los subíndices “sr” y “ss” del ángulo horario ω se corresponden con la salida y puesta del sol respectivamente para el día medio del mes. En la Tabla 5 se indican los valores de D y R para cada mes del año.

El procedimiento de cálculo permite ajustar los cálculos de prestaciones con la variación

mensual de la radiación global incidente por lo que se obtiene un resultado más ajustado a la realidad del funcionamiento de la instalación solar.

Tabla 5. Relaciones radiación sobre superficie inclinada y horizontal

<i>Mes</i>	<i>D: relación radiación directa sobre superficie inclinada y sobre superficie horizontal</i>	<i>R: relación radiación global sobre superficie inclinada y sobre superficie horizontal</i>
<i>Enero</i>	0,41	0,69
<i>Febrero</i>	0,55	0,82
<i>Marzo</i>	0,74	1,02
<i>Abril</i>	1,01	1,28
<i>Mayo</i>	1,28	1,53
<i>Junio</i>	1,46	1,69
<i>Julio</i>	1,43	1,65
<i>Agosto</i>	1,18	1,41
<i>Septiembre</i>	0,88	1,12
<i>Octubre</i>	0,59	0,88
<i>Noviembre</i>	0,42	0,73
<i>Diciembre</i>	0,36	0,67

Una vez calculada R para cada mes, la irradiación global en una superficie inclinada se calcula a partir de la definición de R en función de la radiación global sobre superficie horizontal

$$R = \frac{H_i}{H}$$

En la Tabla 6 y Figura 33, se resumen los valores obtenidos para la irradiación global sobre superficie inclinada en cada mes, comparándolos con la irradiación global sobre superficie horizontal.

2.4. DATOS DE CONSUMO

La demanda de agua caliente sanitaria se calcula a partir de los consumos unitarios de agua caliente en un hospital. En este caso, el hospital cuenta con 480 camas, y está habilitado para una ocupación de 480 personas.

Para el cálculo del consumo de referencia de agua caliente sanitaria para edificios de uso distinto al residencial privado, se toman los valores de la tabla c-Anejo F del Documento Básico de Ahorro de Energía DB HE 2019 del CTE, que recoge valores del consumo unitario de agua caliente a una temperatura de referencia de 60°C.

Tabla 6. Irradiación global horizontal e inclinada.

<i>Mes</i>	<i>H: Irradiación global horizontal [MJ/m²]</i>	<i>Hi: Irradiación global inclinada [MJ/m²]</i>
<i>Enero</i>	10	6,940
<i>Febrero</i>	13,4	11,049
<i>Marzo</i>	18,1	18,400
<i>Abril</i>	22,9	29,245
<i>Mayo</i>	26,2	40,172
<i>Junio</i>	28,4	48,058
<i>Julio</i>	28,7	47,364
<i>Agosto</i>	25,6	35,993
<i>Septiembre</i>	20,9	23,469
<i>Octubre</i>	14,9	13,162
<i>Noviembre</i>	10,7	7,851
<i>Diciembre</i>	8,6	5,760

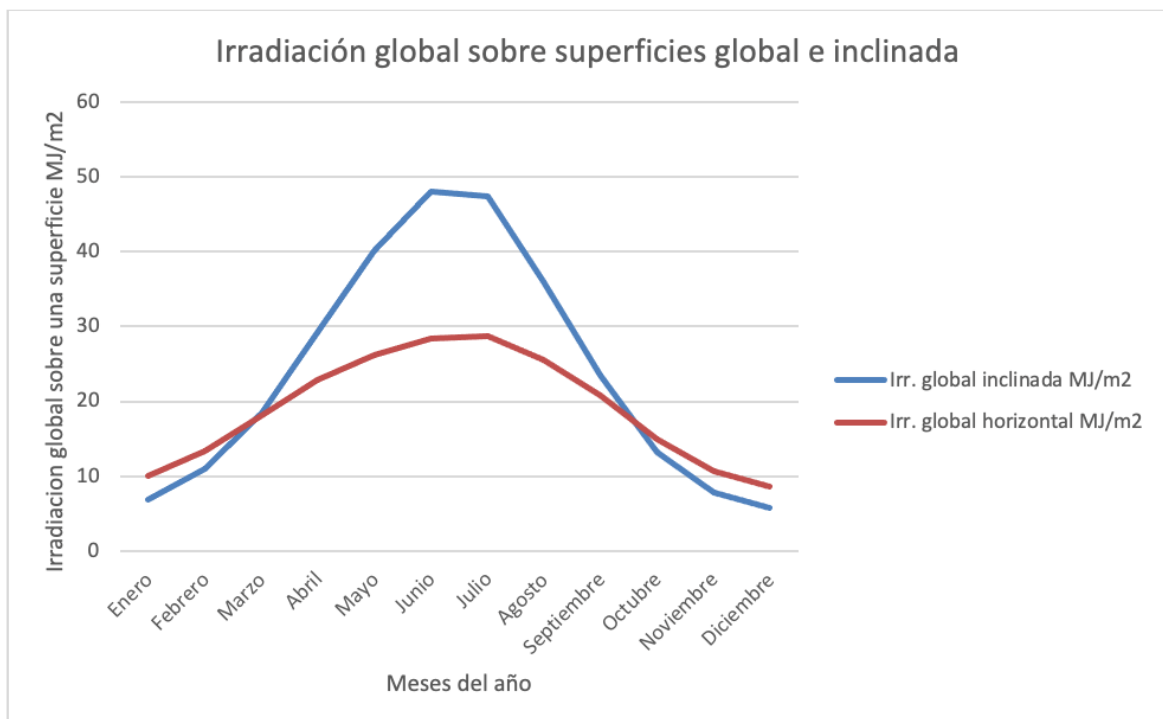


Figura 33. Irradiación global sobre superficies global e inclinada.

Los valores del consumo de agua caliente en l/día por persona para uso distinto al residencial se indican en la Figura 34. Para el caso de hospitales y clínicas se estima un consumo diario de agua caliente de 55 l/persona, por lo que el consumo medio diario será,

$$M_{ac} = 55 \frac{l}{\text{día} \cdot \text{personas}} 480 \text{ personas} = 26400 \text{ l/día}$$

Donde M_{ac} es el consumo diario en HE4 del Código Técnico de la Edificación (CTE) asociado a una temperatura de referencia del agua caliente (60°C en el CTE).

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

Figura 34. Valores del consumo en l/día*persona.

3. CÁLCULO DE LA DEMANDA

La demanda de energía térmica mensual se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$L_{ACS} = M_{ac} * \rho * C_p * (T_{ac} - T_{af}) * N$$

Donde:

L_{ACS} : demanda de ACS a la temperatura de referencia [J/mes].

M_{ac} : consumo unitario diario [l/día].

ρ : densidad del agua, se toma $\rho=1 \text{ kg/l}$.

C_p : calor específico del agua, constante e igual a 4190 J/kg K .

T_{ac} : temperatura de referencia del agua caliente = 60 °C .

T_{af} : temperatura del agua fría o de red, tabulada por la Norma UNE 94002-2005 para cada provincia y mes del año.

N : número de días del mes correspondiente [días/mes].

En la Tabla 7 se muestran los valores mensuales y promedios obtenidos de la demanda energética para la producción de ACS. En la Figura 35 se observa la variación de la demanda energética en función del mes del año, viéndose un claro descenso durante los meses de verano cuando las temperaturas son más altas

Tabla 7. Demanda de ACS y temperatura de red mensual.

Mes	T _{af} [°C]	L _{ACS} [MJ/mes]
Enero	11,7	165625,34
Febrero	11,7	149597,08
Marzo	12,7	162196,24
Abril	13,7	153645,62
Mayo	15,7	151908,95
Junio	17,7	140371,70
Julio	18,7	141621,66
Agosto	19,7	138192,57
Septiembre	18,7	137053,22
Octubre	16,7	148479,86
Noviembre	13,7	153645,62
Diciembre	11,7	165625,34
Promedio	15,2	148667,90

4. DIMENSIONADO BÁSICO

En el dimensionado básico de la instalación se calcula la superficie de captación necesaria, el volumen de acumulación y la agrupación de los captadores solares para que la contribución solar de la instalación cumpla con la contribución solar mínima exigida en el Código Técnico de la Edificación. Para ello se han realizado un conjunto de simulaciones utilizando el programa informático CHEQ4 descrito en la Memoria Descriptiva.

Posteriormente, con una serie de simulaciones se calcula primero el número de captadores (N_c) más adecuado para la instalación fijando la relación Vol/Área en 75 l/m² y el número de captadores en serie (N_s) en 1, después se determina el volumen de acumulación necesario, para lo cual se ha mantenido el valor de N_s=1 y para número de captadores se fija el seleccionado en las simulaciones anteriores, y, por último, se establece la agrupación de dichos captadores, es decir, el número de captadores que se pondrán en serie. Todo esto se realiza con el fin de alcanzar un primer dimensionado de la instalación.

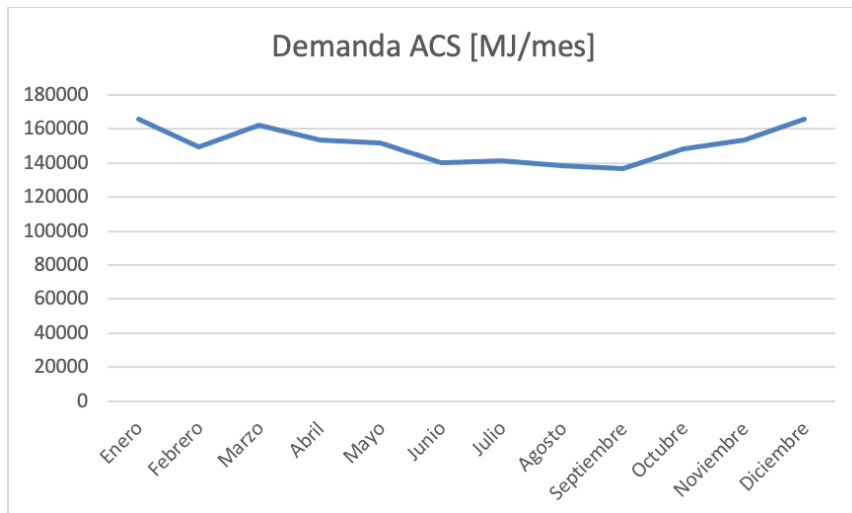


Figura 35. Demanda de ACS cada mes.

4.1. SISTEMA DE CAPTACIÓN

Se comienza realizando una serie de estimaciones iniciales con la ayuda del programa CHEQ4 en el cual se fija el número de captadores a 100 para así poder obtener valores adecuados para la longitud de los circuitos y espesores de aislamientos. Tras la primera pasada por el programa se determina que las pérdidas por sombra se estimarán en un 3% ya que se asume que los edificios colindantes con el hospital no producirán sombra sobre el mismo y teniendo en cuenta que el máximo porcentaje de pérdidas por sombras totales (edificios e hileras de captadores) permitido por el CTE es del 10%. Para la longitud del circuito primario y secundario se selecciona una longitud de 100 metros con tuberías que cuentan con 40 mm de espesor de aislamiento, ya que es lo que marca el RITE para tuberías que circulan por el exterior. En cuanto al sistema de apoyo se instala una caldera convencional con gas natural como combustible. Para el circuito de distribución se toma una longitud de 300 metros con tuberías de 60 mm de diámetro que es un valor razonable considerando el número de puntos de consumo existentes en la instalación, mientras que el espesor del aislante en este caso se fija en 30 mm. La temperatura de impulsión de agua caliente es de 55 °C y para todos los casos se utiliza un aislante genérico.

Según el CTE la contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables deberá cubrir al menos el 70% de la demanda anual de ACS, calculada con datos mensuales, e incluyendo las pérdidas térmicas por distribución, acumulación y recirculación.

Para las simulaciones se ha escogido la configuración de instalación con intercambiador independiente, es decir, sistema solar térmico para producción de ACS en instalaciones de consumo único con acumulador solar, intercambiador externo y válvula termostática.

Se inicia por tanto la simulación para seleccionar el número de captadores más apropiado para la instalación a diseñar. Se comienza realizando cinco pasadas por el programa informático CHEQ4 en las cuales se dejan fijos todos los parámetros a excepción del número de captadores (N_c) que se variará entre 100 y 300 incrementando de 50 en 50 en cada pasada. Como se ha explicado antes, para estas simulaciones se toma un valor de la relación volumen-área de $\text{Vol}/\text{Área}=75 \text{ l/m}^2$ y se fija en 1 el número de captadores en serie. A partir de estos datos, se obtienen los siguientes resultados mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados simulaciones variando número de captadores Nc.

Número captadores (Nc)	Superficie captación (A [m²])	Volumen total (V [L])	Contribución solar (f [%])
100	190	14250	39
150	285	21375	56
200	380	28500	70
250	475	35625	80
300	570	42750	86

Como se puede observar en la Tabla 8, hasta que no se alcanzan los 200 captadores no se cumple la contribución solar mínima exigida. Por este motivo se decide realizar un segundo análisis entre 200 y 300 captadores incrementando de 20 en 20 en cada pasada. Es necesario comentar que para 300 captadores el programa salta con un mensaje de advertencia ya que la fracción solar supera como mínimo durante tres meses seguidos el 100%, se trata simplemente de una llamada de atención por parte del programa para indicar que hay que tomar medidas de protección contra sobrecalentamientos, tal y como se indica en el HE4 del CTE.

Se elabora a continuación la Tabla 9 usando un rango de número de captadores menor, de 200 a 300, se siguen manteniendo el resto de los parámetros fijos.

Tabla 9. Resultados segundas simulaciones variando número de captadores Nc.

Número captadores (Nc)	Superficie captación (A [m²])	Volumen total (V [L])	Contribución solar (f [%])
200	380	28500	70
220	418	31350	75
240	456	34200	79
260	494	37050	81
280	532	39900	84
300	570	42750	86

A continuación, se analizan los resultados obtenidos para ver cual es el número de captadores más apropiado para evitar grandes pérdidas de carga y desequilibrios en el circuito en la

instalación en diseño. Con $N_c=200$ se cumple la contribución solar mínima exigida, pero se observa que para dicho número de captadores $f=70\%$ esto supondría quedarse justo al límite de lo exigido, lo cual no es conveniente por si hay algún factor que altere el funcionamiento de la instalación, como por ejemplo un cambio en la agrupación de captadores. Por otro lado, para $N_c=280$ y $N_c=300$ se cumple de sobra la contribución solar mínima exigida, pero al igual que se ha comentado antes CHEQ4 salta con un aviso para dichos valores en el que advierte que la fracción solar supera como mínimo tres meses seguidos el 100%, lo cual no es un problema, pero sí implicaría tomar medidas de protección contra sobrecalentamientos. Para que no sea necesario tener que implementar esas medidas se descartan estas dos opciones.

Se contemplan entonces las últimas tres opciones disponibles, $N_c=220$, $N_c=240$ y $N_c=260$, las tres cumplen la CS mínima dejando un margen para posibles alteraciones de la instalación luego son igual de válidas, lo que varía entre una y otra sería el precio final de la instalación ya que cuantos más captadores se instalen, más cara será esta.

En conclusión, se opta por seleccionar la instalación de 240 captadores solares ya que $f=79\%$ con lo cual se cuenta con un gran margen frente a la CS mínima exigida y el coste final es menor que si se instalasen 260 captadores, siendo el área de la superficie de captación igual a 456 m^2 .

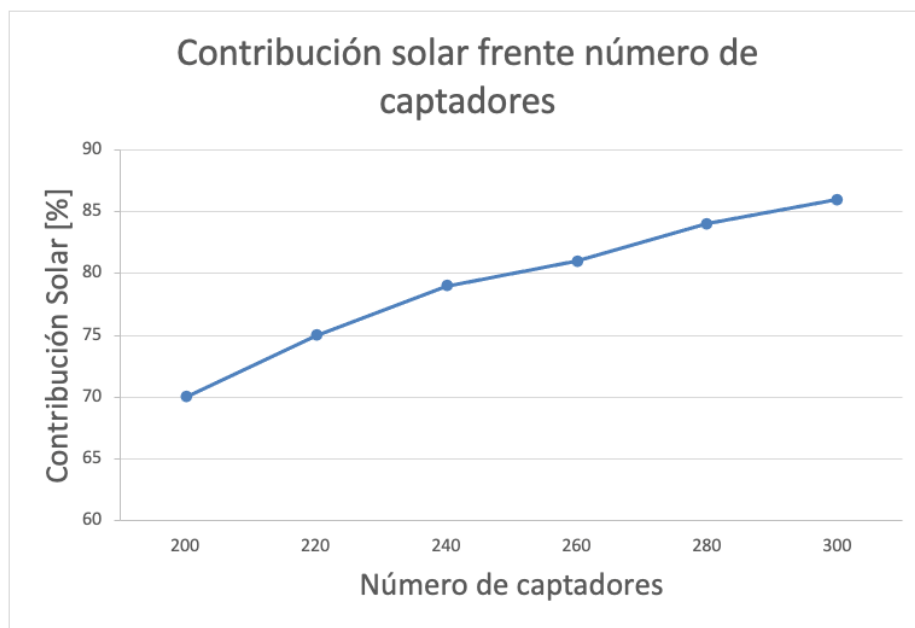


Figura 36. Contribución solar frente número de captadores.

En la Figura 36 se puede distinguir la tendencia ascendente de la contribución solar conforme aumenta el número de captadores, pero también es necesario tener en cuenta que a medida que aumenta el número también lo hace el presupuesto del proyecto.

4.2. VOLUMEN DE ACUMULACIÓN

Una vez fijado el número de captadores, se realiza otra tanda de simulaciones para dicho número de captadores, manteniendo la agrupación en $N_s=1$ y variando los diferentes valores de la relación volumen-área (Vol/Área) con el fin de seleccionar el volumen de acumulación más adecuado. Se elabora la Tabla 10 donde se muestran los resultados.

Tabla 10. Resultado simulaciones variando relación Volumen-Área.

Volumen-Área (V/A [l/m ²])	Volumen total (V [L])	Contribución solar (f [%])
50	22800	No cumple condición 50<V/A<180
51	23256	77
60	27360	78
70	31920	78
80	36480	79
90	41040	79
100	45600	80

En la Figura 37 se puede observar como a medida que aumenta el volumen de acumulación, aumenta también la contribución solar, es decir, el gráfico sigue una tendencia ascendente.

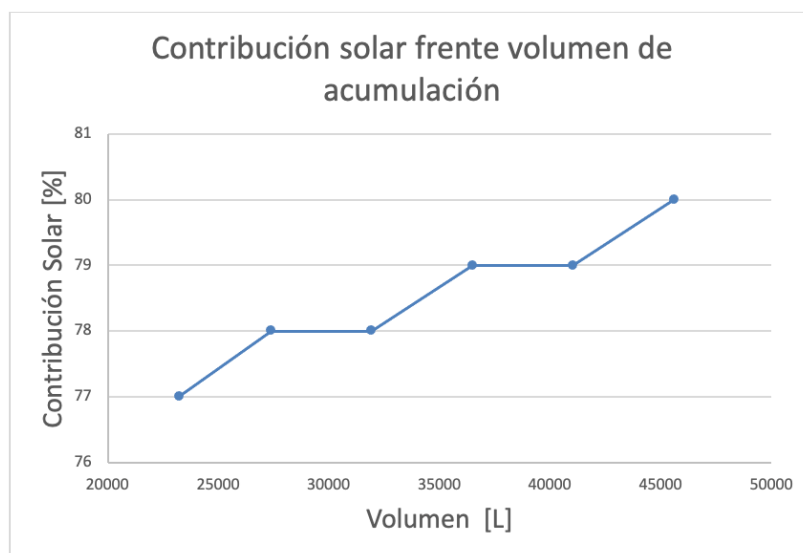


Figura 37. Contribución solar frente volumen de acumulación.

Analizando la Tabla 10, se descarta directamente $V/A=50 \text{ l/m}^2$ ya que como bien advierte el programa, no cumple la condición de $50 < V/A < 180$. Para probar con un valor parecido a este, pero que cumpla la condición, se introduce en la secuencia de simulaciones $V/A=51 \text{ l/m}^2$, la contribución solar no va a cambiar con respecto al de 50, pero con este nuevo valor introducido

sí se entra en el rango de V/A impuesto por HE4: Apartado 2.2.5.2 del CTE. Se observan que la CS depende débilmente de la variación de la relación volumen-área.

Se concluye con la elección de un volumen de acumulación de 27360 L el cual, con un área de captación de 456 m², se corresponde a un valor de $V/A=60$ l/m² corroborando que se cumple la restricción de la norma $50 < V/A < 180$ y la CS mínima exigida. Finalmente, se decide establecer un volumen de 30 000 L ya que es un valor similar al anterior y más comercial que este, asegurando así su existencia en el mercado. Cabe mencionar que es equivalente a tres acumuladores de 10 000 L por si se diese la situación de tener un problema de alturas en la sala de máquinas.

4.3. NÚMERO DE CAPTADORES EN SERIE

Por último, queda realizar la simulación de nuevo, pero ahora variando la agrupación de captadores, es decir, cambiando el número de captadores en serie y manteniendo fijos los parámetros que ya han sido seleccionados, $N_c=240$ y $Vol_{Acu}=30\ 000$ L (Tabla 11 y Figura 38).

Tabla 11. Resultados simulaciones variando número captadores en serie.

Número captadores en serie (Ns)	Contribución solar (f [%])
1	78
2	70
3	60
4	55

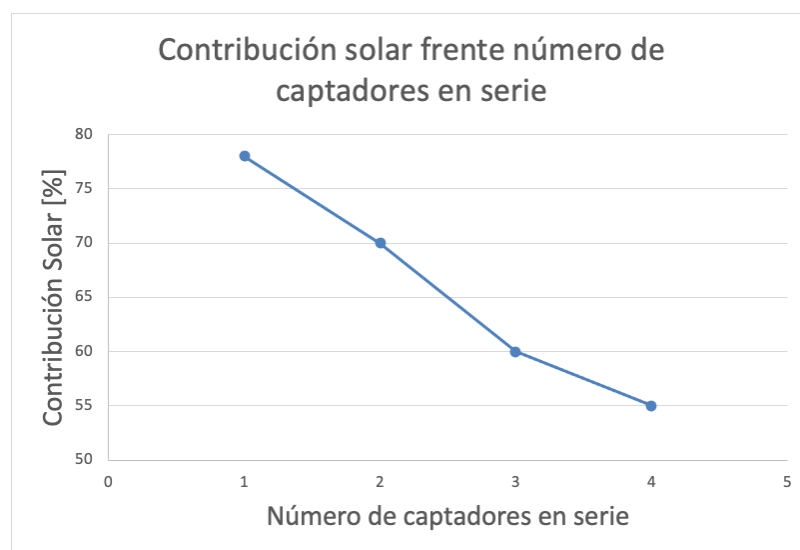


Figura 38. Contribución solar frente número de captadores en serie.

Estudiando la viabilidad de los resultados con respecto a la CS mínima requerida se aprecia que solo para agrupaciones en paralelo ($N_s=1$) o para dos captadores en serie se cumple el mínimo exigido ($CS>70\%$). De las dos opciones se selecciona $N_s=1$ ya que permite conseguir una $f=78\%$ que cumple suficientemente la contribución mínima, mientras que con $N_s=2$ solo se alcanza una $f=70\%$ quedando justo en el límite de lo permitido, lo cual no es recomendable por si se realizase alguna alteración en la instalación. Con todo esto, se decide agrupar todos los captadores en paralelo para cumplir con la exigencia impuesta.

El resumen del dimensionado básico del sistema de captación se muestra en la Tabla 12 y se resume a continuación:

Número de captadores: 240

Agrupación de captadores: agrupación en paralelo.

Marca y modelo del captador solar: marca Termicol, modelo T20US.

Parámetros curva de rendimiento:

- Factor óptico: 0,801
- $F_R U_L = 3,93 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $F_R(\tau\alpha) = 0,026 \text{ W/m}^2\text{K}^2$

K50: 0,81.

Caudal de ensayo: 72 L/h m²

Contenido en agua: 1.02 L (capacidad).

Peso: 37 kg (en vacío).

Volumen de acumulación: 30 000 L.

Contribución solar: 78%.

Este dimensionado final cumple con la exigencia del Código Técnico de la Edificación y es el que se adoptará en el proyecto.

Tabla 12. Dimensionado básico de la instalación.

Número captadores (N_c)	Superficie captación (A [m ²])	Volumen total (V [L])	Número captadores en serie (N_s)	Contribución solar (f [%])
240	456	30 000	1	78

5. DISPOSICIÓN DE CAPTADORES

Los captadores se disponen en filas de 5 captadores conectadas en paralelo, distribuidos en dos cubiertas. En la cubierta de la sala de máquinas se instalan 30 filas y en la cubierta del almacén anexo 18 filas. Los captadores están orientados 40° al oeste debido la orientación principal de las cubiertas y tienen una inclinación de 40°.

La separación entre filas de captadores se calcula de manera que se minimice las pérdidas por sombra debido a la sombra arrojada por una hilera sobre la siguiente distribución de los captadores en la cubierta se hará con el fin de minimizar pérdidas por sombras, orientación e inclinación para así optimizar el rendimiento y el espacio disponible.

La distancia de separación entre filas d_1 depende de la altura de la fila de captadores y de la posición solar, que a su vez depende de la localidad, día y hora del instante considerado. En la

Figura 39 se representa la geometría del problema. La separación entre filas para que una hilera no arroje sombra sobre la siguiente se calcula mediante la ecuación

$$d_1 = \frac{h}{\tan \alpha} = \frac{h}{\tan(90 - \theta_z)}$$

siendo h la altura de la fila de captadores, α la altura solar y θ_z el ángulo azimutal del sol.

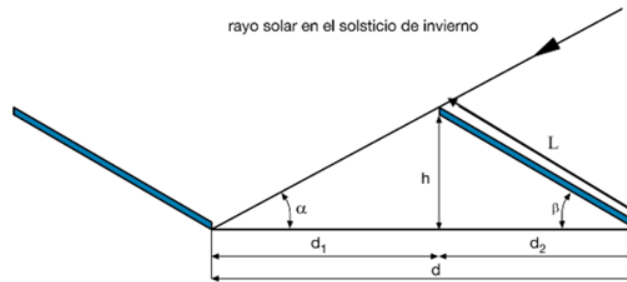


Figura 39. Separación entre filas de captadores solares

La altura h se calcula en función de la longitud del captador solar L y de su inclinación β

$$h = L \cdot \text{sen} \beta$$

La longitud ocupada por una fila de captadores d_2 , se calcula igualmente en función de la longitud del captador y de su inclinación,

$$d_2 = L \cdot \text{cos} \beta$$

La separación entre filas de captadores y la longitud ocupada por una fila se han calculado a las 12:00 hora solar, en el solsticio de verano e invierno y para el equinoccio de primavera y de otoño (Tabla 13). Las pérdidas por sombras son mínimas en el solsticio de invierno, aunque la separación entre filas es mayor. Se establece como separación entre filas 2,10 m que corresponde a las 12:00 h del solsticio de invierno, que es compatible con el espacio disponible en las cubiertas de las naves utilizadas para instalar las filas de captadores. La longitud ocupada por una fila de captadores a las 12:00 h del solsticio de invierno es de 1,63 m.

Tabla 13. Distancia entre filas de captadores.

Dia	n	Declinac δ		Ang horario ω		Ang cenital		Alt solar		d1 (m)
		°	radianes	°	radianes	Coseno	radianes	°	°	
Equin primav	79	-0,807	-0,014	0	0,00	0,796	0,650	37,22	52,78	1,04
Soltic verano	172	23,450	0,409	0	0,00	0,975	0,226	12,96	77,04	0,32
Equin otoño	266	-1,009	-0,018	0	0,00	0,794	0,653	37,42	52,58	1,05
Soltic invierno	325	-20,442	-0,357	0	0,00	0,547	0,992	56,85	33,15	2,10

La separación de la primera fila de captadores del pretil de la cubierta (Figura 40), se calcularía con el mismo procedimiento, utilizando en este caso la altura del pretil en lugar de la altura de

la fila de captadores. Como la longitud de las cubiertas es suficiente, el campo de captadores se instala centrado en cada cubierta, resultando una separación al pretil superior al calculado.

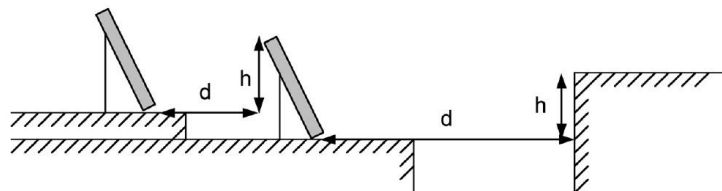


Figura 40. Separación entre fila de captadores y pretil de la cubierta

6. DIMENSIONADO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

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

$$Q_{\text{intercambiador}} \text{ (W)} \geq 500 \text{ (W/m}^2\text{)} A \text{ (m}^2\text{)}$$

Como el área de captación es 456 m², el calor transfereido en el intercambiador es ≥ 228.000 W.

El salto térmico del fluido caliente (circuito primario) y del fluido frío (circuito secundario) se calcula mediante un balance de energía en cada circuito.

$$Q_{\text{intercambiador}} = M C_p \Delta T$$

Siendo M el caudal másico del fluido (kg/s), C_p el calor específico del fluido (J/kg K) y ΔT el salto de temperatura del fluido en el intercambiador.

El caudal que circula por el circuito primario se calcula a partir del caudal específico en captadores, el número de captadores y su agrupación,

$$M_B = \frac{G \cdot A_{\text{total}}}{N_s} = \frac{G \cdot A_{\text{capt}} \cdot N_{\text{capt}}}{N_s}$$

$$G = Q_{\text{ens}} \cdot \rho_{\text{agua}}$$

Donde:

- M_B : caudal del circuito primario de captación [kg/h]
- G : caudal másico específico en el captador solar [kg/m²·h]
- Q_{ens} : caudal volumétrico específico del ensayo [l/m²·h]
- ρ_{agua} : densidad del agua [kg/m³]
- A_{total} : área total de captación [m²]
- A_{capt} : área de un captador [m²]
- N_s : número de captadores en serie
- N_{capt} : número de captadores en total

El caudal volumétrico específico de ensayo es $72 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2$, el área de un captador es $1,9 \text{ m}^2$, el número de captadores en serie es 1 y el número total de captadores es 240, obteniéndose para el caudal de la bomba del circuito primario

$$G = Q_{ens} \cdot \rho_{agua} = 72 \frac{\text{l}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \cdot \frac{1 \text{m}^3}{1000 \text{l}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 72 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} = 0,02 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right]$$

$$M_B = \frac{72 \cdot 1,9 \cdot 240}{1} = 32832 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] = 9,12 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Para el circuito secundario, se considera un caudal igual al caudal del circuito primario,

$$M_{secundario} = M_B = 32832 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] = 9,12 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Con un caudal de $9,12 \text{ kg/s}$ el salto de temperatura de los fluidos es de $5,98 \text{ C}$.

El intercambiador seleccionado para la instalación es el modelo CB110-38M del fabricante ALFA LAVAL, el cual es capaz de transferir hasta 230 kW para saltos térmicos máximos de 15 °C en el circuito primario y secundario. Para un calor transferido de 228 kW , las condiciones de operación del sintercambiador son:

Calor transferido: 228 kW

Caudal circuito primario: $9,12 \text{ kg/s}$

Caudal circuito secundario: $9,12 \text{ kg/s}$

Salto temperatura fluido circuito primario: 6 C

Salto temperatura fluido circuito secundario: 6 C

Pérdida de carga en el circuito primario: $34,3 \text{ kPa}$

Pérdida de carga en el circuito secundario: $34,3 \text{ kPa}$

7. DIMENSIONADO RED DE TUBERÍAS

En este apartado se calcula el diámetro y la pérdida de carga de los diferentes tramos de la red de tubería en el circuito primario y secundario. A partir de la pérdida de carga se comprueba el posible desequilibrio en cada circuito en paralelo y la pérdida de carga más desfavorable. Los captadores solares se han agrupado en un conjunto de 5 captadores en cada fila.

Como fluido de trabajo es siempre agua. Aunque la temperatura mínima histórica en la localidad es $-5,4 \text{ °C}$, el número de horas anuales en que tiene lugar no justifica la necesidad de utilizar una mezcla con anticongelante en el circuito primario. La protección contra la posible congelación en captadores se establece a través del sistema de control que acciona las bombas del primario y secundario cuando la temperatura en captadores es inferior a 5 °C .

a) Caudal del circuito primario y secundario

El caudal de la bomba del circuito primario es 32.832 kg/h ($9,12 \text{ kg/s}$) y el caudal de la bomba del circuito secundario se ha tomado igual al caudal de la bomba del primario. Estos caudales se dividen en cada cubierta en función del número de captadores de la cubierta y dentro de la cubierta en función del número de captadores en cada fila.

b) Pérdida de carga en los captadores

La pérdida de carga en los captadores se calcula a partir de la información facilitada por el fabricante. En el manual técnico deñ captador se incluye una gráfica (Figura 41) que permite calcular la pérdida de carga en función del caudal por el captador solar.

A partir del caudal específico de la instalación y del área de un captador se obtiene el caudal que pasa por cada captador:

$$M_{capt} = G \cdot A_{capt} = 72 \frac{kg}{h \cdot m^2} \cdot \frac{1h}{60min} \cdot 1,9m^2 = 2,28 \frac{kg}{min}$$

Observando la gráfica se obtiene un valor para la pérdida de carga en el captador solar de:

$$\Delta P_{captador} = 2,6 \text{ mbar} = 0,26kPa$$

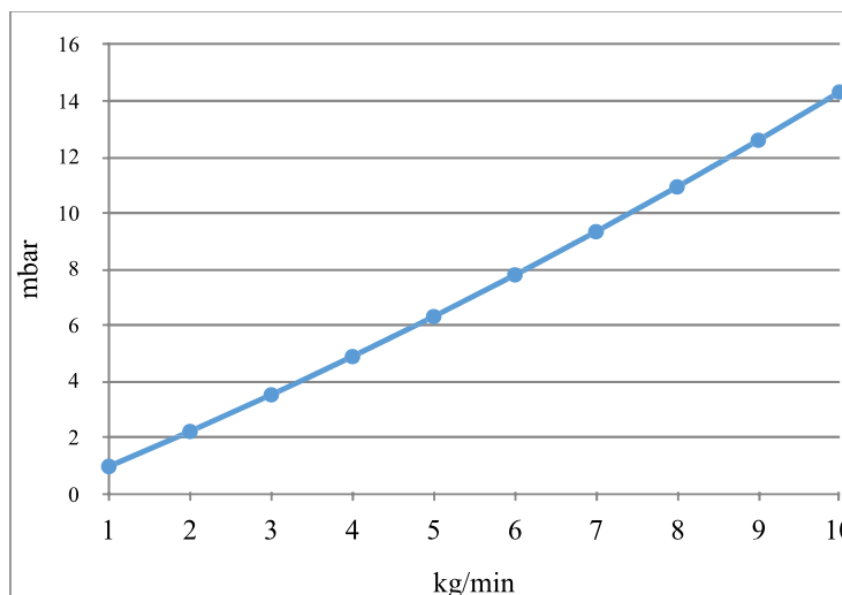


Figura 41. Pérdida carga captador en función caudal.

c) Cálculo de la red de tuberías

Para el dimensionado de la red de tuberías, el diámetro de la tubería se determina en función de la velocidad de circulación del fluido y de la pérdida de carga correspondiente. Para el dimensionado de la red de tubería, se han tenido en cuenta los siguientes criterios básicos establecidos por el IDAE en el pliego de condiciones técnicas:

- La velocidad de circulación del fluido debe ser inferior a 2 m/s cuando las tuberías están situadas en locales habitados e inferior a 3 m/s cuando se localicen en zonas exteriores. La instalación en diseño está situada en la cubierta del edificio por tanto la velocidad del fluido deberá alcanzar un valor máximo de 3 m/s.
- El dimensionado de tuberías deberá realizarse de manera que las pérdidas de carga por metro lineal no superen los 40 mm.c.a/m cuando se trate de agua, que es el caso de este proyecto.

Cabe mencionar que si el fluido de trabajo fuese una mezcla de agua y anticongelante sería necesario utilizar un factor corrector de 1,3.

- El diámetro de las tuberías debe ser normalizado (DN)

Para el dimensionado de la red de tuberías se ha dividido el circuito primario en tres partes; la cubierta de la sala de máquinas, la cubierta de la nave anexa y el tramo comprendido desde la sala de máquinas hasta el punto de separación de la red de tuberías a las dos cubiertas. El circuito primario se encuentra completamente en la sala de máquinas.

En cada circuito se identifican los diferentes tramos en función del caudal que circula por el tramo y el sentido de circulación del fluido. El caudal que pasa por cada tramo se calcula a partir del caudal que circula en un captador y de la propia configuración de la red de tuberías.

El diámetro de cada tramo se calcula en función del caudal del tramo y de las restricciones técnicas de velocidad y pérdida de carga recomendadas. En la Tabla 14 se indica para cada diámetro el caudal que cumple simultáneamente las restricciones de velocidad y pérdida de carga. El caudal de diseño para cada diámetro es el caudal mínimo de las dos opciones posibles. Para el dimensionado de la red de tuberías, el dato de partida es el caudal del fluido en el tramo y a partir de este valor se determinan el diámetro de la tubería con la Tabla 14.

Tabla 14. Diámetros normalizados en función del caudal circulante.

D (")	D(mm)	V_400Pa (l/h)	V_1.2m/s (l/h)	Caudal Lim
1/4	6,35	40	137	40
3/8	9,53	110	308	110
1/2	12,70	231	547	231
3/4	19,05	708	1231	708
1	25,40	1554	2189	1554
1-1/4	31,75	2851	3420	2851
1-1/2	38,10	4670	4925	4670
2	50,80	10144	8756	8756
2-1/2	63,50	18471	13681	13681
3	76,20	30097	19701	19701
3-1/2	88,90	45437	26815	26815
4	101,60	64877	35024	35024
5	127,00	117503	54724	54724

Una vez conocido el caudal y el diámetro de cada tramo, la velocidad es fácilmente calculable a partir de la siguiente ecuación:

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

Siendo:

- v : velocidad de circulación del fluido [m/s]
- Q : caudal de circulación de la tubería [m³/s]
- A : área transversal de la tubería [m²]
- D : diámetro de la tubería [m]

La pérdida de carga por metro lineal (mmca/m) en cada tramo de tubería se calcula mediante la ecuación de *Flamant* aplicada a agua circulando por tuberías de cobre.

$$\Delta P_{lineal} = 378 \cdot \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}}$$

En las Figuras 42 a 44 se representan los tramos numerados en cada una de las dos cubiertas y en el interior de la sala de máquinas.

En las Tablas 15 a 18 se resumen los cálculos en cada uno de los circuitos y zonas consideradas. Para cada tramo se indica su longitud, caudal, diámetro, velocidad y pérdida de carga. La pérdida de carga lineal por metro de tubería se ha obtenido en función del material de la tubería, la temperatura del fluido, el diámetro de la tubería y el caudal que pasa por la misma. Aunque muchos tramos tienen el mismo caudal, se han incluido en las Tablas de forma independiente con objeto de facilitar el cálculo posterior de la pérdida de carga máxima en el circuito.

Se observa que todos los tramos cumplen las recomendaciones impuestas por el CTE ya que tanto la velocidad como las pérdidas de carga lineales por metro de tubería no superan en ningún momento los valores recomendados.

Con los valores obtenidos para cada tramo de diámetro, longitud y pérdida de carga lineal se puede calcular la pérdida de carga en cada circuito añadiendo en cada tramo la pérdida de carga de los diferentes accesorios y equipos existentes.

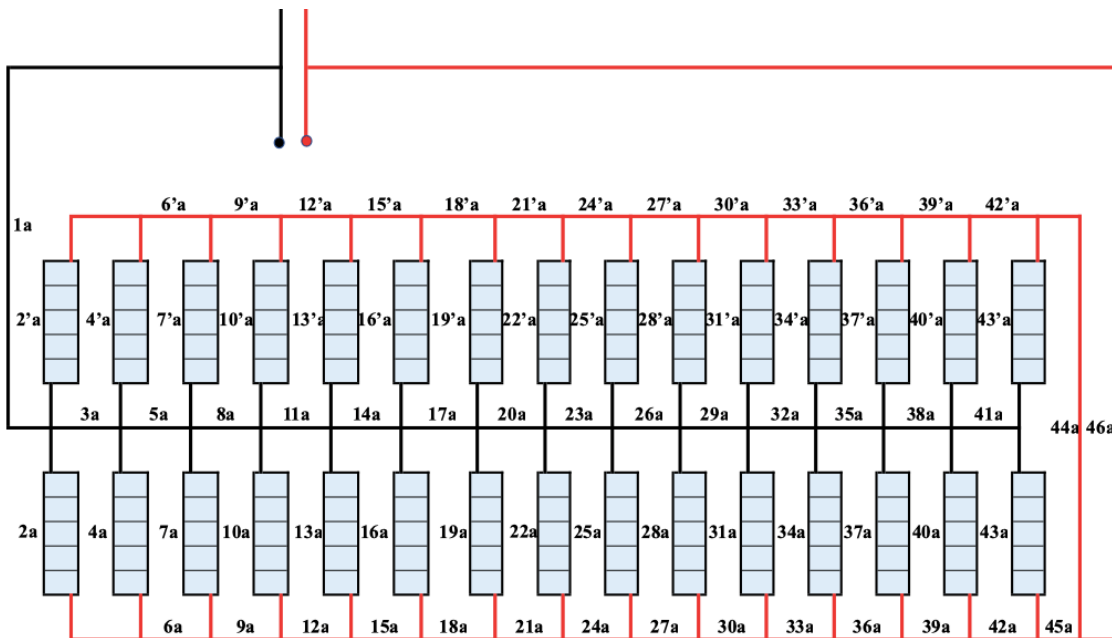


Figura 42. Tramos de tuberías en la cubierta de sala de máquinas

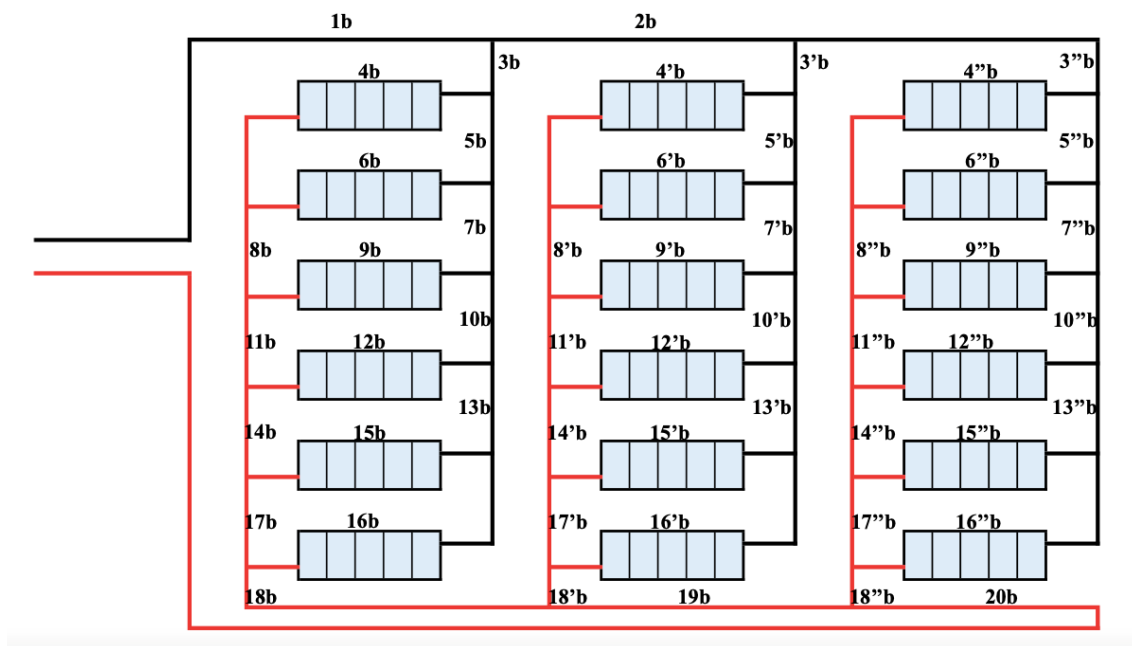


Figura 43. Tramos de tuberías en la cubierta de la nave almacén

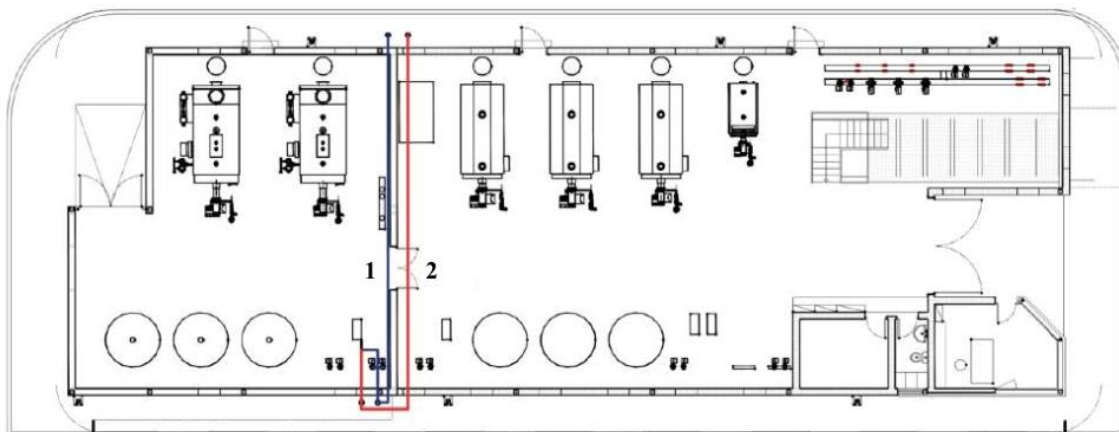


Figura 44. Tramos de tuberías en sala de máquinas

d) Pérdida de carga en la red de tuberías

Con los diámetros de las tuberías, velocidades y pérdida de carga lineal por metro de tubería de cada tramo se puede calcular la pérdida de carga total más desfavorable de la instalación para posteriormente seleccionar la bomba del circuito primario y secundario.

Se comienza calculando la pérdida de carga en cada tramo, contabilizando las correspondientes a tuberías, accesorios y equipos que pueda haber en el tramo. Con esta información se calcula la pérdida de carga total en cada tramo y a partir de estos valores, la pérdida de carga en cada circuito en paralelo con objeto de calcular desequilibrios y la pérdida de carga más desfavorable.

Tabla 15. Dimensionado tuberías cubierta sala de máquinas

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	v (m/s)	ΔP (Pa/m)
1a	29,50	20520	88,9	0,92	96,3
2a	11,60	684	19,05	0,67	376,8
2'a	11,60	684	19,05	0,67	376,8
3a	3,73	19152	76,2	1,17	178,2
4a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
4'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
5a	3,73	17784	76,2	1,08	156,1
6a	3,73	1368	25,4	0,75	320,3
6'a	3,73	1368	25,4	0,75	320,3
7a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
7'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
8a	3,73	16416	76,2	1,00	135,4
9a	3,73	2052	31,75	0,72	225,0
9'a	3,73	2052	31,75	0,72	225,0
10a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
10'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
11a	3,73	15048	76,2	0,92	116,0
12a	3,73	2736	31,75	0,96	372,2
12'a	3,73	2736	31,75	0,96	372,2
13a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
13'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
14a	3,73	13680	63,5	1,20	234,1
15a	3,73	3420	38,1	0,83	231,2
15'a	3,73	3420	38,1	0,83	231,2
16a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
16'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
17a	3,73	12312	63,5	1,08	194,1
18a	3,73	4104	38,1	1,00	318,5
18'a	3,73	4104	38,1	1,00	318,5
19a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
19'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
20a	3,73	10944	63,5	0,96	157,5
21a	3,73	4788	50,8	0,66	106,1
21'a	3,73	4788	50,8	0,66	106,1
22a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
22'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
23a	3,73	9576	63,5	0,84	124,3

Tabla 15. Dimensionado tuberías cubierta sala de máquinas (Continuación)

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	v (m/s)	ΔP (Pa/m)
24a	3,73	5472	50,8	0,75	134,2
24'a	3,73	5472	50,8	0,75	134,2
25a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
25'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
26a	3,73	8208	50,8	1,12	274,6
27a	3,73	6156	50,8	0,84	165,2
27'a	3,73	6156	50,8	0,84	165,2
28a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
28'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
29a	3,73	6840	50,8	0,94	198,9
30a	3,73	6840	50,8	0,94	198,9
30'a	3,73	6840	50,8	0,94	198,9
31a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
31'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
32a	3,73	5472	50,8	0,75	134,2
33a	3,73	7524	50,8	1,03	235,4
33'a	3,73	7524	50,8	1,03	235,4
34a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
34'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
35a	3,73	4104	38,1	1,00	318,5
36a	3,73	8208	50,8	1,12	274,6
36'a	3,73	8208	50,8	1,12	274,6
37a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
37'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
38a	3,73	2736	31,75	0,96	372,2
39a	3,73	8892	63,5	0,78	109,1
39'a	3,73	8892	63,5	0,78	109,1
40a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
40'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
41a	3,73	1368	25,4	0,75	320,3
42a	3,73	9576	63,5	0,84	124,3
42'a	3,73	9576	63,5	0,84	124,3
43a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
43'a	7,87	684	19,05	0,67	376,8
44a	15,50	10260	63,5	0,90	140,5
45a	2,50	10260	63,5	0,90	140,5
46a	62,50	20520	88,9	0,92	96,3

Tabla 16. Dimensionado tuberías cubierta nave almacén

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	v (m/s)	ΔP (Pa/m)
1b	32,25	12312	63,5	1,08	194,1
2b	6,85	8208	50,8	1,12	274,6
3b	3,00	4104	38,1	1,00	318,5
3'b	3,00	4104	38,1	1,00	318,5
3''b	9,85	4104	38,1	1,00	318,5
4b	10,95	684	19,05	0,67	376,8
4'b	10,95	684	19,05	0,67	376,8
4''b	10,95	684	19,05	0,67	376,8
5b	3,73	3420	38,1	0,83	231,2
5'b	3,73	3420	38,1	0,83	231,2
5''b	3,73	3420	38,1	0,83	231,2
6b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
6'b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
6''b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
7b	3,73	2736	31,75	0,96	372,2
7'b	3,73	2736	31,75	0,96	372,2
7''b	3,73	2736	31,75	0,96	372,2
8b	3,73	1368	25,4	0,75	320,3
8'b	3,73	1368	25,4	0,75	320,3
8''b	3,73	1368	25,4	0,75	320,3
9b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
9'b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
9''b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
10b	3,73	2052	31,75	0,72	225,0
10'b	3,73	2052	31,75	0,72	225,0
10''b	3,73	2052	31,75	0,72	225,0
11b	3,73	2052	31,75	0,72	225,0
11'b	3,73	2052	31,75	0,72	225,0
11''b	3,73	2052	31,75	0,72	225,0
12b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
12'b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
12''b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
13b	3,73	1368	25,4	0,75	320,3
13'b	3,73	1368	25,4	0,75	320,3
13''b	3,73	1368	25,4	0,75	320,3
14b	3,73	2736	31,75	0,96	372,2
14'b	3,73	2736	31,75	0,96	372,2

Tabla 16. Dimensionado tuberías cubierta nave almacén (Continuación)

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	v (m/s)	ΔP (Pa/m)
14''b	3,73	2736	31,75	0,96	372,2
15b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
15'b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
15''b	7,22	684	19,05	0,67	376,8
16b	10,95	684	19,05	0,67	376,8
16'b	10,95	684	19,05	0,67	376,8
16''b	10,95	684	19,05	0,67	376,8
17b	3,73	3420	38,1	0,83	231,2
17'b	3,73	3420	38,1	0,83	231,2
17''b	3,73	3420	38,1	0,83	231,2
18b	8,85	4104	25,4	2,25	2207,7
18'b	2,00	4104	25,4	2,25	2207,7
18''b	2,00	4104	25,4	2,25	2207,7
19b	6,85	8208	50,8	1,12	274,6
20b	54,85	12312	63,5	1,08	194,1

Tabla 17. Dimensionado tuberías en sala de máquinas. Circuito primario

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	v (m/s)	ΔP (Pa/m)
1	47,02	32832	101,6	1,12	117,6
2	47,02	32832	101,6	1,12	117,6

Tabla 18. Dimensionado tuberías en sala de máquinas. Circuito secundario

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dinterior (mm)	v (m/s)	ΔP (Pa/m)
Secundario	30,00	32832	101,6	1,12	117,6

La pérdida de carga introducida por los accesorios de las tuberías, se calcula determinando la longitud equivalente que le corresponde (Tabla 19) en función del diámetro de tubería y del tipo de accesorio. Sumando en cada tramo la longitud de la tubería y la longitud equivalente total de los accesorios que existen en el tramo se obtiene la longitud total del tramo, que al multiplicarla por la pérdida de carga lineal ya calculado, permite obtener la pérdida de carga del tramo. Queda solo añadir la pérdida de carga de los equipos (captadores solares e intercambiador de calor) que puedan existir en el tramo.

Tabla 19. Longitudes equivalentes de accesorios de tuberías de cobre.

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

En las Tablas 20 a 23 se muestran los resultados obtenidos para cada tramo de ambas cubiertas y circuitos primario y secundario en sala de máquinas. En cada tabla se incluye la longitud del tramo en metros, los accesorios, la pérdida de carga de tubería y accesorios, la pérdida de carga de los equipos instalados y pérdida de carga total de cada tramo que es suma de las anteriores.

A partir de las pérdidas de carga totales en cada tramo, se calcula pérdida de carga en cada uno de los circuitos en paralelo tanto en el circuito primario como en el circuito secundario.

El circuito primario se compone de 48 circuitos en paralelo, 30 circuitos en la cubierta de la sala de máquinas y 18 circuitos en paralelo en la cubierta de la nave almacén. En cada cubierta se ha diseñado un sistema de retorno invertido por lo que los circuitos están equilibrados y solo es necesario calcular la pérdida de carga en uno de ellos. Lo mismo ocurre en los circuitos de la nave almacén. En cada caso hay que contabilizar la pérdida de carga en los tramos de las cubiertas y la pérdida de carga en los tramos que van desde el intercambiador de calor en sala de máquinas hasta la separación de la red de tuberías a las dos cubiertas más el retorno hasta el intercambiador de calor en sala de máquinas.

En la Tabla 24 se resume la pérdida de carga máxima en el circuito correspondiente a cada cubierta. Se observa que la pérdida de carga más desfavorable es de 102,56 kPa y corresponde a la cubierta de la nave almacén. La pérdida de carga en los circuitos de la cubierta de la sala de máquinas es de 78,71 kPa por lo que será necesario instalar dos válvulas de equilibrado al inicio de la red de tuberías de cada cubierta.

El circuito secundario es un circuito único y su pérdida de carga más desfavorable es 42,96 kPa como se puede observar en la Tabla 23.

8. DIMENSIONADO BOMBA DE CIRCULACIÓN

A partir de los caudales máximos de los circuitos primario y secundario se seleccionan las bombas de circulación de ambos circuitos. Para la selección y dimensionado de las bombas de circulación se ha tenido en cuenta la exigencia de versiones anteriores del HE4 del Código Técnico de la Edificación que establecía que en instalaciones con superficies de captación superiores a 50 m² como es el caso, se han de instalar dos bombas idénticas en paralelo, actuando una de ellas como reserva. Este criterio se ha considerado tanto en el circuito primario como en el circuito secundario de la instalación.

Tabla 20. Pérdidas de carga en tramos cubierta de sala de máquinas

Tramo	L (m)	Accesorios	ΔP_{tub} (kPa)	ΔP_{eq} (kPa)	ΔP_{total} (kPa)
1a	29,50	2 codos	2,97		2,97
2a	11,60	2 válvulas corte, 2 codos, 1 T derivada, 1 T alineada	4,82	0,26	5,08
2'a	11,60	2 válvulas corte, 2 codos, 1 T derivada, 1 T alineada	4,82	0,26	5,08
3a	3,73	1 T alineada	0,73		0,73
4a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
4'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
5a	3,73	1 T alineada	0,64		0,64
6a	3,73	1 T alineada	1,25		1,25
6'a	3,73	1 T alineada	1,25		1,25
7a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
7'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
8a	3,73	1 T alineada	0,56		0,56
9a	3,73	1 T alineada	0,88		0,88
9'a	3,73	1 T alineada	0,88		0,88
10a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
10'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
11a	3,73	1 T alineada	0,48		0,48
12a	3,73	1 T alineada	1,45		1,45
12'a	3,73	1 T alineada	1,45		1,45
13a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
13'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
14a	3,73	1 T alineada	0,95		0,95
15a	3,73	1 T alineada	0,90		0,90
15'a	3,73	1 T alineada	0,90		0,90
16a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
16'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
17a	3,73	1 T alineada	0,78		0,78
18a	3,73	1 T alineada	1,26		1,26
18'a	3,73	1 T alineada	1,26		1,26
19a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
19'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
20a	3,73	1 T alineada	0,64		0,64
21a	3,73	1 T alineada	0,42		0,42
21'a	3,73	1 T alineada	0,42		0,42
22a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
22'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
23a	3,73	1 T alineada	0,50		0,50

Tabla 20. Pérdidas de carga en tramos cubierta de sala de máquinas (Continuación)

Tramo	L (m)	Accesorios	ΔP_{tub} (kPa)	ΔP_{eq} (kPa)	ΔP_{total} (kPa)
24a	3,73	1 T alineada	0,53		0,53
24'a	3,73	1 T alineada	0,53		0,53
25a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
25'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
26a	3,73	1 T alineada	1,11		1,11
27a	3,73	1 T alineada	0,66		0,66
27'a	3,73	1 T alineada	0,66		0,66
28a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
28'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
29a	3,73	1 T alineada	0,79		0,79
30a	3,73	1 T alineada	0,79		0,79
30'a	3,73	1 T alineada	0,79		0,79
31a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
31'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
32a	3,73	1 T alineada	0,53		0,53
33a	3,73	1 T alineada	0,93		0,93
33'a	3,73	1 T alineada	0,93		0,93
34a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
34'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
35a	3,73	1 T alineada	1,26		1,26
36a	3,73	1 T alineada	1,11		1,11
36'a	3,73	1 T alineada	1,11		1,11
37a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
37'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
38a	3,73	1 T alineada	1,45		1,45
39a	3,73	1 T alineada	0,44		0,44
39'a	3,73	1 T alineada	0,44		0,44
40a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
40'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
41a	3,73	1 T alineada	1,25		1,25
42a	3,73	1 T alineada	0,50		0,50
42'a	3,73	1 T alineada	0,50		0,50
43a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
43'a	7,87	2 válvulas corte, 1 codo, 2 T derivada	3,46	0,26	3,72
44a	15,50	1 T alineada, 1 codo	2,29		2,29
45a	2,50	1 T derivada	0,52		0,52
46a	62,50	3 codos	6,21		6,21

Tabla 21. Pérdidas de carga en tramos cubierta nave almacén

Tramo	L (m)	Accesorios	ΔP_{tub} (kPa)	ΔP_{eq} (kPa)	ΔP_{total} (kPa)
1b	32,25	2 codos	6,46		6,46
2b	6,85	1 T alineada	1,97		1,97
3b	3,00	1 T derivada	1,25		1,25
3b'	3,00	1 T derivada	1,25		1,25
3b''	9,85	T alineada, 1 codo	3,34		3,34
4b	10,95	1 T derivada, 1 T alineada, 2 válvulas corte, 2 codos	4,57	0,26	4,83
4b'	10,95	1 T derivada, 1 T alineada, 2 válvulas corte, 2 codos	4,57	0,26	4,83
4b''	10,95	1 T derivada, 1 T alineada, 2 válvulas corte, 2 codos	4,57	0,26	4,83
5b	3,73	1 T alineada	0,90		0,90
5b'	3,73	1 T alineada	0,90		0,90
5b''	3,73	1 T alineada	0,90		0,90
6b	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,84	0,26	4,10
6b'	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,84	0,26	4,10
6b''	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,84	0,26	4,10
7b	3,73	1 T alineada	1,45		1,45
7b'	3,73	1 T alineada	1,45		1,45
7b''	3,73	1 T alineada	1,45		1,45
8b	3,73	1 T alineada	1,25		1,25
8b'	3,73	1 T alineada	1,25		1,25
8b''	3,73	1 T alineada	1,25		1,25
9b	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,21	0,26	3,47
9b'	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,21	0,26	3,47
9b''	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,21	0,26	3,47
10b	3,73	1 T alineada	0,88		0,88
10b'	3,73	1 T alineada	0,88		0,88
10b''	3,73	1 T alineada	0,88		0,88
11b	3,73	1 T alineada	0,88		0,88
11b'	3,73	1 T alineada	0,88		0,88
11b''	3,73	1 T alineada	0,88		0,88
12b	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,21	0,26	3,47
12b'	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,21	0,26	3,47

Tabla 21. Pérdidas de carga en tramos cubierta nave almacén (Continuación)

Tramo	L (m)	Accesorios	ΔP_{tub} (kPa)	ΔP_{eq} (kPa)	ΔP_{total} (kPa)
12b''	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,21	0,26	3,47
13b	3,73	1 T alineada	1,25		1,25
13b'	3,73	1 T alineada	1,25		1,25
13b''	3,73	1 T alineada	1,25		1,25
14b	3,73	1 T alineada	1,45		1,45
14b'	3,73	1 T alineada	1,45		1,45
14b''	3,73	1 T alineada	1,45		1,45
15b	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,21	0,26	3,47
15b'	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,21	0,26	3,47
15b''	7,22	2 T derivada, 2 válvulas corte, 1 codo	3,21	0,26	3,47
16b	10,95	1 T alineada, 1 T derivada, 2 válvulas corte, 2 codos	4,57	0,26	4,83
16b'	10,95	1 T alineada, 1 T derivada, 2 válvulas corte, 2 codos	4,57	0,26	4,83
16b''	10,95	1 T alineada, 1 T derivada, 2 válvulas corte, 2 codos	4,57	0,26	4,83
17b	3,73	1 T alineada	0,90		0,90
17b'	3,73	1 T alineada	0,90		0,90
17b''	3,73	1 T alineada	0,90		0,90
18b	8,85	1 T alineada, 1 codo	20,95		20,95
18b'	2,00	1 T alineada, 1 codo	6,45		6,45
18b''	2,00	1 T alineada, 1 codo	6,45		6,45
19b	6,85	1 T alineada	1,97		1,97
20b	54,85	4 codos	11,05		11,05

Tabla 22. Pérdida de carga en tramos sala de máquinas. Circuito primario

Tramo	L (m)	Accesorios	ΔP_{tub} (kPa)	ΔP_{eq} (kPa)	ΔP_{total} (kPa)
1	47,02	2 T derivadas, 14 codos, 4 válvulas corte, 1 válvula retención, 1 filtro	12,26	34,30	46,56
2	47,02	3 codos, 1 válvula corte	6,26	0	6,26

Tabla 23. Pérdida de carga en tramos sala de máquinas. Circuito secundario

Tramo	L (m)	Accesorios	ΔP_{tub} (kPa)	ΔP_{eq} (kPa)	ΔP_{total} (kPa)
Circuito Secundario	30	2 T derivada, 5 codos, 6 válvulas corte, 1 válvula retención, 1 filtro	8,66	34,30	42,96

Tabla 24. Pérdida carga total en circuito primario

Circuito	Tramos del circuito	ΔP (kPa)
a	1, 1a, 2'a, 6'a, 9'a, 12'a, 15'a, 18'a, 21'a, 24'a, 27'a, 30'a, 33'a, 36'a, 39'a, 42'a, 44a, 46a, 2	78,71
b	1, 1b, 4b, 8b, 11b, 14b, 17b, 18b, 19b, 20b,2	102,56

a) Selección de la bomba del circuito primario

La bomba de circulación del primario se selecciona con los siguientes valores;

Caudal igual al caudal del circuito primario, 32.832 l/h, que equivale a 32,83 m³/h.

Pérdida de carga igual a la pérdida de carga del circuito más desfavorable: 102,56 kPa = 10,46 mca, que se aumenta un 5% como margen de seguridad

$$\Delta P_{bomba} = \Delta P_{instalacion} + 5\%_{seguridad} = 10,46 \cdot 1,05 = 10,98 \text{ m. c. a}$$

Se selecciona una bomba de circulación de la marca Wilo, modelo VEROTWIN DPL 32/135-1,5/2, que puede vencer una pérdida de carga máxima de 14 mca con un caudal de 16 m³/h.

b) Selección de la bomba del circuito secundario

La bomba de circulación del secundario se selecciona con los siguientes valores;

Caudal igual al caudal del circuito primario, 32832 l/h, que equivale a 32,83 m³/h.

Pérdida de carga igual a la pérdida de carga del circuito más desfavorable: 45,96 kPa = 4,38 mca, que se aumenta un 5% como margen de seguridad

$$\Delta P_{bomba} = \Delta P_{instalacion} + 5\%_{seguridad} = 4,38 \cdot 1,05 = 4,60 \text{ m. c. a}$$

Se selecciona una bomba de circulación de la marca Wilo, modelo VEROTWIN DPL 32/135-1,5/2, que puede vencer una pérdida de carga máxima de 14 mca con un caudal de 16 m³/h.

9. DIMENSIONADO VASO DE EXPANSIÓN

Para el diseño del vaso de expansión se hace uso de la norma UNE-100155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión”.

Se comienza calculando el volumen total del fluido caloportador en el circuito primario. Este volumen se corresponde con la suma de diferentes volúmenes; el del fluido en el interior de cada captador, el fluido

contenido en las tuberías, el fluido contenido en el primario del intercambiador de calor y un 10% de volumen extra que se añade por razones de seguridad

$$V_T = V_{captadores} + V_{tuberías} + V_{intercambiador} + V_{seguridad}$$

Para calcular el volumen del circuito hidráulico $V_{tuberías}$ es necesario conocer la longitud de la red de tuberías y los diámetros correspondientes,

$$V_{tuberías} = L \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

A partir de las longitudes y diámetros obtenidos en el dimensionado de la red de tuberías, se calcula el volumen de tuberías de cada uno de los tramos en los que se dividieron anteriormente; tuberías cubierta sala de máquinas (cubierta “a”), tuberías cubierta nave almacén (cubierta “b”) y tuberías de los tramos 1 y 2 desde la sala de máquinas a cubiertas

$$V_{tuberías} = V_a + V_b + V_{1y2} = 1015,1 + 443,9 + 762,4 = 2221,4 L$$

El volumen de captadores es el contenido en agua de cada captador solar (1,02 l), obtenido del catálogo del fabricante, por el número de captadores

$$V_{captadores} = N_c \cdot V_{un\ captador} = 240 \cdot 1,02 = 224,8 L$$

El volumen de agua en el circuito primario del intercambiador de la instalación se obtiene del catálogo del fabricante.

$$V_{intercambiador} = 4,4 L$$

El volumen de seguridad que se corresponde a un 10% de la suma de los volúmenes anteriores,

$$V_{seguridad} = (V_{captadores} + V_{tuberías} + V_{intercambiador}) \cdot 0,1 = 245,06 L$$

El volumen total de fluido que discurrirá por el circuito primario incluyendo el margen de seguridad es,

$$\begin{aligned} V_T &= V_{captadores} + V_{tuberías} + V_{intercambiador} + V_{seguridad} \\ &= 224,8 + 2221,4 + 4,4 + 245,06 = 2695,66 L \end{aligned}$$

El coeficiente de expansión se calcula mediante la expresión,

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

Donde T es la temperatura máxima que puede alcanzar el circuito de captación, que es la máxima que pueden soportar los captadores. La máxima que los captadores podrán alcanzar es la que el fabricante especifica como temperatura de estancamiento, pero es excesiva y no se llegará a alcanzar nunca. Por eso, se decide fijar esta temperatura en un valor de 80°C ya que por encima de esta se podría producir vapor.

Dado que el fluido caloportador consiste solo de agua sin ninguna sustancia anticongelante, no es necesario realizar ninguna corrección sobre el coeficiente de expansión. El valor final del coeficiente de expansión es $C_e = 0,026$.

Para calcular el coeficiente de presión del vaso de expansión, es necesario definir la presión mínima y la

presión máxima de funcionamiento.

La presión mínima de funcionamiento P_m , es la presión en el vaso si la instalación estuviese parada. Esta debe de ser siempre mayor que la atmosférica para que nunca llegue a penetrar aire en la instalación, y también superior a la presión de saturación del vapor de agua.

Se fija según la altura geométrica a la que se instala el vaso de expansión con respecto a los captadores solares. El vaso de expansión se encuentra en la sala de máquinas y los captadores en la cubierta del edificio, por lo que es necesario conocer la altura que separa al vaso de expansión del punto más alto por el que circula el agua, que es la suma de la distancia en metros que hay desde el suelo de la sala de máquinas a la cubierta del edificio, que son 7 metros, más la altura desde la cubierta hasta la tubería de salida del captador, 1,37 metros.

Por lo tanto, la presión en el punto donde se coloca el vaso será la presión de la columna de agua que hay por encima de este, que será de una altura de $h = 8,37m$, a la cual habrá que añadirle la presión atmosférica, p_{atm} , y 0,5 bar de seguridad, quedando los cálculos de la siguiente manera:

$$P_m = \rho g h + p_{atm} + p_{seg} = 10^3 \cdot 9,8 \cdot 8,37 + 10^5 + 0,5 \cdot 10^5 = 232026 Pa$$

Donde:

- ρ : densidad del agua [kg/m^3]

- g : valor de la gravedad [m/s^2]

- h : altura de la columna de agua entre el vaso de expansión y el punto más alto de la red de tuberías [m]

La presión máxima de funcionamiento P_M viene fijada por la presión máxima que soporta el captador, es decir, proporcionada por el fabricante de los captadores. La P_M por tanto será ligeramente menor que esta presión máxima de los captadores solares, que se corresponde con la presión de tarado de la válvula de seguridad P_{VS} , y se determina como el mínimo de estos dos valores:

$$P_M = 0.9 \cdot P_{VS} (bar)$$

$$P_M = P_{VS} - 0,5 (bar)$$

Los resultados de las presiones de trabajo quedan por tanto como:

$$P_M = 7,2 bar ; P_m = 2,32 bar ; P_{VS} = 8 bar$$

El coeficiente de presión se calcula en función de las presiones anteriores mediante la ecuación,

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

El coeficiente de expansión resulta $C_p = 1,475$.

A partir de todos los datos calculado, se obtiene el volumen mínimo que requiere el vaso de expansión mediante la ecuación,

$$V_{exp} = V_T \cdot C_e \cdot C_p = 2695,66 \cdot 0,026 \cdot 1,475 = 103,38 L$$

Se selecciona un vaso de expansión de 140 litros de Ibaiondo, modelo 140CMF

10. DIMENSIONADO AEROTERMO

El aerotermo que se incorpora en el circuito primario como elemento de protección contra altas temperaturas, se dimensiona para que sea capaz de disminuir en 5 C la temperatura de salida de captadores solares. Como el caudal de la bomba del circuito primario es 32.832 l/h = 9,12 kg/s, la potencia del aerotermo es 190,6 kW.

Se selecciona un aerotermo de la marca Termicol, modelo Disipado-10 que disipa 190 kW para una temperatura del agua de entrada de 90 C y una temperatura de entrada de aire de 35 C.

11. CÁLCULO DE ESPESORES DE AISLAMIENTO

El espesor mínimo de aislamiento de las tuberías se establece en función de la temperatura máxima del fluido, del diámetro interior y de su localización, interior o exterior. Las tuberías que estén emplazadas a la intemperie han de disponer de una protección externa con el fin de asegurar la durabilidad antes las acciones climatológicas, pudiendo ser revestidas con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas.

En la Tabla 25 y Tabla 26 se muestran el espesor mínimo de aislamiento para un material con una conductividad térmica de 0,04 W/m·K de acuerdo con el RITE. Para esta instalación, en la que la temperatura de trabajo de ambos fluidos oscila entre 40 y 70 °C, los espesores de aislamiento de la Tabla 27 corresponden a una temperatura entre 60 y 100 °C.

Tabla 25. Espesores de aislamiento mínimos en el interior de edificios

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

Tabla 26. Espesores de aislamiento mínimos en el exterior de edificios

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

Tabla 27. Espesores mínimos de aislamiento en la instalación

Diámetro exterior (mm)	22	27	34	42	52	67	82	92	102
Interior	25	25	25	30	30	30	30	40	40
Exterior	35	35	35	40	40	40	40	40	40

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

Teniendo en cuenta la temperatura de trabajo del equipo y su localización interior, el aislamiento para un material con conductividad térmica de $0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ será de 30 mm.

12. SELECCIÓN DE ACCESORIOS

Los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento de nuestra instalación son los siguientes:

- Válvulas de retención: Se sitúa una a la salida de cada bomba de circulación del circuito primario y secundario
- Válvulas de compuerta: Se situarán en la entrada y salida de cada fila de captadores, en las entradas y salidas de los acumuladores, en la conexión con el sistema convencional, en la entrada del agua de red y en general en la entrada y salida de todos los equipos de la instalación (aerotermo, bombas de circulación, intercambiador de calor, etc)
- Válvulas de equilibrado, en cada una de las líneas de tuberías a cada cubierta
- Válvula de tres vías todo o nada, en la desviación al aerotermo en el circuito primario.
- Filtros: situados en la aspiración del grupo de bombeo del primario y secundario.
- Purgador automático: Situado a la salida del vaso de expansión y a la salida de cada fila del campo solar.
- Termómetros en cada uno de los tres depósitos, en las conexiones de entrada y salida del intercambiador de calor y en la salida de cada fila de captadores
- Manómetros en cada una de las bombas de circulación de los circuitos primario y secundario

3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

1. OBJETO

El presente pliego de condiciones técnicas fija los criterios generales del proyecto de instalación de energía solar para la producción de agua caliente sanitaria. Incluye la definición de equipos y materiales, montaje de los equipos, pruebas y mantenimiento.

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. CONDICIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS

3.1 TUBERÍAS

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

En los circuitos de agua caliente sanitaria podrán utilizarse cobre y acero inoxidable. Podrán

utilizarse materiales plásticos que soporten las condiciones extremas (presión y temperatura) de funcionamiento del circuito, y que estén autorizadas por la normativa vigente.

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

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

3.2 ACCESORIOS

a) 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/cm².

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.

b) Juntas.

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

c) Lubricante de roscas.

General: no endurecedor, no venenoso.

d) Acoplamiento dieléctricos o latiguillos.

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

e) 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.

f) Codos en bombas.

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

g) Sombreretes

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

h) Guías.

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

i) 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 seasencilla.

j) 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 válvulanecesarios y/o indicados en planos o especificaciones.

k) 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/cm². 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.

l) 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.

m) 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.

n) 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 VÁLVULAS

a) Generalidades.

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

La elección de las válvulas se realizará, de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura) siguiendo los siguientes criterios:

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

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

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

b) 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.

Válvulas de asiento

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

- El asiento será integral en bronce o en acero inoxidable según el cuerpo de la válvula.
- Prensaestopas del mismo material que cuerpo y tapa.

Válvulas de seguridad de resorte

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

Válvulas de retención de clapeta

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

Válvulas de retención de muelle

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

Purgadores automáticos de aire

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

3.4 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.

3.5 VASO DE EXPANSIÓN

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

- Fabricante.
- Marca.
- Modelo.

Se recomienda que los vasos de expansión utilizados en los circuitos primarios tengan una temperatura máxima de funcionamiento superior a 100°C, 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.

3.6 BOMBAS

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

- Fabricante.
- Marca.
- Modelo.
- Características eléctricas.

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

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

- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

3.7 CAPTADORES SOLARES

a) 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^2 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.

b) Modelo de captador

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

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

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

- No implique modificaciones en el caudal que circula por dicho captador fuera del rango

$\pm 5\%$ respecto del caudal original de diseño unitario.

- No suponga una disminución del rendimiento térmico del sistema de captación en las condiciones habituales de operación.
- Estéticamente sean similares.

c) 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.

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

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

- Activar la bomba de circulación en función del salto de temperatura entre la salida de la batería de captadores 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.

3.9 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.

a) 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.

b) Medida de caudal

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

Cuando exista un sistema de regulación exterior, este estará precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas. Se suministrarán los siguientes datos, que deberán ser facilitados por el fabricante:

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

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

c) Medida de energía térmica.

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

- Contador de agua, descrito anteriormente.
- Dos sondas de temperatura.
- Microprocesador electrónico, montado en la parte superior del contador o separado. La posición del contador y de las sondas define la energía térmica que se medirá.

El microprocesador podrá estar alimentado por la red eléctrica o mediante pilas con una duración de servicio mínima de 3 años.

El microprocesador multiplicará la diferencia de ambas temperaturas por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionará la cantidad de energía.

3.10 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 serpiente o de haz tubular.

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 llevará 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.

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°.

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.

6. PRUEBAS, PUESTA EN MARCHA Y RECEPCIÓN

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.

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 asegurarse 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 UNE-EN 14336:2005, en función del tipo de fluido transportado.

- **Pruebas de libre dilatación**

Una vez que las pruebas anteriores de las redes de tuberías hayan resultado satisfactorias y se haya comprobado hidrostáticamente el ajuste de los elementos de seguridad, las instalaciones equipadas con captadores solares se llevaran 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 haya tenido lugar deformaciones apreciables en ningún elemento o tramo de tubería y que el sistema de expansión haya funcionado correctamente.

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-EN12599.

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.

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 en el proyecto.

- Control automático

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

6.5 RECEPCIÓN

- Recepción provisional

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

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

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

- Una memoria descriptiva de la instalación, en la que se incluyen las bases de proyecto y los criterios adoptados para su desarrollo.
- Una copia reproducible de los planos definitivos, comprendiendo, como mínimo, los esquemas de principio de todas las instalaciones, los planos de sala de máquinas y los planos de plantas donde se debería indicar el recorrido de las conducciones y la situación de las unidades terminales.
- Una relación de todos los materiales y equipos empleados, indicando fabricante, marca, modelo y características de funcionamiento.
- Las hojas desoplativas 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 entrará en vigor la garantía.

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.

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.

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 m² y una revisión cada seis meses para instalaciones superiores a 20 m².

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

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 PRESUPUESTO

1. Sistema de captación

N Orden	Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Precio (€)
1.1	Captador solar Termicol, modelo T20US o similar son las siguientes características: Superficie útil: 1,9 m ² Dimensiones: 2013 x 970 x 100 mm Peso: 38 kg Factor óptico: 0,80 Factor lineal pérdidas: 3,93 W/m ² K Factor cuadrático pérdidas: 0,026 W/m ² K ² K50: 0,81 Caudal de ensayo: 72 l/h m ² Pérdida de carga para caudal ensayo: 0,26 kPa	240	594,00	142.560,00
1.2	Estructura soporte Termicol, modelo ESTA5-T20 o similar, en aluminio para 5 captadores solares modelo T20US	48	628,00	30.144,00
1.3	Conjunto de accesorios Termicol, modelo Batcapt-20 o similar, para batería de captadores que incluye llaves de corte, purgador automático y válvula de seguridad	48	109,00	5.232,00
1.4	Racores de conexión entre captadores Termicol, modelo Racor o similar	384	5,50	2.112,00
1.5	Aerotermino Termicol, modelo Disipad-10 o similar de 190 kW de potencia, para una temperatura de agua de 90 C y una temperatura de aire de 35 C	1	2.870,00	2.870,00
	Total sistema de captación			182.918,00

2. Sistema de acumulación

N Orden	Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Precio (€)
2.1	Acumulador de acero revestido LAPESA, modelo MV-10IB o similar con las siguientes características: Capacidad: 10.000 l Presión máxima: 8 bar Material: acero al carbono S275JR	3	10.570,00	31.710,00
2.2	Aislamiento fibra de vidrio 100 mm de espesor, forrado pvc	3	3.196,00	9.588,00
	Total sistema de acumulación			41.298,00

3. Sistema de intercambio

N Orden	Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Precio (€)
3.1	Intercambiador de placas Alfa Laval, modelo CB110-38M o similar de las siguientes características: Número de placas: 42 Material: acero inoxidable Área de intercambio: 616x191 mm. Potencia: 228 kW. Caudal primario: 9,12 kg/s Caudal secundario: 9,12 kg/s Salto térmico en primario: 6 °C. Pérdida de carga en primario: 3,5 m.c.a. Salto térmico en secundario: 6 °C Pérdida de carga en secundario: 3,5 m.c.a. Presión máxima de trabajo: 10 bar.	1	2.870,00	2.870,00
3.2	Aislamiento fibra de vidrio 100 mm de espesor	1	780,00	780,00
	Total sistema de intercambio			3.650,00

4. Sistema hidráulico

N Orden	Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Precio (€)
4.1	Bomba de circulación de circuito primario WILO, modelo VeroTwin DPL o similar de las siguientes características: Máxima presión de trabajo: 10 bar. Número de polos: 2 Peso: 52,5 kg. Rango de temperatura: -20 °C a 120 °C. Temperatura ambiente máxima: 40 °C. Alimentación eléctrica: 1-230V, 50 HZ. Consumo de potencia nominal: 1,1 kW Para un caudal de 16 m ³ /h, altura equivalente 14 mca	1	2.965,00	2.965,00
4.2	Bomba de circulación de circuito secundario WILO, modelo VeroTwin DPL o similar de las siguientes características: Máxima presión de trabajo: 10 bar. Número de polos: 2 Peso: 52,5 kg. Rango de temperatura: -20 °C a 120 °C. Temperatura ambiente máxima: 40 °C. Alimentación eléctrica: 1-230V, 50 HZ. Consumo de potencia nominal: 1,1 kW Para un caudal de 16 m ³ /h, altura equivalente 14 mca	1	2.965,00	2.965,00

N Orden	Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Precio (€)
4.3	Vaso de expansión, incluyendo válvula de seguridad, Ibaiondo, modelo 140CMF o similar, de las siguientes características: Capacidad: 140 litros Temperatura máxima: 100 C Temperatura mínima: - 10 C	1	1.135,00	1.135,00
4.4	M. Tubería cobre 22/20, Salvador Escoda o similar	396	7,95	3.148,20
4.5	M. Tubería cobre 27/25, Salvador Escoda o similar	43	10,38	446,34
4.6	M. Tubería cobre 34/32, Salvador Escoda o similar	64	16,28	1.041,92
4.7	M. Tubería cobre 42/40, Salvador Escoda o similar	57	19,76	1.126,32
4.8	M. Tubería cobre 52/50, Salvador Escoda o similar	70	25,37	1.775,90
4.9	M. Tubería cobre 67/65, Salvador Escoda o similar	135	43,16	5.826,60
4.10	M. Tubería cobre 82/80, Salvador Escoda o similar	12	69,70	836,40
4.11	M. Tubería cobre 90/88, Salvador Escoda o similar	119	78,30	9.317,70
4.12	M. Tubería cobre 102/100, S. Escoda o similar	125	87,45	10.931,25
4.13	Codo cobre 90 DN22, Salvador Escoda o similar	56	1,90	106,40
4.14	Codo cobre 90 DN27, Salvador Escoda o similar	3	3,16	9,48
4.15	Codo cobre 90 DN42, Salvador Escoda o similar	1	20,77	20,77
4.16	Codo cobre 90 DN67, Salvador Escoda o similar	7	93,68	655,76
4.17	Codo cobre 90 DN90, Salvador Escoda o similar	3	114,20	342,60
4.18	Codo cobre 90 DN102, Salvador Escoda o similar	22	165,20	3.634,40
4.19	Te cobre 22-22-27, Salvador Escoda o similar	8	9,57	76,56
4.20	Te cobre 22-27-22, Salvador Escoda o similar	1	18,27	18,27
4.21	Te cobre 27-22-27, Salvador Escoda o similar	8	19,39	155,12
4.22	Te cobre 34-22-34, Salvador Escoda o similar	16	21,27	340,32
4.23	Te cobre 42-22-42, Salvador Escoda o similar	8	46,88	375,04
4.24	Te cobre 42-42-42, Salvador Escoda o similar	3	35,78	107,34
4.25	Te cobre 52-22-52, Salvador Escoda o similar	12	111,59	1.339,08
4.26	Te cobre 52-42-42, Salvador Escoda o similar	1	66,92	66,92
4.27	Te cobre 52-42-52, Salvador Escoda o similar	2	112,60	225,20
4.28	Te cobre 67-52-67, Salvador Escoda o similar	4	164,92	659,68
4.29	Te cobre 67-67-67, Salvador Escoda o similar	1	181,16	181,16
4.30	Te cobre 102-90-102, Salvador Escoda o similar	1	234,50	234,50
4.31	Te cobre 102-102-102, Salvador Escoda o similar	5	276,30	1.381,50
4.32	Cruz cobre 42-42-42-42, Salvador Escoda o similar	14	30,20	422,80

N Orden	Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Precio (€)
4.33	Enlace cobre 34-27, Salvador Escoda o similar	8	17,40	139,20
4.34	Enlace cobre 42-22, Salvador Escoda o similar	20	30,65	613,00
4.35	Enlace cobre 42-27, Salvador Escoda o similar	1	24,96	24,96
4.36	Enlace cobre 42-34, Salvador Escoda o similar	10	19,52	195,20
4.37	Enlace cobre 52-22, Salvador Escoda o similar	6	53,26	319,56
4.38	Enlace cobre 52-42, Salvador Escoda o similar	7	37,39	261,73
4.39	Enlace cobre 67-42, Salvador Escoda o similar	4	93,20	372,80
4.40	Enlace cobre 67-52, Salvador Escoda o similar	2	87,04	174,08
4.41	Enlace cobre 82-42, Salvador Escoda o similar	4	105,32	421,28
4.42	Enlace cobre 90-42, Salvador Escoda o similar	1	114,67	114,67
4.43	Enlace cobre 90-67, Salvador Escoda o similar	1	96,40	96,40
4.44	Enlace cobre 102-90, Salvador Escoda o similar	1	104,70	104,70
4.45	Grifo manómetro ½", Salvador Escoda o similar	8	15,13	121,04
4.46	Válvula de compuerta cierre metal DN102, Salvador Escoda, modelo AA01 049 o similar	21	151,08	3.172,68
4.47	Válvula de retención clapeta cierre metal DN102, Salvador Escoda, modelo AA05 259 o similar, para una temperatura máxima de 90 C y presión máxima de 12 bar	4	254,15	1.016,60
4.48	Válvula de equilibrado DN90, Salvador Escoda o similar	1	124,50	124,50
4.49	Válvula de equilibrado DN67, Salvador Escoda o similar	1	107,80	107,80
4.50	Válvula de tres vías, todo o nada DN102, Salvador Escoda o similar	1	1.095,00	1095,00
4.51	Filtro DN102 Salvador Escoda, modelo AA08 120 o similar	2	154,86	309,72
4.52	Sistema de llenado circuito primario, incluyendo bomba circulación, válvula antirretorno y válvulas de corte, IVAR modelo MUL 11 o similar	1	565,59	565,59
4.53	Aislamiento tubería de cobre DN22 de 35 mm de espesor, Salvador Escoda o similar	396	13,55	5.365,80
4.54	Aislamiento tubería de cobre DN27 de 35 mm de espesor, Salvador Escoda o similar	43	15,59	670,37
4.55	Aislamiento tubería de cobre DN34 de 35 mm de espesor, Salvador Escoda o similar	64	17,10	1.094,40
4.56	Aislamiento tubería de cobre DN42 de 40 mm de espesor, Salvador Escoda o similar	57	18,42	1.049,94

N Orden	Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Precio (€)
4.57	Aislamiento tubería de cobre DN52 de 40 mm de espesor, Salvador Escoda o similar	70	22,79	1.595,30
4.58	Aislamiento tubería de cobre DN67 de 40 mm de espesor, Salvador Escoda o similar	135	24,76	3.342,60
4.59	Aislamiento tubería de cobre DN82 de 40 mm de espesor, Salvador Escoda o similar	12	32,39	388,68
4.60	Aislamiento tubería de cobre DN90 de 40 mm de espesor, Salvador Escoda o similar	119	45,67	5.434,73
4.61	Aislamiento tubería de cobre DN102 de 40 mm de espesor, Salvador Escoda o similar	125	58,35	7.293,75
	Total sistema hidráulico			87.454,61

5. Sistema de medida y control

N Orden	Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Precio (€)
5.1	Centralita solar Termicol, modelo LTDC-V3 o similar con las siguientes características: Entrada para sensores de temperatura: 6 Salidas de control de bombas: 2 Variables hidráulicas preconfiguradas: 42 Entradas para medición de caudal: 2	1	455,0	455,0
5.2	Sonda de temperatura PT100 Termicol o similar	2	23,9	47,8
5.3	Termómetro bimetálico con vaina Salvador Escoda, modelo IM02106 o similar	55	15,20	836,0
5.4	Manómetro de escala 0-10 bar Termicol o similar	4	4,35	17,4
	Total sistema de medida y control			1.356,2

El resumen del presupuesto de la instalación es

1. Sistema de captación	182.918,00
2. Sistema de acumulación	41.298,00
3. Sistema de intercambio	3.650,00
4. Sistema hidráulico	87.454,61
5. Sistema de medida y control	1.356,20
Total	316.676,81
Beneficio industrial (10%)	31.667,68
IVA 21%	73.152,34
Total Presupuesto	421.496,83

Asciende el presupuesto de la instalación a la cantidad de CUATROCIENTOS VEINTE Y UN MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y SEIS EUROS CON OCHENTA Y DOS CÉNTIMOS.

El presupuesto equivale a 924,34 € por metro cuadrado de superficie de captación.

En la Figura 45 se muestra el desglose del presupuesto por sistemas. Se puede observar que los sistemas con mayor porcentaje corresponden al sistema de captación con casi un 58% y el sistema hidráulico con casi un 28%. Los dos suponen casi un 86% del presupuesto total de la instalación.

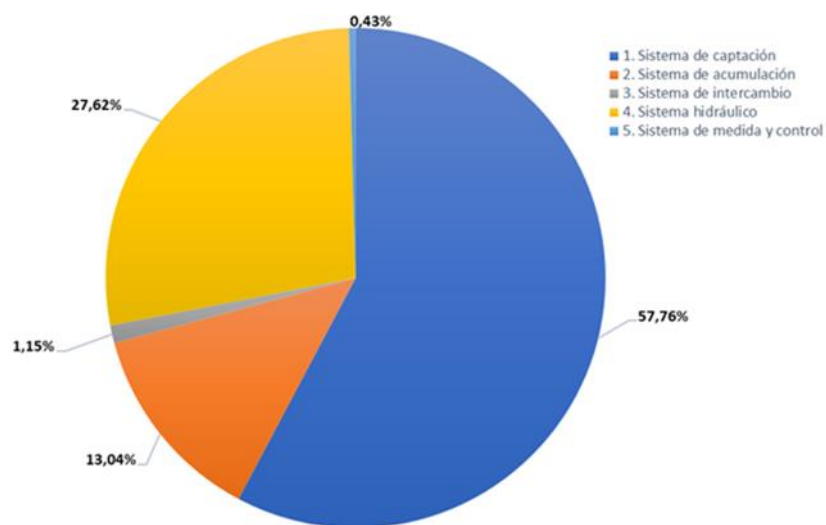
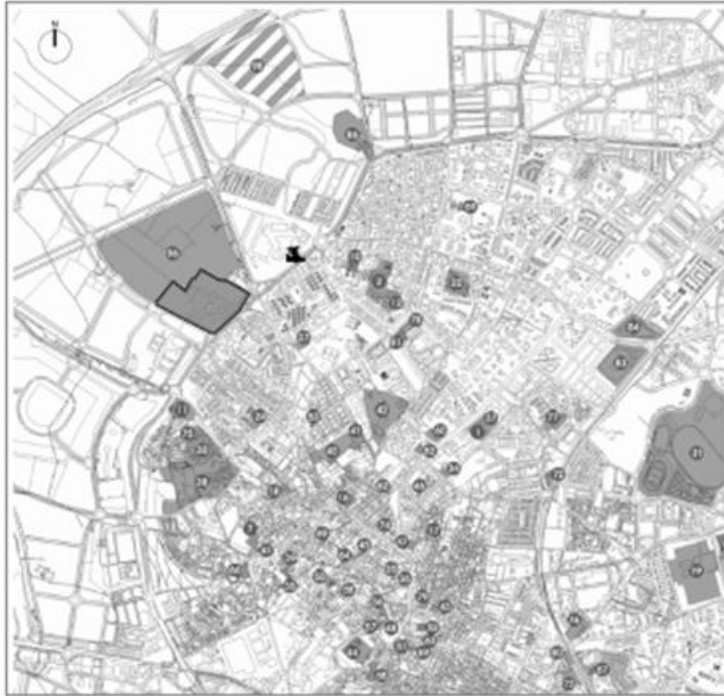


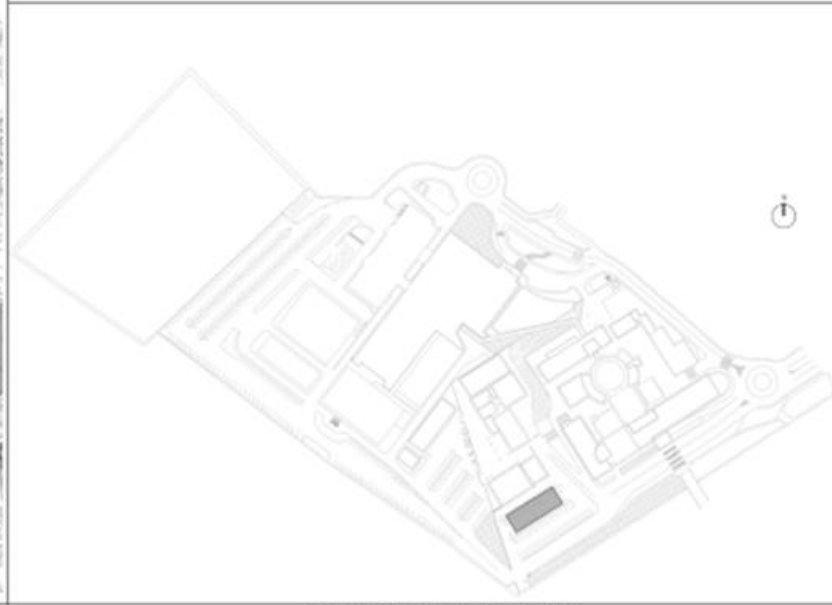
Figura 45. Desglose del presupuesto por sistemas (%)

5. PLANOS




SITUACIÓN

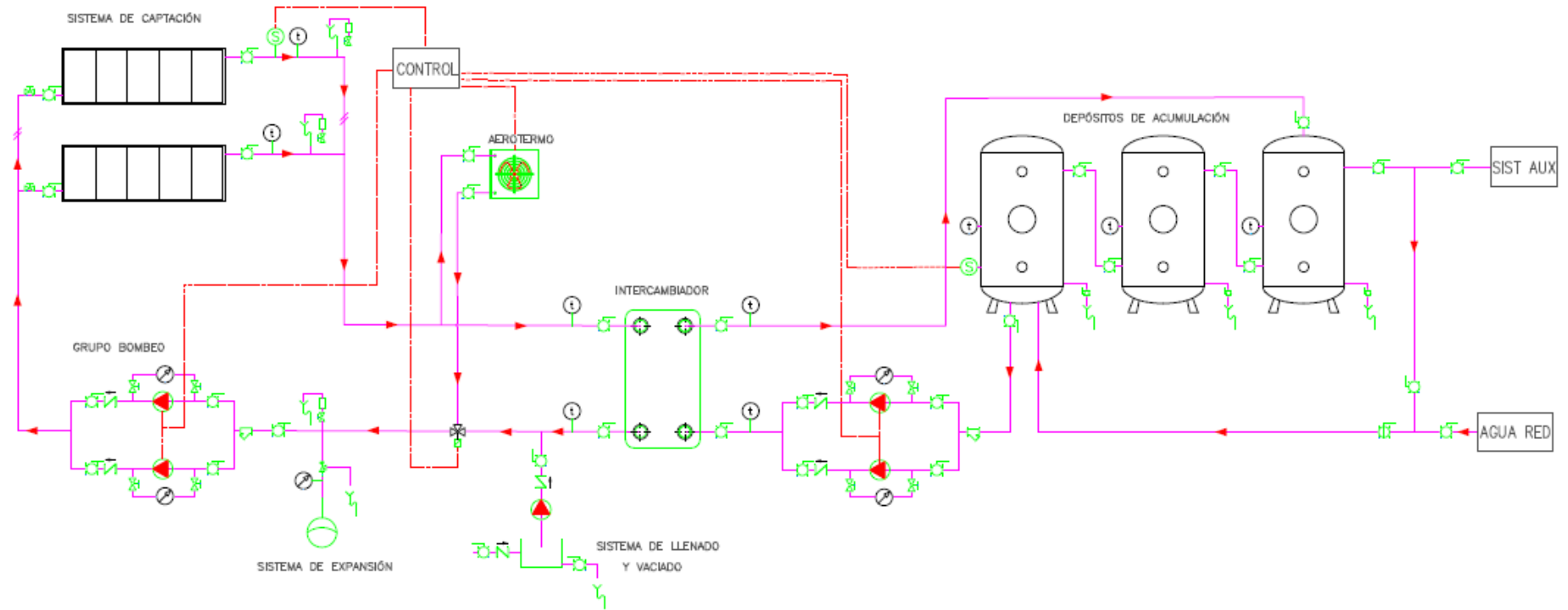
E: 1/15000


















EMPLAZAMIENTO DE LA PARCELA




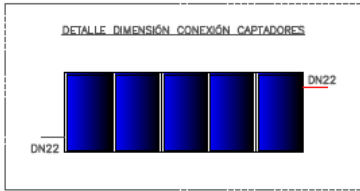
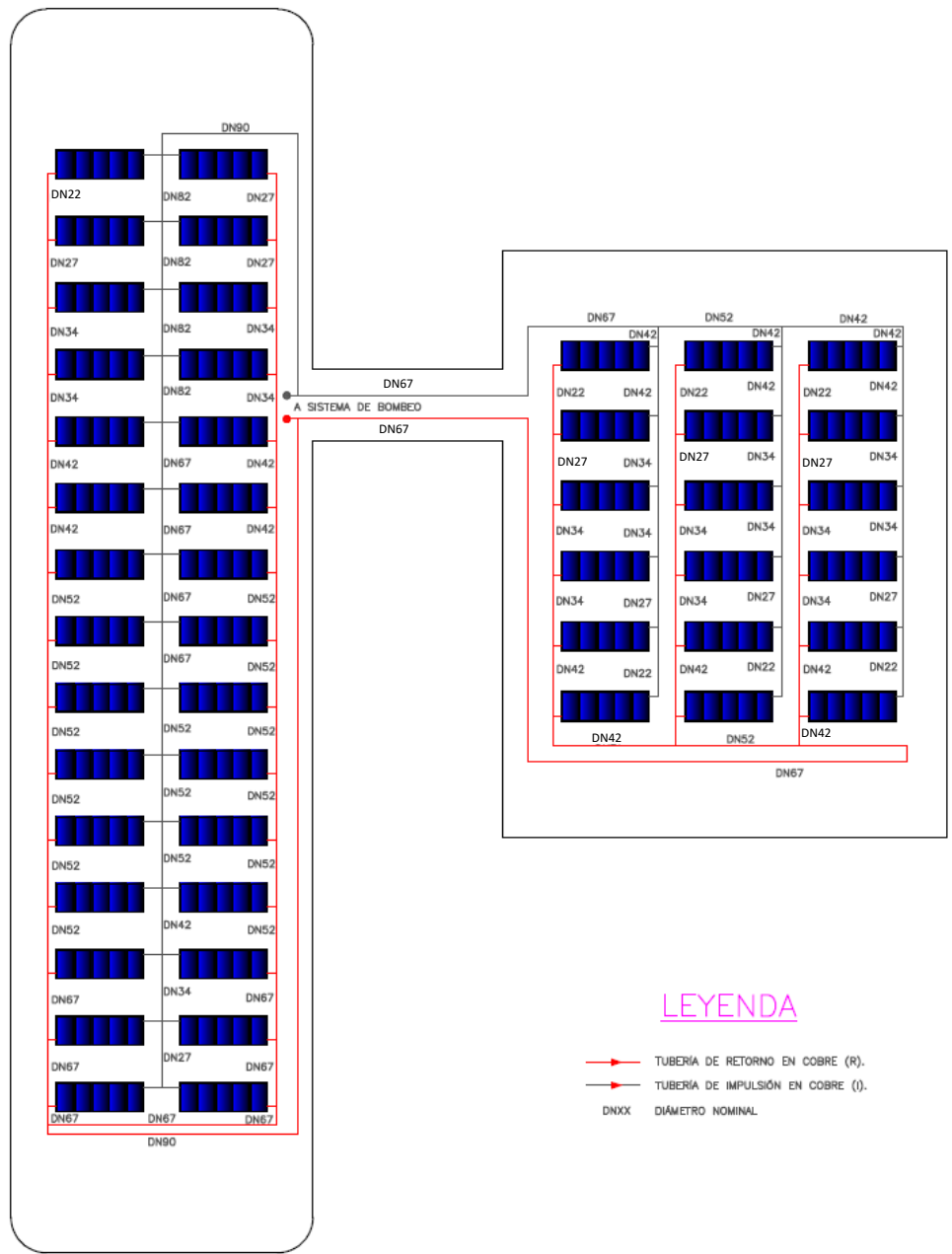
 <p>Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA</p>	ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE EN UN HOSPITAL				
	ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	SIN ESCALA	JULIO 2022	M.RDM	TFG-ACS	----
FIRMA					Nº PLANO
SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO					1
Fdo. MDR Domínguez Martínez-Pais					



LEYENDA


-  VÁLVULA DE CORTE.
-  VÁLVULA DE RETENCIÓN.
-  VÁLVULA DE EQUILIBRADO.
-  VÁLVULA DE ASIENTO.
-  VÁLVULA DE SEGURIDAD.
-  VÁLVULA DE TRES VIAS PROPORCIONAL.
-  FILTRO DE MALLA EN "Y".
-  UNIDAD DE DESAGÜE.
-  TERMÓMETRO.
-  SONDA DE TEMPERATURA.
-  MANÓMETRO DE ESFERA EN BAÑO GLICERINA.
-  PURGADOR AUTOMÁTICO Y MANUAL.
-  BOMBA.
-  LINEAS DE CONTROL.
-  TUBERÍA DE AGUA CALIENTE.

 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA FIRMA	ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE EN UN HOSPITAL				
	ESCALA	FECHA	DESBANDO	ARCHIVO	CÓDIGO
SIN ESCALA	JULIO 2022	NRDM	TFG-ACS	—	
ESQUEMA DE PRINCIPIO				Nº PLANO	
Fdo. MDR Domínguez Martínez-Pais				2	

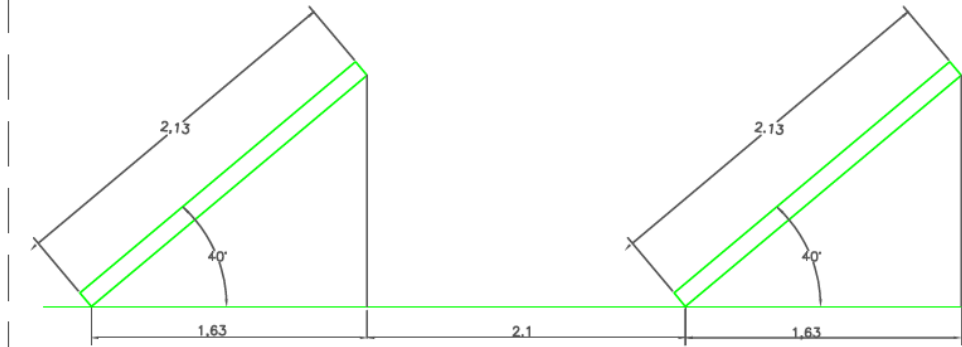


LEYENDA

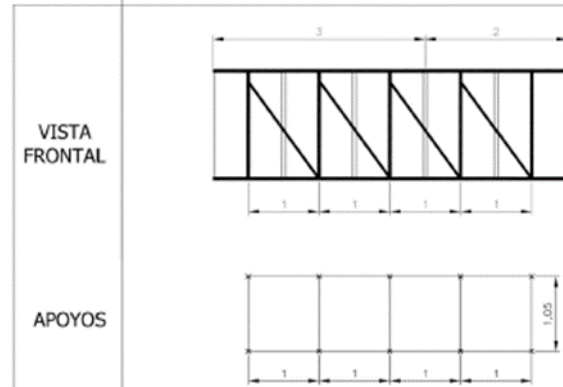
- TUBERÍA DE RETORNO EN COBRE (R).
- TUBERÍA DE IMPULSIÓN EN COBRE (I).
- DNXX DIÁMETRO NOMINAL

 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA FIRMA	ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE EN UN HOSPITAL			
	ESCALA SIN ESCALA	FECHA JULIO 2022	DIBUJADO MRDM	ARCHIVO TFG-ACS
DISTRIBUCIÓN CAPTADORES EN CUBIERTA				Nº PLANO 3
Fdo. MDR Domínguez Martínez-Pois				

ESQUEMA COLOCACIÓN DE CAPTADORES



5 captadores

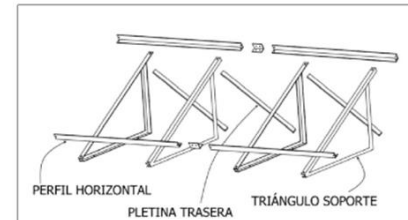
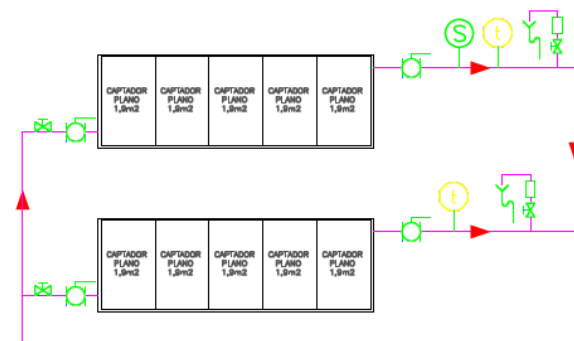


VISTA
FRONTAL

APOYOS

ESQUEMA CONEXIÓN DE CAPTADORES

CONJUNTO TIPO 5 PANELES



DETALLE SOPORTE

Estructuras de acero galvanizado en caliente

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



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

FIRMA

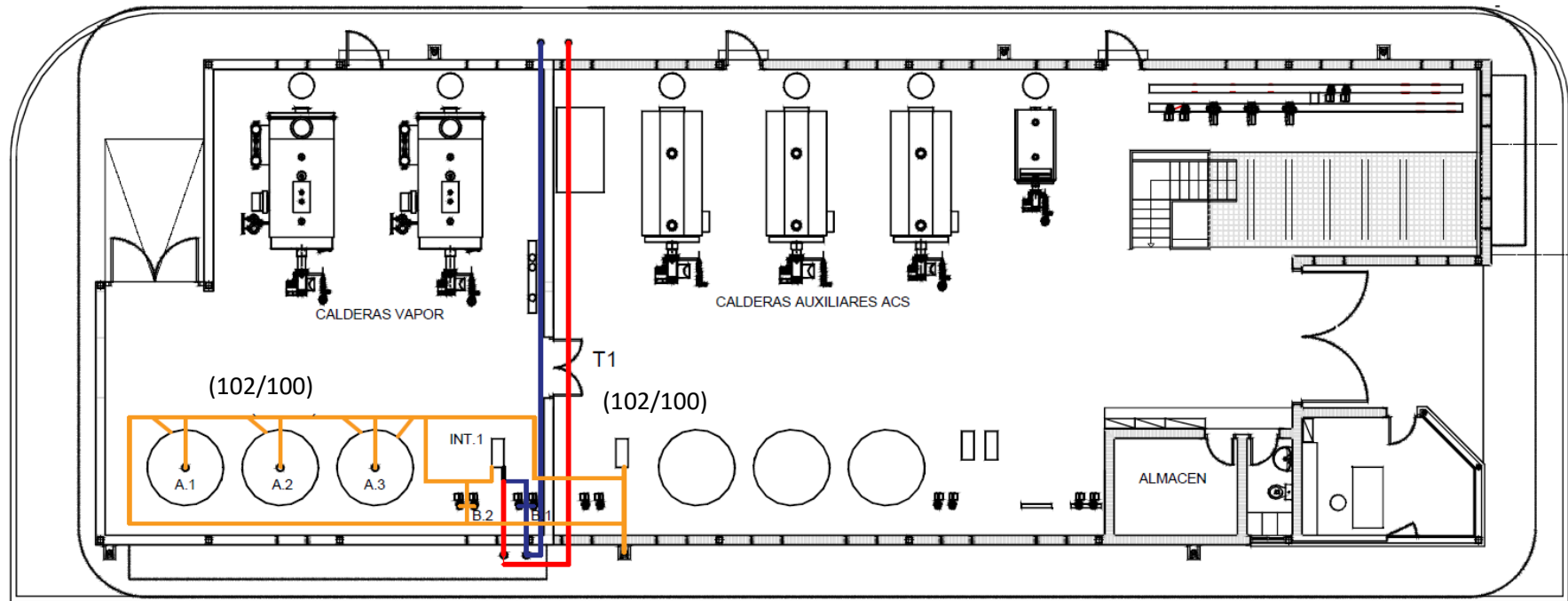
Fdo. MDR Domínguez Martínez-Pois

ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN
SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE
AGUA CALIENTE EN UN HOSPITAL


ESCALA	FECHA	DIBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
SIN ESCALA	JULIO 2022	MRDM	TFG-ACS	----

Nº PLANO
4

DETALLES INSTALACIÓN CAPTADORES
SOLARES



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

 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA FIRMA	ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE EN UN HOSPITAL				
	ESCALA	FECHA	DEBUJADO	ARCHIVO	CÓDIGO
	SIN ESCALA	JULIO 2022	M/RDM	TFG-ACS	----
				Nº PLANO	5
Fdo. MDR Domínguez Martínez-Pais				DISTRIBUCIÓN EN SALA DE MÁQUINAS	

