

Departamento de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en un hospital

Trabajo Fin de Grado

Autor: D. Alejandro Flores Muñoz

Tutor: D. José Guerra Macho

Sevilla, julio 2014



Índice

1. Memoria descriptiva	5
1.1. Antecedentes y objeto	6
1.2. Descripción del edificio	6
1.3. Descripción del uso de CHEQA	7
1.4. Descripción de la instalación.....	7
1.4.1. Esquema de principio	7
1.4.2. Captación solar	8
1.4.3. Intercambio de calor.....	8
1.4.4. Acumulación solar.....	9
1.4.5. Sistema auxiliar	9
1.4.6. Transporte.....	10
1.4.7. Sistema de control	11
1.5. Descripción del sistema de expansión.....	12
1.6. Descripción de la sala de máquinas.....	12
1.7. Características técnicas de los equipos	13
1.7.1. Captadores solares.....	13
1.7.2. Acumuladores solares.....	14
1.7.3. Intercambiadores de calor	15
1.7.4. Bombas del circuito solar	16
1.7.5. Vaso de expansión.....	19
1.8. Cumplimiento de la normativa.....	20
1.8.1. Cumplimiento del CTE-HE 4.....	20
1.8.1.1. Cumplimiento de la contribución solar mínima (Apartado 2.2.1)	20
1.8.1.2. Cumplimiento del exceso de contribución solar (Apartado 2.2.2).....	20
1.8.1.3. Cumplimiento del límite de pérdidas (Apartado 2.2.3).....	21
1.8.2. Cumplimiento del RITE	21
1.8.2.1. Cumplimiento de la IT 1.1.4.3.1. “Preparación de agua caliente para usos sanitarios”.....	21
1.8.2.2. Cumplimiento de la IT 1.2.4.2.1. “Aislamiento térmico”	22
1.8.2.3. Cumplimiento de la IT 1.3.4.4.5. “Medición”	22
1.8.2.4. Cumplimiento de la IT 2.3.3. “Sistemas de distribución de agua”	23
1.8.2.5. Cumplimiento de la IT 2.3.4. “Control automático”.....	23
1.9. Referencias.....	23
2. Memoria de cálculo	24
2.1. Datos de partida.....	25
2.1.1. Datos geográficos.....	25
2.1.2. Datos climáticos	25
2.1.3. Datos de consumo de A.C.S.....	27
2.2. Dimensionamiento.....	27
2.2.1. Sistema de captación de energía solar	27
2.2.1.1. Análisis paramétrico previo	27
2.2.1.2. Superficie de captación	32

2.2.1.3.	Volumen de acumulación.....	32
2.2.1.4.	Disposición de captadores. Orientación, inclinación y cálculo de sombras.....	32
2.2.2.	Sistema hidráulico.....	34
2.2.2.1.	Conexión de captadores y trazado de tuberías.....	34
2.2.2.2.	Cálculo de tuberías.....	34
2.2.2.3.	Grupos de bombeo del circuito solar.....	36
2.2.2.4.	Intercambiador de calor.....	37
2.2.2.5.	Sistema de expansión.....	37
2.2.3.	Aislamiento térmico de las instalaciones.....	38
2.2.4.	Comprobación de la instalación.....	39
3.	Presupuesto.....	41
3.1.	<i>Sistema solar de captación.....</i>	<i>42</i>
3.2.	<i>Sistema de acumulación.....</i>	<i>42</i>
3.3.	<i>Sistema de intercambio.....</i>	<i>43</i>
3.4.	<i>Sistema hidráulico.....</i>	<i>43</i>
3.5.	<i>Sistema de control y regulación.....</i>	<i>45</i>
3.6.	<i>Presupuesto total.....</i>	<i>46</i>
4.	Pliego de condiciones técnicas.....	47
4.1.	<i>Objeto.....</i>	<i>48</i>
4.2.	<i>Normativa aplicable.....</i>	<i>48</i>
4.3.	<i>Condiciones de materiales y equipos.....</i>	<i>49</i>
4.3.1.	Tuberías y accesorios.....	49
4.3.2.	Válvulas.....	51
4.3.2.1.	Generalidades.....	51
4.3.2.2.	Materiales.....	52
4.3.3.	Aislamiento.....	53
4.3.4.	Vasos de expansión.....	53
4.3.5.	Bombas.....	54
4.3.6.	Captadores.....	55
4.3.6.1.	Generalidades.....	55
4.3.6.2.	Modelo de captador.....	56
4.3.6.3.	Estructura soporte y sujeción del captador.....	56
4.3.7.	Sistema eléctrico y de control.....	57
4.3.8.	Aparatos de medida.....	57
4.3.9.	Acumuladores.....	59
4.3.10.	Intercambiadores de calor.....	60
4.3.10.1.	Intercambiadores externos.....	60
4.4.	<i>Provisión del material.....</i>	<i>61</i>
4.5.	<i>Condiciones de montaje.....</i>	<i>61</i>
4.6.	<i>Pruebas, puesta en marcha y recepción.....</i>	<i>61</i>
4.6.1.	General.....	61
4.6.2.	Pruebas parciales.....	62
4.6.2.1.	Pruebas de equipos.....	62
4.6.2.2.	Pruebas de estanquidad de redes hidráulicas.....	62

4.6.2.3. Pruebas de libre dilatación	62
4.6.3. Pruebas finales.....	62
4.6.4. Ajustes y equilibrado.....	63
4.6.4.1. Sistemas de distribución de agua	63
4.6.4.2. Control automático.....	63
4.6.5. Recepción.....	64
4.6.5.1. Recepción provisional.....	64
4.6.5.2. Recepción definitiva	64
4.7. <i>Mantenimiento</i>	64
4.7.1. <i>Vigilancia</i>	65
4.7.2. <i>Mantenimiento preventivo</i>	65
4.7.3. <i>Mantenimiento correctivo</i>	67
5. Planos	68
5.1. <i>Emplazamiento</i>	69
5.2. <i>Esquema de principio</i>	70
5.3. <i>Distribución de captadores</i>	71
5.4. <i>Conexión de captadores</i>	72
5.5. <i>Detalle de captadores</i>	73
5.6. <i>Sala de máquinas</i>	74

1. Memoria descriptiva

1.1. Antecedentes y objeto

El abastecimiento energético de España actualmente depende muy fuertemente del uso de combustibles fósiles, la mayoría de los cuales importados del exterior. Aunque esta situación ha ido cambiando durante la última década, aún es necesario un cambio del actual modelo energético. Es necesaria una adecuada sustitución de las energías convencionales por energías renovables prácticamente inagotables y con menos impacto medioambiental.

Si nos centramos en la energía solar, nuestro país, y más concretamente Andalucía por su situación y climatología, se caracteriza por unos niveles de irradiación solar privilegiados. Esta energía renovable es aún más interesante si tenemos en cuenta los siguientes beneficios que proporciona su uso:

- Impacto ambiental mínimo comparado con las energías convencionales.
- La energía solar es, a día de hoy, inagotable.
- La investigación y el desarrollo de aplicaciones solares revierten directamente en el desarrollo económico y en la creación de nuevos puestos de trabajo cualificados en nuestro país.
- El uso de la energía solar en lugar de las energías tradicionales supone un aumento de la independencia energética del país ante posibles crisis de los mercados internacionales energéticos, proporcionando una mayor seguridad energética.

Por lo tanto resulta interesante el objeto de este proyecto que es el diseño y cálculo de un sistema de producción de agua caliente sanitaria, A.C.S. en adelante, para un hospital mediante una instalación solar térmica a baja temperatura.

El dimensionado de dicha instalación será realizada mediante el empleo del programa informático CHEQ4, herramienta gratuita suministrada por el IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía).

Por último, señalar que la realización de este proyecto es con fines académicos: la de servir como Trabajo Fin de Grado de la titulación Grado en Ingeniería de Tecnologías industriales.

1.2. Descripción del edificio

El edificio afectado por el presente proyecto es una edificación ya existente. Se trata de un hospital comarcal situado en la localidad de Cabra, una ciudad situada al Sur de la provincia de Córdoba a 72 km. de la capital, y a una altitud de 452 metros sobre el nivel del mar. Es un hospital general de especialidades y de tercer nivel. Su construcción finalizó en el año 1980, siendo oficialmente inaugurado en 1982 y cubre el Área Hospitalaria Sur de Córdoba.

El hospital consta de 236 camas repartidas entre 7 plantas. Este número de camas será el dato a considerar en el diseño de la instalación.

1.3. Descripción del uso de CHEQ4

Este proyecto aborda la simulación por ordenador del funcionamiento de la instalación proyectada. Esta simulación será realizada mediante la herramienta informática CHEQ4. Es una herramienta de ayuda que ofrece el IDAE para comprobar el correcto dimensionamiento de las instalaciones solares térmicas a baja temperatura. Esta permite validar el cumplimiento de la contribución solar mínima exigida en la sección HE4 del Código Técnico de la Edificación (CTE).

La metodología de cálculo empleada por CHEQ4 es Metasol, que combina la precisión y flexibilidad de la simulación dinámica de programas como TRANSOL y la rapidez y simplicidad de métodos estáticos como F-Chart, manteniendo presente las características del mercado español y la normativa aplicable. Gracias a CHEQ4 será posible analizar el comportamiento de la instalación con respecto a la contribución solar así como contrastar la elección de los parámetros que caracterizan dicha instalación. CHEQ4 incorpora todas las bases de datos necesarias para generar un informe justificativo de los resultados obtenidos de forma rápida y sencilla.

1.4. Descripción de la instalación

1.4.1. Esquema de principio

Se trata de una instalación solar acoplada sobre una instalación convencional de agua caliente sanitaria ya existente en el edificio.

El sistema de preparación de A.C.S. está formado por dos subsistemas: el solar y el auxiliar. El presente proyecto se centra en el desarrollo, análisis y diseño del sistema solar ya que el sistema convencional existente se adecuará para servir de sistema auxiliar de apoyo en situaciones en las que el sistema solar no cubra la demanda energética.

Los componentes más importantes de los que consta el subsistema solar son los siguientes:

- Sistema de captación.
- Sistema de intercambio.
- Sistema de acumulación.
- Sistema de transporte.
- Sistema de control.

En cuanto al subsistema auxiliar, los componentes más importantes son:

- Sistema de generación.
- Sistema de intercambio.
- Sistema de acumulación.
- Sistema de transporte.
- Sistema de control.

En la figura 1.1 se muestra el esquema de principio de la instalación.

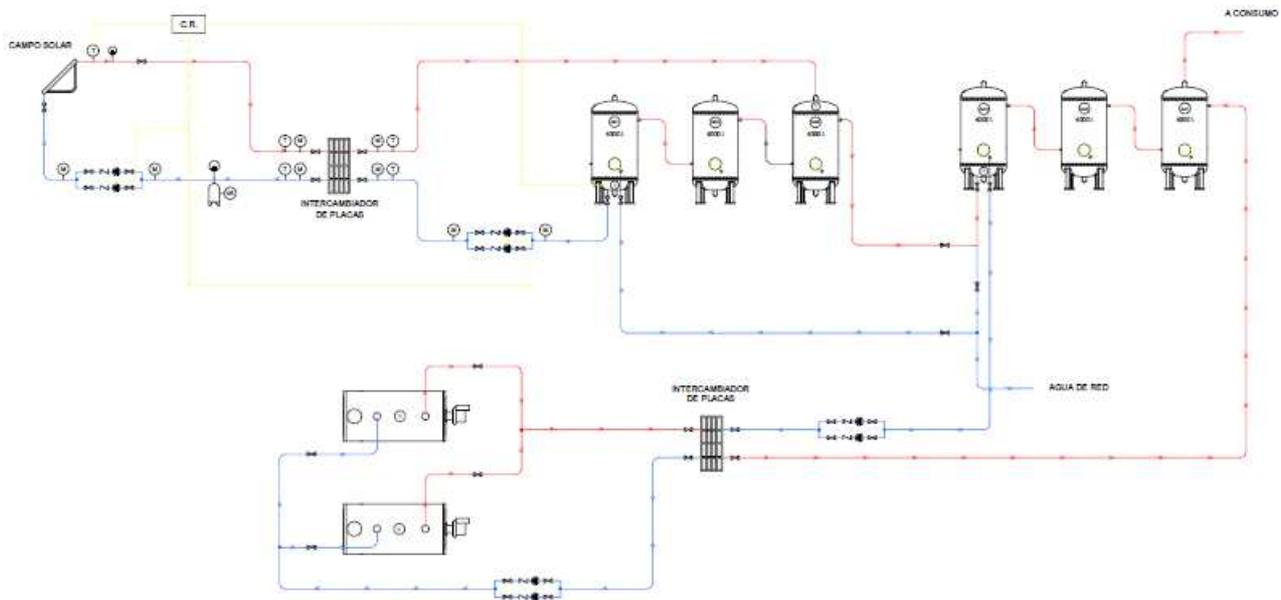


Figura 1.1

1.4.2. Captación solar

El sistema de captación solar es la parte de la instalación encargada de captar la energía proveniente del sol y transmitirla al fluido caloportador. Es el componente más importante de una instalación de energía solar térmica y es el elemento diferenciador con respecto a una instalación convencional de producción de calor.

El sistema de captación solar está basado en el principio del efecto invernadero que consiste en que la radiación solar, de longitud de onda corta, atraviesa la cubierta transparente e incide sobre el absorbedor aumentando su temperatura. De esta forma el absorbedor al calentarse emite radiación de onda larga (IR) la cual queda retenida por la cubierta que es opaca a este tipo de radiación. De esta forma se produce una acumulación de calor que se transfiere al fluido caloportador.

El sistema de captación solar está formado por 100 captadores solares planos lo que supone un área de captación de 192 m². Dichos captadores, conectados en agrupación serie-paralelo con 2 captadores en serie, absorberán la radiación solar que incide sobre su superficie transformándola en energía térmica y transfiriéndola al fluido que circula por el interior de estos, elevando progresivamente su temperatura.

Los captadores están situados en la cubierta de la planta séptima ya que constituye el lugar donde se tiene una mayor radiación solar, debido a que no hay sombras producidas por edificios circundantes, y se encuentran en zonas no accesibles por el público. Están orientados hacia el sur geográfico con una desorientación de 24° hacia el oeste debido a la propia orientación del edificio e inclinados 37 ° sobre la horizontal.

1.4.3. Intercambio de calor

Una vez que el fluido ha circulado por el campo de captadores y ha incrementado su temperatura, se hará circular por dos intercambiadores de calor de placas, dando

lugar al circuito solar primario. Este fluido transfiere su energía al agua del circuito secundario.

Por lo tanto se observa que la instalación es indirecta, es decir, que el fluido que circula por los captadores no es el agua destinada a consumo. Independizar el primario y el secundario permite utilizar como fluido de trabajo en el primario agua con anticongelante que protege a la instalación frente a heladas.

Otra ventaja de este tipo de instalación es que se evita el contacto directo del agua sanitaria de consumo con los captadores, disminuyendo el riesgo de corrosión en el circuito primario.

1.4.4. Acumulación solar

Una vez que el agua del circuito secundario sale del intercambiador se irá almacenando en el sistema de acumulación solar. La utilización de acumuladores en este tipo de instalaciones es imprescindible debido a la no simultaneidad entre generación de agua caliente sanitaria y demanda.

El sistema de acumulación solar está formado por tres depósitos de 4000 l cada uno, conectados en serie entre sí con lo que la instalación cuenta con 12000 l de acumulación. Los depósitos están situados, en posición vertical, en la sala de máquinas del hospital, ubicada en un edificio de una planta anexo al edificio principal en la planta baja.

La eficiencia de una instalación solar aumenta al hacerlo la estratificación de temperaturas en los acumuladores debido a que el agua de la parte superior es la que va primero hacia el consumo consiguiéndose por tanto transvasar el agua a mayor temperatura y retardar, en su caso, la activación del sistema auxiliar. Además, el agua almacenada en la parte inferior, que está a menor temperatura, es la que va desde el acumulador hasta el intercambiador, por lo que el fluido caloportador del subsistema primario solar que va hacia los captadores también está a menor temperatura. Por lo tanto la temperatura de entrada a los captadores es más baja y el rendimiento de estos aumenta.

Por todo lo anterior se ha elegido conectar los acumuladores en serie.

1.4.5. Sistema auxiliar

La instalación contará con un sistema auxiliar de apoyo cuyo funcionamiento está previsto en situaciones de baja o nula radiación solar, en el caso de que la demanda sea superior a la de diseño o en caso de mantenimiento o reparación de la instalación solar.

Como ya se ha mencionado, el sistema auxiliar consiste en aprovechar el sistema convencional ya existente en el hospital formado por dos circuitos, primario y secundario. El primario formado por dos calderas de 3788 kW cada una que abastecen al edificio de A.C.S. y de agua para calefacción. El secundario está formado por tres depósitos de acumulación de agua caliente sanitaria la cual está destinada a consumo.

La conexión entre el sistema solar y el sistema auxiliar se hace mediante una serie de válvulas como se muestra en la figura 1.2. Cuando funciona el campo solar las

válvulas 1 y 3 se mantienen abiertas mientras 2 permanece cerrada. Cuando hay averías en el sistema solar o la radiación es nula, se abre la válvula 2 y se cierran 1 y 3 funcionando el sistema como una instalación convencional.

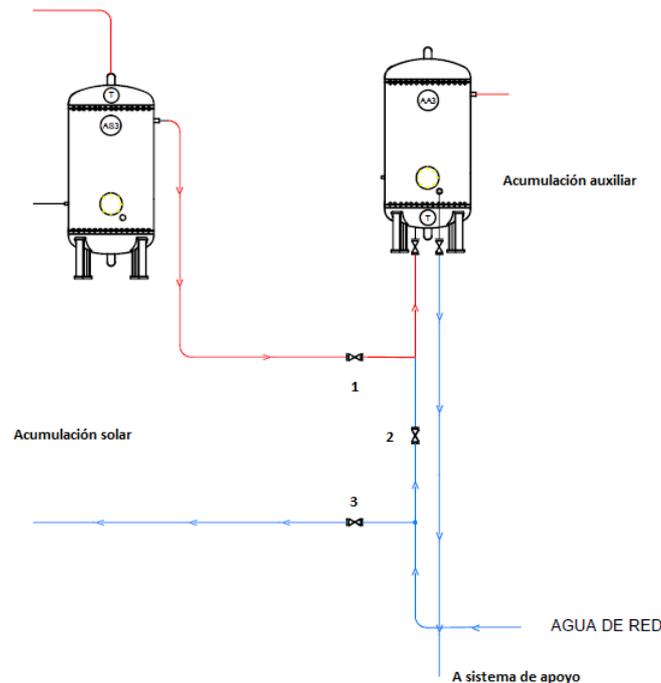


Figura 1.2

1.4.6. Transporte

Las conducciones a través de toda la instalación están formadas por tuberías de cobre con aislamiento de fibra de vidrio (conductividad $0,040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 40 mm de espesor para las situadas en el exterior y de 30 mm de espesor para las situadas en el interior.

Se emplea el cobre ya que es un material ampliamente utilizado en instalaciones de todo tipo, y el más aconsejable para instalaciones de energía solar, por ser técnicamente idóneo y económicamente competitivo. Se evitan los materiales como aceros galvanizados para este tipo de aplicaciones, en particular cuando existe certeza de que la instalación va a estar sometida a temperaturas mayores de $65 \text{ }^\circ\text{C}$.

Para el sistema solar primario el caudal de diseño será de 394 l/h por captador, o lo que es lo mismo, $205 \text{ l/h}\cdot\text{m}^2$. Así, el caudal de entrada en el campo de colectores será de 19680 l/h (al estar conexiados en agrupación serie-paralelo con 2 captadores en serie), que será suministrado por un grupo de bombeo, formado por dos bombas en paralelo funcionando alternativamente, venciendo la pérdida de carga del circuito de $48,72 \text{ m.c.a.}$

Para el sistema solar secundario el caudal de diseño es de 10536 l/h , impulsado por otro grupo de bombeo, formado por dos bombas, que vence una altura manométrica de $1,73 \text{ m.c.a.}$

Las bombas se colocarán en las zonas más frías del circuito, tubería de retorno a captadores en circuito primario y en la entrada al intercambiador en el circuito secundario, teniendo en cuenta que no se produzca cavitación.

Los grupos de bombeo constan de dos bombas, dispuestas en paralelo, dejando una de reserva. Esta disposición garantiza la continuidad de funcionamiento aún cuando se dieran averías en una de las dos bombas.

Los grupos de bombas se aíslan hidráulicamente mediante válvulas de corte, a fin de poder efectuar operaciones de mantenimiento o reparación. También se instalarán válvulas de retención para evitar la circulación en sentido inverso.

El fluido que circula por el subsistema solar primario es un termoconductor con base de propilenglicol al 30 %. Este fluido tiene gran durabilidad, evita la formación de depósitos, aumenta la capacidad de transferencia térmica en el circuito y confiere protección frente a heladas de hasta -13 °C, más que suficiente en la localidad donde se va a instalar el sistema solar según el historial de datos climatológicos del municipio.

El fluido que circula por el circuito solar secundario es agua potable procedente de la red de agua.

Si en el interior de los circuitos cerrados existe aire, se pueden reducir las características termoconductoras de los fluidos caloportadores. Si no se elimina el aire se puede ir acumulando en los puntos altos de los circuitos y reducir o incluso anular el caudal de circulación. Por lo tanto en los puntos altos de la instalación en los que se pueda almacenar el aire habrá que instalar un sistema de purga de aire.

Se instalarán dos purgadores por batería de captadores, uno a la salida de cada fila. Se dispondrá también de un purgador a la salida del campo de captadores y otro en el vaso de expansión.

1.4.7. Sistema de control

La instalación solar está controlada automáticamente por equipos de control que controlan los diferentes elementos de la instalación, siendo los de mayor importancia los ligados al funcionamiento de las bombas de circulación.

El control que existe sobre el conjunto de captadores solares es efectuado a través de un termostato diferencial. Este se encarga de gobernar las bombas del circuito solar primario en función de la diferencia de temperatura que existe a la salida de agua caliente del campo de captadores y la parte inferior del primer acumulador solar. Los valores de arrancada y parada de este diferencial serán constantes e iguales a los siguientes valores:

- Valor mínimo de diferencia de temperatura para arrancar la bomba: 7°C.
- Valor máximo de diferencia de temperatura para parar la bomba: 3°C.

El control del sistema solar tiene los siguientes objetivos:

- Evitar que el fluido caloportador circule por los captadores en horas sin radiación, ya que esto llevaría a una disminución de la energía acumulada en los depósitos.

- Evitar un excesivo número de arranques y paradas de las bombas, lo que llevaría a un aumento de consumo eléctrico y a una disminución de la vida útil de dichas bombas.

El control del grupo de bombeo del circuito secundario se ha diseñado para arrancar al mismo tiempo que el grupo de bombeo del circuito primario.

1.5. Descripción del sistema de expansión

Los sistemas cerrados de agua o soluciones acuosas deben estar equipados con un dispositivo de expansión de tipo cerrado. Este es el caso del circuito primario del sistema de captación solar.

La función del vaso de expansión es la de absorber las variaciones de volumen de fluido caloportador que se puedan producir en un circuito cerrado, en este caso se trata del circuito campo solar-intercambiador. Esta variación de volumen del fluido se produce al variar su temperatura. El vaso mantiene la presión entre los límites preestablecidos e impide pérdidas y reposiciones de masa de fluido.

El valor mínimo de la presión del vaso de expansión se fija teniendo en cuenta lo siguiente:

- Mantener en el punto más elevado del sistema una presión superior a la atmosférica, para evitar entradas de aire y favorecer su salida en los puntos de purga de aire.
- Evitar la posible formación de vapor de agua en los puntos más calientes de la red.
- Eliminar la posibilidad de fenómenos de cavitación en la aspiración de la bomba.

Se ha elegido una presión mínima de trabajo de 1,5 bar.

El valor máximo de la presión, producido por la expansión del fluido cuando alcanza la temperatura más elevada estará limitado a un valor inferior a la presión máxima de trabajo del circuito, 5 bar.

El exceso de volumen de fluido en el circuito, resultado del aumento de temperatura del valor mínimo al máximo, debe ser almacenado en su totalidad en el depósito de expansión. Cuando la temperatura disminuya, el fluido almacenado será restituido, total o parcialmente, al circuito. Si no se almacenara el exceso de volumen en su totalidad durante la expansión, la renovación periódica del circuito conduciría a un aumento de la concentración de oxígeno y sales.

1.6. Descripción de la sala de máquinas

La sala de máquinas o central térmica es el local donde se produce la energía térmica necesaria para abastecer de agua caliente a todo el edificio, tanto para consumo como para calefacción. Para ello cuenta con dos calderas de agua caliente de 3788 kW cada una utilizando gasóleo para la combustión, llevando el agua hasta la temperatura de acumulación. Cuenta también con tres depósitos de acumulación de A.C.S. de 4000 litros de capacidad que reciben el agua caliente de dos intercambiadores de calor que a

su vez lo reciben de las calderas, y que sirven para mantener el volumen de 12000 litros de agua caliente a unos 60 °C, cumpliendo con la normativa antilegionela existente. El reparto de agua caliente a los diferentes puntos de consumo se produce por medio del sistema de distribución, compuesto por bombas de distribución y la red de tuberías de distribución.

El sistema de producción y acumulación de A.C.S. actual se verá complementado por el sistema de generación de agua caliente por medio del campo solar que se instalará en el Hospital. Se deberán realizar pequeñas modificaciones en las interconexiones de los subsistemas para adaptar la instalación existente al nuevo esquema de principio que regirá la producción de A.C.S. en el Centro Hospitalario. Por otro lado, el sistema de distribución se mantiene sin sufrir modificaciones debidas a la instalación de los nuevos equipos.

Los nuevos equipos a instalar en la central térmica son los correspondientes al circuito solar: los tres acumuladores solares, los intercambiadores para transferir el calor desde el campo de captadores solares hasta el circuito de acumulación, el vaso de expansión y dos grupos de bombeo, uno para el circuito primario y otro para el circuito secundario.

1.7. Características técnicas de los equipos

1.7.1. Captadores solares

Los captadores de placa plana escogidos para la instalación son de la marca BaxiRoca, modelo PS 2.0 y sus características son las siguientes:

- Conjunto absorbedor:
 - Placa absorbedora de aluminio con tratamiento superficial selectivo por bombardeo catódico (sputtering) de alto coeficiente de absorción.
 - Parrilla de tubos compuesta por 2 tubos de cobre colector de 22 mm y 12 tubos de cobre verticales de 8 mm unida a la placa absorbedora mediante soldadura laser.
 - Volumen del fluido contenido: 1,5 litros.
- Cubierta: Vidrio templado de 4mm de espesor con bajo contenido en hierro, que debido a su construcción prismática, permite captar la radiación solar desde diversos ángulos de procedencia.
- Caja contenedora: Carcasa de aluminio anodizado natural fuertemente aislada.
- Dimensiones totales: 1170 x 1730 x 84 mm.
- Superficie útil de captación: 1,92 m².
- Peso del captador en vacío: 37,1 kg.
- Presión máxima de trabajo: 10 bar.
- Rendimiento óptico: 76%.

- Coeficiente de pérdidas k1: 3,191.
- Coeficiente de pérdidas k2: 0,025.
- Curva de rendimiento: $\eta = 0,760 - 3,191 T - 0,025 G T^2$ $T = \frac{T_m - T_a}{G}$
 - T_m = Temperatura media colector (°C)
 - T_a = Temperatura ambiente (°C)
 - G = Radiación solar (1000 W/m²)
- Curva de pérdida de carga: $\Delta p = 0,005 x + 1,187 \cdot 10^{-5} x^2$ x = caudal (kg/h)

El fabricante suministra los captadores montados en baterías de 10 captadores con juegos de acoplamiento entre ellos, la estructura soporte necesaria y dos purgadores de aire por batería.

1.7.2. Acumuladores solares

Los acumuladores solares escogidos para la instalación son tres depósitos de 4000 l de capacidad cada uno, marca Fagor y modelo ASF-4000, conectados en serie, con una capacidad total de 12000 l. Fabricados en acero con revestimiento epoxídico de calidad alimentaria. Aislado térmicamente mediante espuma rígida de poliuretano inyectado en molde libre de CFC. Se suministra de serie protección catódica permanente. Dispone de las conexiones necesarias para la producción de A.C.S. a través de un intercambiador de placas y/o resistencias eléctricas de calentamiento.

En la figura 1.3 se muestra un esquema del acumulador:

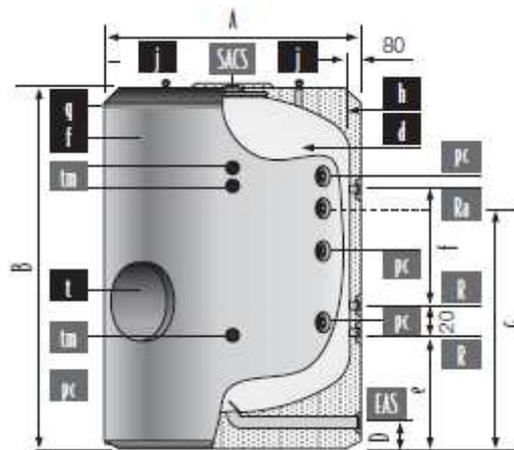


Figura 1.3

- Componentes
 - d: Depósito acumulador de A.C.S.
 - f: Forro externo (opcional).
 - g: Cubierta superior (opcional).
 - h: Aislamiento térmico.
 - j: Cáncamos desmontables para transporte.
 - t: Boca de hombre lateral DN400.

EAS: Entrada agua fría/desagüe: 76,2 mm.

SACS: Salida agua caliente: 76,2 mm.

R: Conexión resistencia eléctrica.

tm: Conexión sensores laterales.

pc: Protección catódica.

Ra: Conexión resistencia de apoyo.

- Dimensiones:

Cota A: Diámetro exterior: 1910 mm.

Cota B: Longitud total: 2310 mm.

Cota d: 200 mm.

- Presión máx. depósito: 8 bar.
- Peso en vacío: 880 kg.

1.7.3. Intercambiadores de calor

El presente proyecto contempla la instalación de dos intercambiadores de placas conectados en paralelo, marca Suicalsa modelo IP3601B15NX08, cuyas principales características técnicas son las siguientes:

- Número de placas: 15
- Caudal primario: 10535 l/h
- Caudal secundario: 5268 l/h
- Salto térmico en primario: 90 - 70 °C
- Salto térmico en secundario: 15 – 55 °C
- Pérdida de carga en primario: 3,05 m.c.a.
- Pérdida de carga en secundario: 1,07 m.c.a.
- Área de intercambio: 1,625 m²
- Potencia de intercambio: 245 kW

En la figura 1.4 se muestra un esquema del intercambiador.

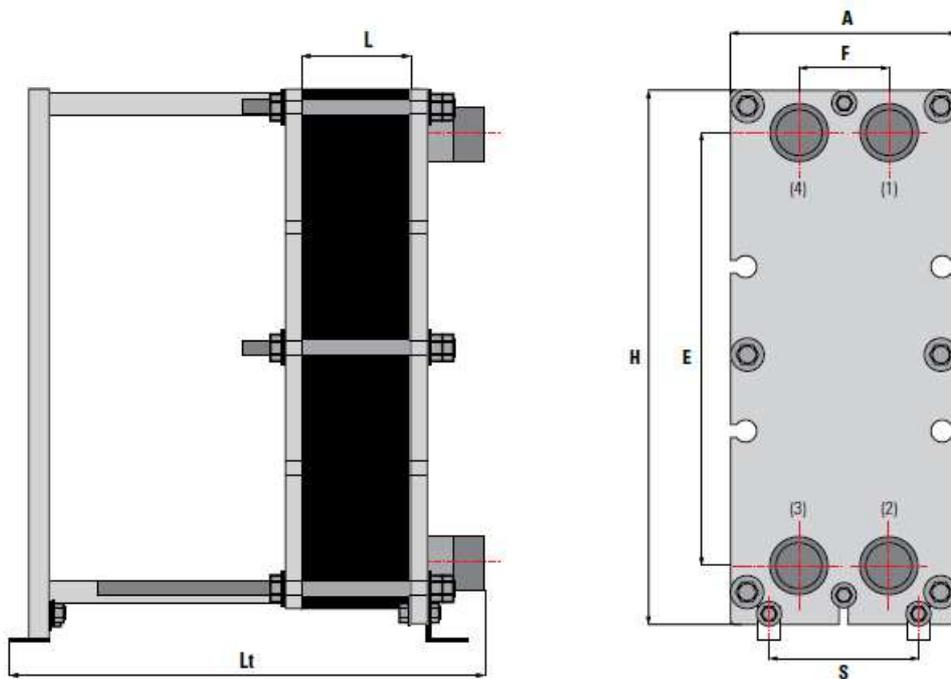


Figura 1.4

- 1: Entrada primario.
 - 2: Salida primario.
 - 3: Entrada secundario.
 - 4: Salida secundario
- Dimensiones:

H: 745 mm.
E: 603 mm.
A: 310 mm.
F: 124 mm.
S: 210 mm.
L: 49,5 mm.
Lt: 630 mm.

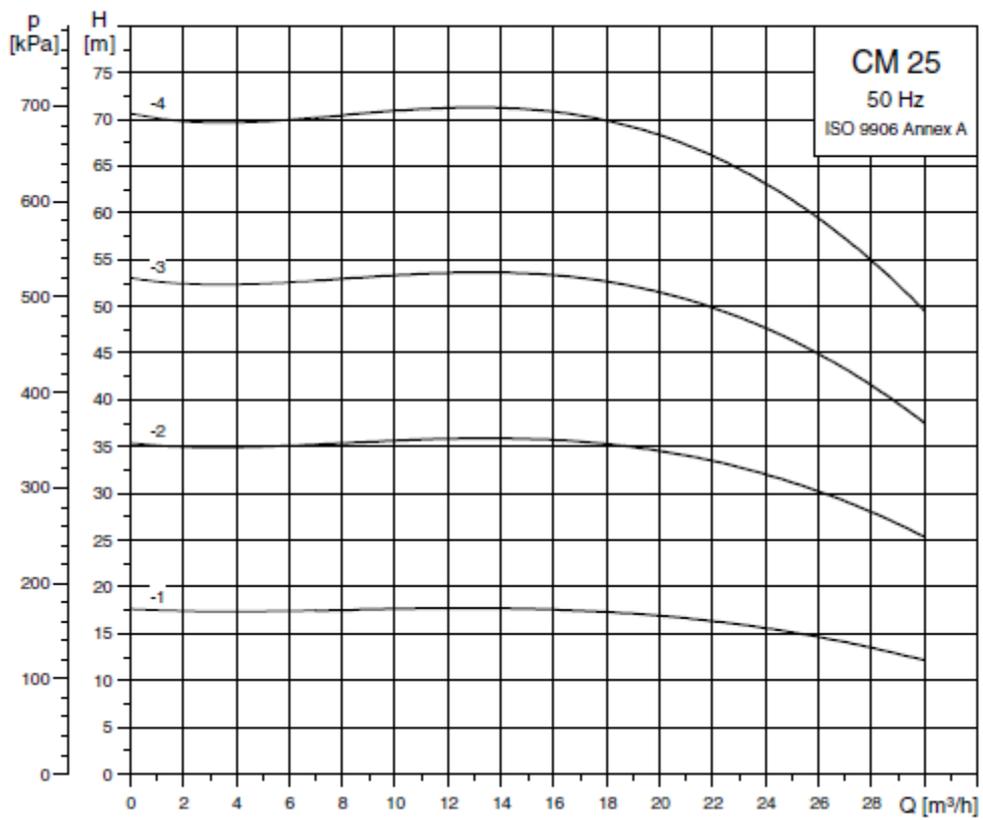
1.7.4. Bombas del circuito solar

Para el circuito solar primario se han elegido dos bombas marca Grundfos modelo CM 25-2 con las siguientes características técnicas:

- Caudal de diseño: 19,68 m³/h
- Altura de diseño: 48,72 m.c.a.
- Descripción: bomba modular centrífuga
- Número de impulsores: 2
- Material: Fundición, EN-GJL-200

- Tensión nominal: 3 x 220-240 V/380-415 V
- Potencia absorbida: 2,5 kW
- Peso neto: 39,5 kg
- Peso bruto: 42,0 kg

En la gráfica 1.1 se muestran las curvas altura-caudal y en la figura 1.5 un esquema de la bomba con las dimensiones.



Gráfica 1.1

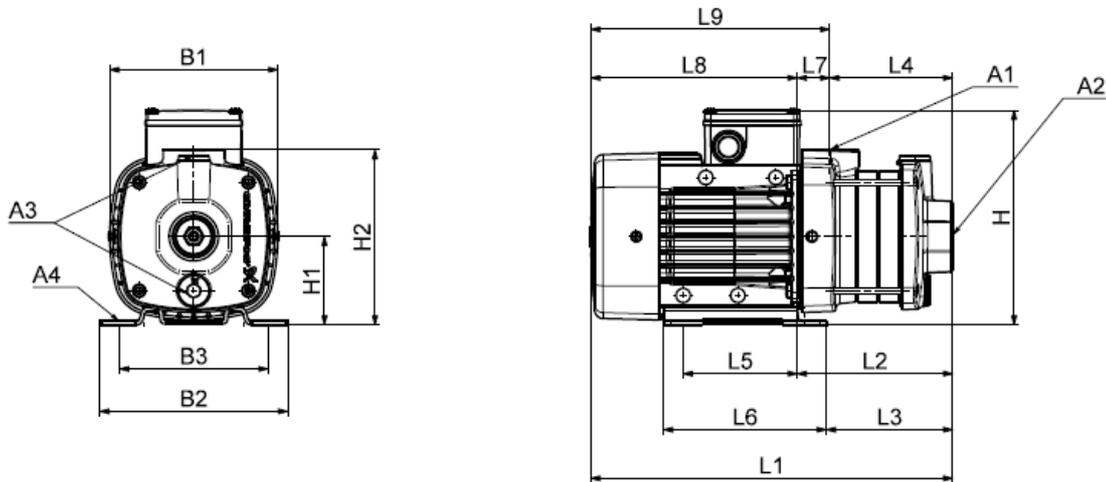


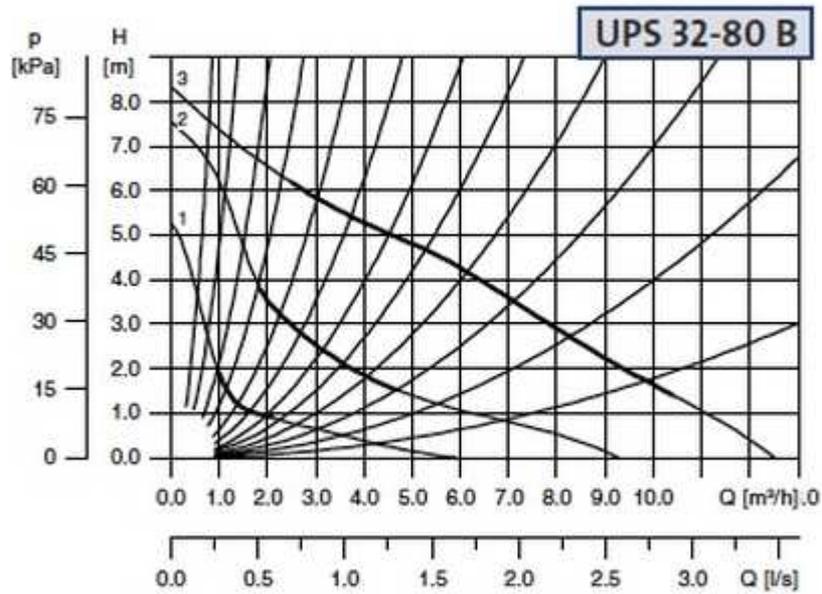
Figura 1.5

Dimensiones [mm]																		
A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	H	H1	H2	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
2"	2"	3/8"	10	198	199	160	220	100	245	477	205	190	97	140	170	108	272	380

Para el grupo de bombeo del secundario se han elegido dos bombas marca Grundfos modelo UPS 32-80 N con las siguientes características técnicas:

- Caudal de diseño: 10536 l/h
- Altura de diseño: 1,73 m.c.a.
- Temperatura del fluido: 2 – 110 °C
- Material: Acero inoxidable
- Tensión nominal: 1 x 230 V
- Potencia: 135 W

En la gráfica 1.2 se muestran las curvas altura-caudal y en la figura 1.6 un esquema de las bombas:



Gráfica 1.2

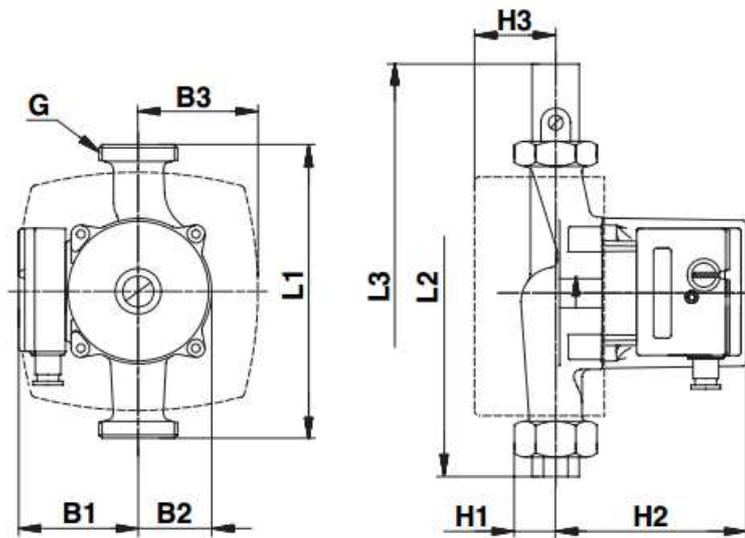


Figura 1.6

Modelo	Dimensiones									Peso		
	L1	L2	L3	H1	H2	H3	B1	B2	B3	G	neto	bruto
UPS 32-80	180	244	302	39	130	57	82	60	77	2"	4,8	5,1

1.7.5. Vaso de expansión

Se proyecta instalar un vaso de expansión en el circuito solar primario para absorber las variaciones de volumen de fluido caloportador que se puedan producir en el circuito cerrado, marca Roca modelo Vasoflex/S para A.C.S. de 25 litros. Sus características son las siguientes:

- Depósito cerrado de acero de alta calidad, pintado exteriormente y provisto de membrana elástica especial.
- Cámara de gas conteniendo nitrógeno a presión.
- Capacidad: 25 litros.
- Peso: 7,6 kg.
- Presión máxima de trabajo: 8 bar.

En la figura 1.7 aparece un esquema del equipo:

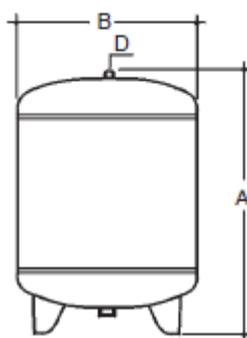


Figura 1.7

Dimensiones:

A: 385 mm.

B: Ø 358 mm.

D (orificio de conexión): Ø 3/4"

1.8. Cumplimiento de la normativa

1.8.1. Cumplimiento del CTE-HE 4

1.8.1.1. Cumplimiento de la contribución solar mínima (Apartado 2.2.1)

La localidad de Cabra está englobada, según el CTE-HE4 en la zona climática V, por lo tanto la instalación debe cumplir una fracción solar mínima del 70%. Según el diseño de la instalación objeto del presente proyecto, la cobertura solar es del 71% por lo que cumple la exigencia de la contribución solar mínima.

1.8.1.2. Cumplimiento del exceso de contribución solar (Apartado 2.2.2)

Según el diseño de la instalación, ningún mes del año se supera una fracción solar del 110%. Además, no se supera el 100% de la contribución solar en más de tres meses consecutivos. Por lo tanto no es necesario tomar medidas para evitar sobrecalentamientos ni la instalación de equipos para evacuar el excedente de energía.

1.8.1.3. Cumplimiento del límite de pérdidas (Apartado 2.2.3)

El campo solar de la presente instalación tiene una disposición de los captadores de tipo general, por lo que no debe exceder el 10% de pérdidas por orientación e inclinación, un 10% de pérdidas por sombras, y un 15% de pérdidas totales.

En la figura 1.8 se muestra un gráfico del porcentaje de aprovechamiento solar de una instalación debido a la orientación e inclinación de los captadores solares. El campo solar de la instalación objeto de este proyecto se ha diseñado con una orientación de 24° oeste y una inclinación de 37° con respecto a la horizontal. Situando ese punto en el gráfico de la figura 1.6 (punto rojo) se puede observar que se tiene un aprovechamiento solar mínimo del 95% con respecto a orientación sur e inclinación óptima, o lo que es lo mismo, un máximo de un 5% de pérdidas por orientación e inclinación.

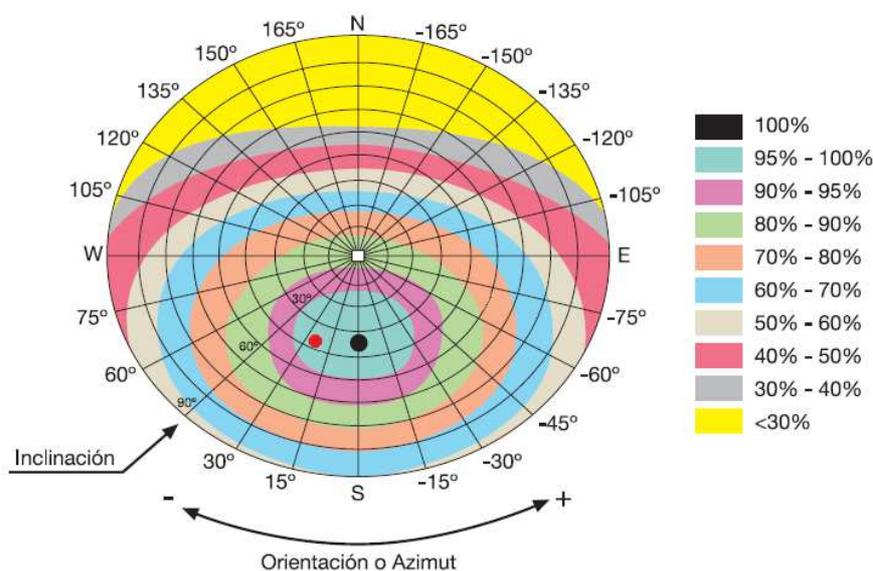


Figura 1.8

Debido a que todos los edificios que rodean al hospital tienen menor altura que la cubierta donde está situado el campo de captación, no se producen sombras en los captadores y por consecuencia no se producen pérdidas por sombras.

Por lo tanto el total de pérdidas es de un 5%, inferior a los límites establecidos por el CTE.

1.8.2. Cumplimiento del RITE

1.8.2.1. Cumplimiento de la IT 1.1.4.3.1. "Preparación de agua caliente para usos sanitarios"

El agua caliente para usos sanitarios se preparará a la temperatura mínima que resulte compatible con su uso considerando las pérdidas en la red de distribución.

Al tratarse de un edificio sanitario público, se ha tenido en cuenta los criterios de la "Guía para la prevención y control de la legionelosis en instalaciones térmicas" del Ministerio de Sanidad.

De esta forma la temperatura de almacenamiento final del agua caliente no se situará nunca por debajo de los 60°C para evitar la proliferación de la bacteria.

Además, el sistema de calentamiento de la instalación, ya sea únicamente el sistema solar o ayudándose con el auxiliar, será capaz de llevar la temperatura del agua hasta los 70°C de forma periódica para su desinfección.

1.8.2.2. Cumplimiento de la IT 1.2.4.2.1. "Aislamiento térmico"

Todas las tuberías, accesorios y equipos de la instalación estarán aislados térmicamente. Así se evitan consumos energéticos superfluos y los fluidos caloportadores llegan a las unidades terminales con una temperatura próxima a la de salida de producción.

Los espesores de los aislamientos, que aparecen calculados en el apartado 2.2.3. del presente proyecto, cumplen las especificaciones establecidas en el RITE.

Para evitar la congelación del agua en tuberías expuestas a temperaturas menores que la de su punto de fusión se recurre al empleo de una mezcla de agua con anticongelante.

1.8.2.3. Cumplimiento de la IT 1.3.4.4.5. "Medición"

La instalación dispone de la instrumentación de medida suficiente para la supervisión de las magnitudes que intervienen de forma fundamental en el funcionamiento de la misma: presión y temperatura. Esta instrumentación se basa en termómetros, termostatos y manómetros.

Los instrumentos de medida se sitúan en lugares visibles y fácilmente medibles para su lectura.

Los sensores de temperatura en el circuito de agua penetran en el interior de la tubería a través de una vaina de una sustancia conductora del calor.

Los instrumentos de medición de los que consta la instalación son los siguientes:

- Un manómetro en el vaso de expansión cerrado, situado en el circuito primario del sistema solar.
- Un manómetro en la aspiración y otro en la descarga de las bombas, para una lectura diferencial de la presión.
- Termómetros y manómetros a la entrada y la salida del intercambiador de calor.
- Termómetros en la salida de acumulación solar y en la entrada de los depósitos de agua caliente sanitaria.

1.8.2.4. Cumplimiento de la IT 2.3.3. “Sistemas de distribución de agua”

Los diferentes ramales del subsistema solar primario están conectados de forma que el circuito queda equilibrado hidráulicamente con retorno invertido.

Las tuberías estarán situadas en lugares donde sean accesibles a lo largo de su recorrido facilitando su inspección, sobre todo en los tramos principales y de sus accesorios.

1.8.2.5. Cumplimiento de la IT 2.3.4. “Control automático”

Los sistemas de control del sistema solar aparecen descritos en el apartado 1.4.6. del presente documento, los cuales cumplen con los requisitos exigibles por la norma: control y limitación de la temperatura.

1.9. Referencias

Referencias bibliográficas:

- IDAE (Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía). “*Reglamento de instalaciones térmicas en edificios*”. 2013.
- Código técnico de la edificación, sección HE 4 (CTE-HE4) “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”. 2013.
- IDAE (Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía). “*Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura*”. 2009.
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. “*Guía técnica para la Prevención y Control de la Legionelosis en instalaciones*”. 2003.
- Aenor. “*Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión (UNE 100155)*”. 2004.
- Otros proyectos de contenido relacionado.

Referencias Webs:

- www.idae.es
- www.msssi.gob.es
- www.agenciaandaluzadelaenergía.es
- www.baxi.es
- www.solarkimex.com
- www.gersal.com

2. Memoria de cálculo

2.1. Datos de partida

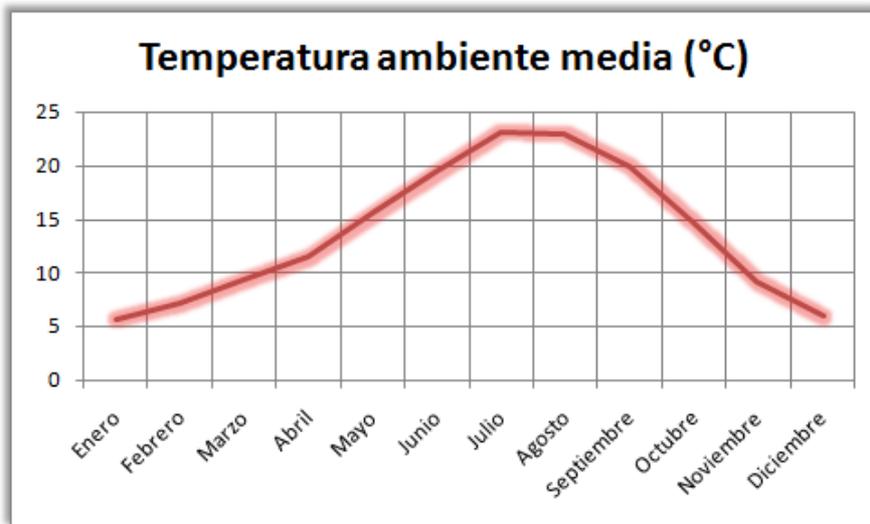
2.1.1. Datos geográficos

La instalación objeto de este proyecto se sitúa en el Hospital del Sur, en la localidad de Cabra situada al sur de la provincia de Córdoba. Sus coordenadas geográficas son 37° 28' 6,6" N 4° 25' 29,3" W. Tiene una altitud media de 452 m sobre el nivel del mar, aunque el Hospital está situado en la parte más alta del municipio. Además, la base de datos del programa CHEQ4 da el dato de una altitud de 504 m sobre el nivel del mar, por lo que se elegirá esta como dato de partida.

2.1.2. Datos climáticos

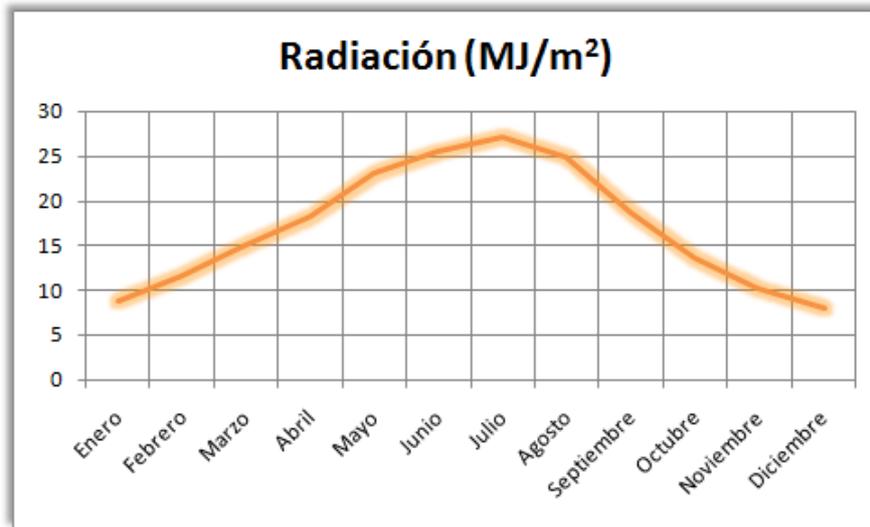
Los datos climáticos que se usarán para el cálculo y dimensionado de la instalación son los aportados por la base de datos de CHEQ4, para la localidad de Cabra.

Las temperaturas ambiente medias mensuales a lo largo de un año aparecen recogidas en la gráfica 2.1:



Gráfica 2.2.1

La radiación solar en MJ/m² mensual a lo largo de un año aparece recogida en la gráfica 2.2:

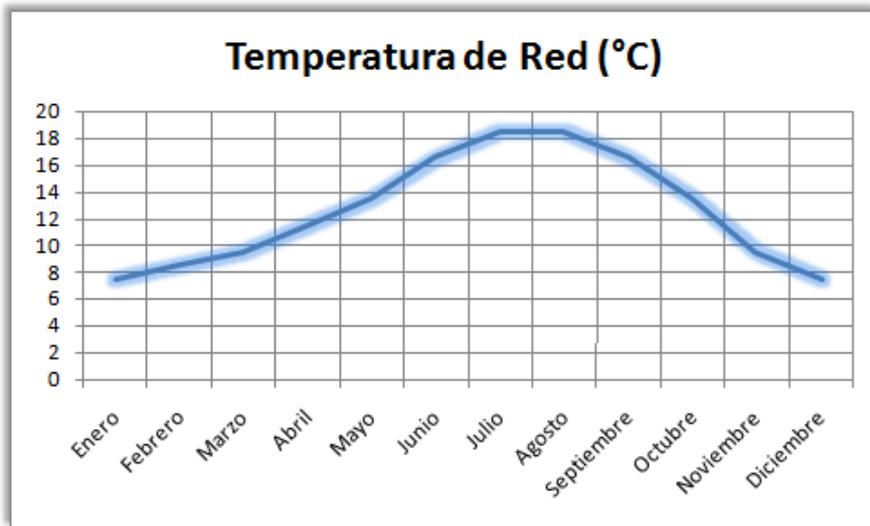


Gráfica 2.1

Los datos de temperatura media mensual del agua fría procedente de la red de abastecimiento de la localidad son tomados de la base de datos de CHEQ4 y se representan en la tabla 2.1 y en la gráfica 2.3:

MES	TªRed (°C)
Enero	7,5
Febrero	8,5
Marzo	9,5
Abril	11,5
Mayo	13,5
Junio	16,5
Julio	18,5
Agosto	18,5
Septiembre	16,5
Octubre	13,5
Noviembre	9,5
Diciembre	7,5
Promedio	12,6

Tabla 2.1



Gráfica 2.3

2.1.3. Datos de consumo de A.C.S.

Los criterios que se han seguido para la estimación del consumo de agua caliente sanitaria se toman del CTE-HE 4. Éste estima, para hospitales y clínicas, un consumo de 55 l/persona·día. En un hospital se estima por el número de camas, en este caso 236 camas. Por lo que el consumo diario máximo de A.C.S. será de:

$$55 \text{ l/cama} \cdot \text{día} \cdot 236 \text{ camas} = 12980 \text{ l/día}$$

La temperatura de referencia también se tomará del CTE-HE 4, siendo de 60 °C.

2.2. Dimensionamiento

2.2.1. Sistema de captación de energía solar

2.2.1.1. Análisis paramétrico previo

Previo al cálculo y dimensionado de los componentes de la instalación de producción de A.C.S. se realiza un estudio de la influencia de los principales parámetros que caracterizan el sistema de energía térmica de baja temperatura en el comportamiento de este. El estudio paramétrico será realizado mediante la herramienta informática CHEQ4.

Los parámetros evaluados son los siguientes:

- Superficie de captación.
- Volumen de acumulación en el circuito solar.
- Orientación del campo de captadores.
- Inclinación de los captadores.

- Conexión serie/paralelo de los captadores.

Los valores de partida de dichos parámetros son los siguientes:

- Superficie de captación: **192 m²**
- Relación volumen de acumulación – superficie de captación: **75 l/m²**
- Orientación del campo de captadores: **24° oeste**
- Inclinación de los captadores: **37°**
- Conexión de todos los captadores en paralelo, es decir, número de captadores en serie 1.

El parámetro usado para caracterizar el comportamiento de la instalación será la fracción de cobertura solar (f), definida como:

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

Siendo:

Q_{solar} : Potencia térmica aprovechada de la radiación solar a lo largo de un año de funcionamiento.

$Q_{consumida}$: Potencia térmica consumida a lo largo de un año de funcionamiento.

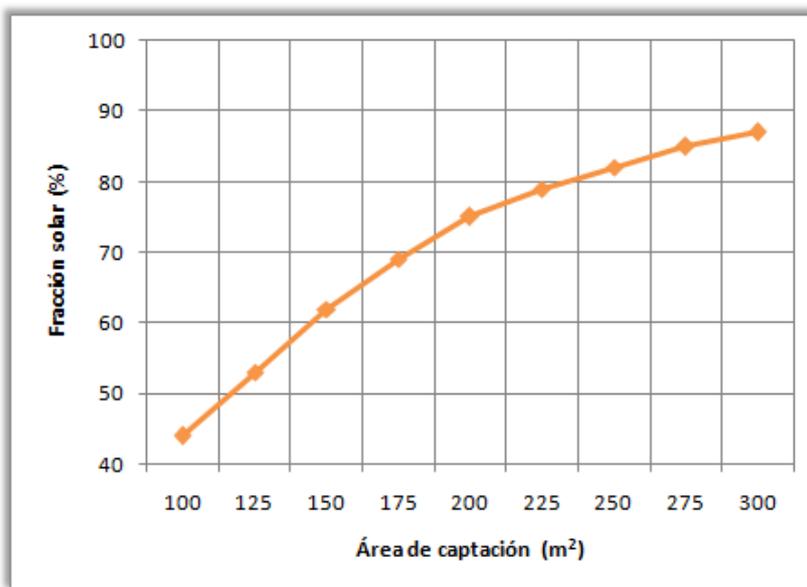
- **Superficie de captación**

El primer parámetro a estudiar es la superficie de captación solar. Se va variando dicho parámetro desde un valor de 100 m² hasta un valor de 300 m². Los demás parámetros se mantienen en su valor de partida. Se ha calculado el volumen de acumulación para las diferentes áreas de captación, atendiendo a la relación volumen/área de captación (75 l/hm²) y el número de captadores que corresponden a esa área, ya que son éstos los parámetros con los que trabaja el CHEQ4. Simulando se obtienen los valores de la tabla 2.2:

Área captación (m ²)	Volumen acumulación (litros)	Nº captadores	Fracción solar (%)
100	7500	52	44
125	9375	65	53
150	11250	78	62
175	13125	91	69
200	15000	104	75
225	16875	117	79
250	18750	130	82
275	20625	143	85
300	22500	156	87

Tabla 2.2

Representando gráficamente estos resultados numéricos se obtiene la siguiente gráfica (gráfica 2.4):



Gráfica 2.4

A la vista de esta gráfica se puede apreciar que el funcionamiento de la instalación depende en gran medida de la superficie de captación, y la fracción solar varía entre 44 y 87%. Se observa que la fracción de cobertura solar aumenta con la superficie de captación.

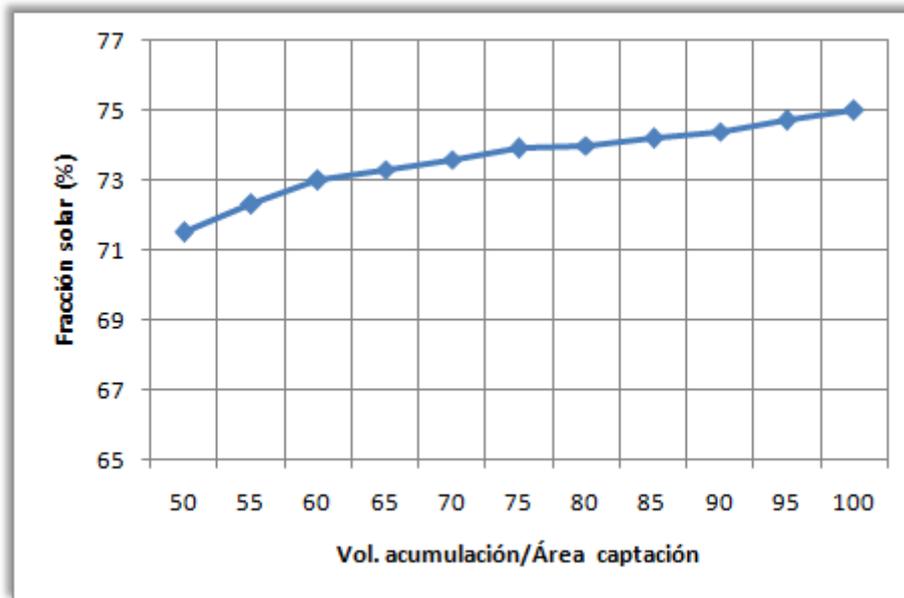
El valor de superficie de captación instalada será de 192 m², que equivalen a 100 captadores de los elegidos para la instalación y se corresponde con un valor de la fracción de cobertura solar del 73%.

- Relación volumen de acumulación – superficie de captación

El siguiente parámetro a estudiar es la relación V/A. Para su evaluación se mantienen todos los demás parámetros en sus valores iniciales, excepto el volumen de acumulación que se va variando manteniendo la superficie de captación. El Código Técnico de la Edificación HE4 obliga a una relación V/A comprendida entre 50 y 180 l/hm² por lo que se varía la relación desde 50 hasta 100 l/hm². En la tabla 2.3 y en la gráfica 2.5 se muestran los resultados de la simulación:

V/A	Volumen acumulación (l)	Fracción solar (%)
50	9600	71
55	10560	72
60	11520	73
65	12480	73
70	13440	73
75	14400	73
80	15360	74
85	16320	74
90	17280	74
95	18240	75
100	19200	75

Tabla 2.2



Gráfica 2.5

Como se aprecia, el volumen de acumulación solar no influye de una forma determinante en el funcionamiento de la instalación. Los valores de la fracción solar varían del 71 al 75%. Se ha escogido 12000 litros de acumulación que corresponden a una relación V/A de 65,2 l/hm², la cual entra dentro de los límites que impone el CTE, dando una fracción de demanda cubierta del 73%.

- **Orientación**

El estudio del parámetro de la orientación no se ha tenido en cuenta ya que la cubierta tiene una orientación de 24° sur-sudoeste e instalar los 100 captadores solo es posible si éstos están colocados de manera paralela a la cubierta, es decir con una orientación de 24° oeste.

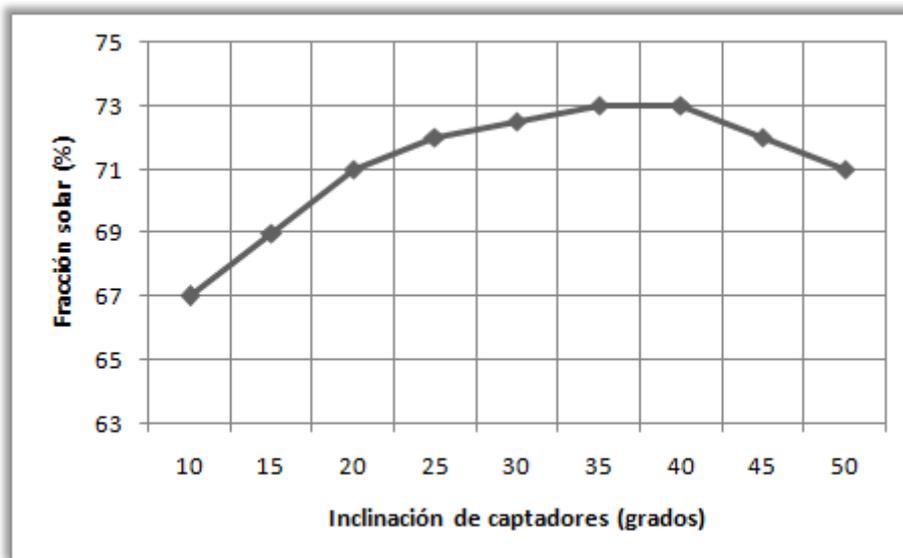
- **Inclinación**

El siguiente parámetro evaluado es la inclinación de los captadores, viendo el efecto de su variación desde los 10° a los 50° con la horizontal.

En la tabla 2.4 y gráfica 2.6 se muestran los resultados de esta simulación:

Inclinación (grados)	Fracción solar (%)
10	67
15	69
20	71
25	72
30	72
35	73
40	73
45	72
50	71

Tabla 2.3



Gráfica 2.6

La fracción solar varía entre 67% y el 73%. La inclinación escogida ha sido de 37° ya que es igual al valor de la latitud en el emplazamiento del edificio, y es la inclinación que se recomienda para una instalación que va a funcionar durante todo el año, sin

preferencias en invierno o verano. La fracción de demanda cubierta con 37° de inclinación es 73%.

- **Conexión serie-paralelo**

Por último se simula la instalación según el parámetro de conexionado de los captadores. Se simula la instalación para todos los captadores en paralelo, para 2 captadores en serie y para 3 captadores en serie dando los siguientes resultados de la tabla 2.5:

Captadores en paralelo	Fracción solar (%)
1	73
2	71
3	69

Tabla 2.4

Como se puede observar la fracción solar disminuye conforme se aumenta el número de captadores en paralelo debido a que el rendimiento de los captadores se reduce. Se elige instalar 2 captadores en serie con una fracción solar del 71%.

2.2.1.2. Superficie de captación

Como se ha explicado anteriormente se instalará un total de 100 captadores con un área total de 192 m². El hospital dispone de una cubierta de 600 m² útiles para la instalación del total de los captadores, como se muestra en los planos del presente proyecto. La colocación y disposición de los captadores solares hacen que estos 600 m² sean suficientes para instalar los 100 captadores necesarios.

2.2.1.3. Volumen de acumulación

Según el CTE HE4, es necesario que el volumen de acumulación cumpla la siguiente restricción:

$$50 < V/A < 180$$

Siendo V el volumen de acumulación solar y A el área total de captación. Se ha escogido una relación con valor de 65,2 l/hm² que corresponde a un volumen de acumulación de 12000 l, por lo que se proyecta la colocación de tres acumuladores verticales conectados en serie de 4000 l cada uno.

2.2.1.4. Disposición de captadores. Orientación, inclinación y cálculo de sombras.

El presente proyecto contempla la instalación de 100 captadores en la cubierta del Hospital, tal y como se muestra en los planos, montando en paralelo 10 baterías de 10 unidades cada una. Las filas son paralelas y están perfectamente alineadas. Dentro de cada batería 5 captadores en paralelo se conectan en serie a otros 5 captadores en paralelo.

La conexión entre captadores y filas se realiza de manera que el circuito quede equilibrado hidráulicamente, con retorno invertido. Los captadores disponen de cuatro manguitos de conexión que se conectan entre sí. En cada batería, la entrada del fluido caloportador se realiza por el extremo inferior del primer captador de la primera fila de 5, y se conecta la salida del último captador de la fila a la entrada de la segunda fila. El conexionado se explica con más detalle en el apartado planos.

Los captadores están orientados hacia el sur geográfico con una desorientación de 24° oeste debido a la propia orientación de la cubierta.

El ángulo de inclinación de los captadores es de 37°, ángulo igual a la latitud geográfica. Esta inclinación es la óptima según el CTE HE4 cuando la demanda es constante a lo largo del año.

La distancia de separación entre filas de captadores debe ser suficiente para que un obstáculo no proyecte sombras durante al menos 4 horas durante el día más desfavorable. Este día se escoge como el solsticio de invierno. En la figura 2.1 se muestra un esquema de dos filas de captadores solares:

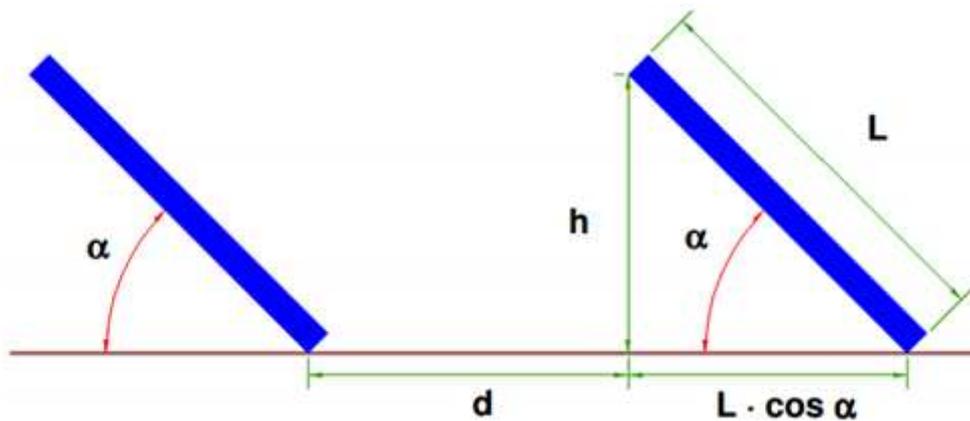


Figura 2.1

La distancia mínima entre dos hileras de captadores se puede calcular de la siguiente manera:

$$d = \frac{h}{\tan(90^\circ - 23,5^\circ - \text{latitud} - 6^\circ)}$$

El término de la tangente resta a 90° la inclinación del eje terrestre, la latitud del lugar y unos 6° que son los correspondientes a 4 horas solares.

La altura h se calcula de la siguiente manera:

$$h = L \cdot \text{sen}(\alpha)$$

En esta instalación, L corresponde a la suma de dos veces la medida del largo del captador, ya que están instalados de dicha forma, por lo que:

$$L=3,5 \text{ m}$$

$$\alpha=37^\circ$$

$$\text{Latitud}=37,47^\circ$$

La distancia mínima entre hileras de captadores debe ser de 4,83 m.

La cubierta dispone de un pretil de 1,10 m de altura. Por lo que la distancia de la primera fila de captadores a dicho pretil, análogamente al cálculo realizado anteriormente, debe ser de 2,53 m.

2.2.2. Sistema hidráulico

2.2.2.1. Conexión de captadores y trazado de tuberías

Como ya se indicó en el apartado 2.2.1.4, se instalarán 100 captadores en la cubierta, montando 10 baterías de 10 captadores cada una. Las filas son paralelas y están perfectamente alineadas. Dentro de cada batería se conectarán en agrupaciones serie-paralelo con 2 captadores en serie.

La conexión se realiza de manera que el circuito quede equilibrado hidráulicamente con retorno invertido. Los captadores disponen de cuatro manguitos de conexión que se conectan entre sí.

2.2.2.2. Cálculo de tuberías

El diámetro de las tuberías para los dos circuitos hidráulicos, primario y secundario solar, ha sido seleccionado de forma que las pérdidas máximas admisibles en las tuberías sean de 40 mm.c.a. por metro lineal de tubería cuando el líquido que circula es agua sin aditivos, como es el caso del circuito secundario. Si es una mezcla de agua y un anticongelante a base de glicol se multiplica el valor anterior por 1,3, es decir, 52 mm.c.a. por metro lineal de tubería, como es el caso del circuito primario.

Para el cálculo de las pérdidas de carga en las diferentes tuberías de la instalación se ha utilizado una hoja de cálculo suministrada por el Grupo de Termotecnia del departamento de Ingeniería Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla. Dicha hoja Excel calcula la pérdida de carga por metro de tubería lineal en función del material de la tubería, la temperatura del fluido, el diámetro de la tubería y el caudal.

Para la pérdida de carga en elementos como por ejemplo cambios de dirección, derivaciones, codos, etc; se considera una longitud equivalente dada por la tabla 2.6.

Longitudes equivalente para algunos accesorios en tuberías soldadas de cobre.

Díámetro nominal (")	Codo 90°	Curva 90°	Curva 45°	Codo doble 180°	Curva doble 180°	Tiñerama alineadas	Tiñerama derivada	Válvula esférica	Válvula de compuerta	Válvula en ángulo	Válvula de retención
1/4	0.07	0.07	0.04	0.07	0.07	0.05	0.17	2.13		0.68	0.33
3/8	0.12	0.12	0.06	0.12	0.12	0.08	0.28	3.53		1.12	0.55
1/2	0.17	0.16	0.09	0.17	0.17	0.11	0.40	5.01	0.17	1.59	0.80
3/4	0.29	0.26	0.15	0.29	0.27	0.17	0.66	8.05	0.27	2.56	1.34
1	0.40	0.36	0.21	0.40	0.37	0.24	0.92	11.11	0.37	3.52	1.93
1-1/4	0.52	0.46	0.27	0.52	0.47	0.31	1.19	14.09	0.46	4.47	2.55
1-1/2	0.64	0.56	0.33	0.64	0.57	0.37	1.45	16.96	0.55	5.38	3.20
2	0.87	0.74	0.46	0.87	0.74	0.49	1.98	22.27	0.70	7.06	4.57
2-1/2	1.10	0.89	0.59	1.10	0.90	0.59	2.48	26.95	0.83	8.56	6.01
3	1.32	1.03	0.72	1.32	1.03	0.68	2.96	31.01	0.91	9.86	7.52
3-1/2	1.53	1.14	0.85	1.53	1.14	0.76	3.40	34.48	0.97	10.99	9.07
4	1.73	1.24	0.97	1.73	1.22	0.83	3.83	37.46	1.00	11.99	10.68
5	2.10	1.38	1.22	2.10	1.35	0.92	4.60	42.32	0.98	13.71	14.00

Tabla 2.5

Comenzando por el circuito solar primario, el caudal del fluido caloportador se ha determinado en 19680 l/h. En la figura 2.2 se muestra un esquema de la disposición de tuberías y conexionado entre hileras de captadores enumerando los tramos del circuito.

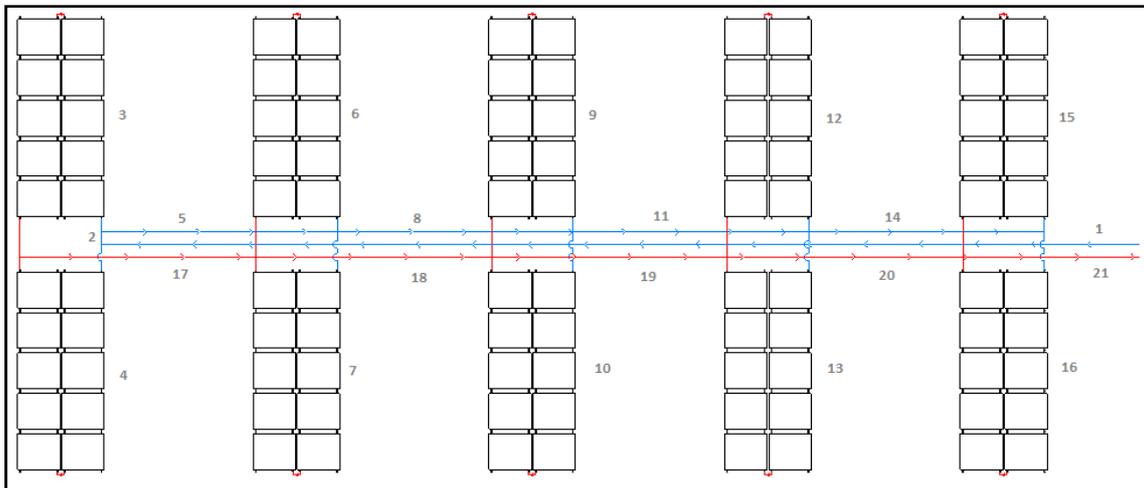


Figura 2.2

El estudio de cada uno de los diferentes tramos que componen el circuito primario determinará el diámetro de la tubería a emplear en función de su caudal, su velocidad y la pérdida de carga unitaria. La pérdida de carga del circuito hidráulico debe contemplar, además de los tramos rectos, las pérdidas de carga de los accesorios. En la tabla 2.7 se recoge el dimensionamiento y la pérdida de carga de los diferentes tramos que conforman el circuito hidráulico solar primario. En dicha tabla se recoge también la pérdida de carga de los diferentes equipos que componen el circuito, dato aportado por los fabricantes de los respectivos equipos. Otro dato que se ha incorporado en la tabla 2.7 son el número de válvulas y codos de las diferentes tuberías del circuito.

Instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en un hospital

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas por metro (mm.c.a.)	Nº codos 90°	Nº válvulas compuerta	Nº válvulas retención	Long. Equiv. Accesorios (m)	ΔP equipos (m.c.a.)	Pérdida total (m.c.a.)
1	92,64	19680	64,00	1,70	43,55	7	2	1	15,37		4,70
2	0,40	17712	64,00	1,53	36,07				2,48		0,10
3	1,20	1968	35,00	0,57	13,30	2	2		3,46	0,385	0,45
4	1,20	1968	35,00	0,57	13,30	2	2		4,34	0,385	0,46
5	7,65	15744	64,00	1,36	29,23				2,48		0,30
6	1,20	1968	35,00	0,57	13,30	2	2		4,34	0,385	0,46
7	1,20	1968	35,00	0,57	13,30	2	2		4,34	0,385	0,46
8	7,65	11808	64,00	1,02	17,52				0,59		0,14
9	1,20	1968	35,00	0,57	13,30	2	2		4,34	0,385	0,46
10	1,20	1968	35,00	0,57	13,30	2	2		4,34	0,385	0,46
11	7,65	7872	54,00	0,95	19,23				0,49		0,16
12	1,20	1968	35,00	0,57	13,30	2	2		4,34	0,385	0,46
13	1,20	1968	35,00	0,57	13,30	2	2		4,34	0,385	0,46
14	7,65	3936	35,00	1,14	44,75				0,37		0,36
15	1,20	1968	35,00	0,57	13,30	2	2		4,34	0,385	0,46
16	1,20	1968	35,00	0,57	13,30	2	2		4,34	0,385	0,46
17	7,65	3936	35,00	1,14	44,75				1,45		0,41
18	7,65	7872	54,00	0,95	19,23				0,49		0,16
19	7,65	11808	64,00	1,02	17,52				0,59		0,14
20	7,65	15744	64,00	1,36	29,23				0,59		0,24
21	90,00	19680	64,00	1,70	43,55	7	4		11,61	3,081	7,50

Tabla 2.6

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

Como se ha diseñado el circuito para que no hubiera desequilibrios hidráulicos, todos los circuitos tienen una pérdida de carga similar. Sin embargo, los circuitos con mayor pérdida de carga son los que llegan a las baterías de captadores 3, 4, 7 y 8 contando de arriba a abajo y de izquierda a derecha en la figura 2.2. En estos circuitos la pérdida de carga es de 48,72 m.c.a.

Para el circuito secundario se ha estimado 28 m de tubería que transportan 10536 l/h de agua y que conectan el grupo de bombeo del secundario con los intercambiadores, estos con los acumuladores solares y retorno a la aspiración de la bomba. Se ha calculado un total de 7 codos a 90° y la instalación de 4 válvulas de compuerta y 1 válvula de retención (2 en total en el grupo de bombeo secundario).

Se dimensiona el diámetro para que la pérdida de carga por metro de tubería sea menor de 40 mm.c.a., por lo que se escoge un diámetro de 64 mm. Sumando las pérdidas de carga totales de tubería recta, las pérdidas por accesorios y las pérdidas de los intercambiadores resulta una pérdida de carga total del secundario de 1,73 m.c.a.

2.2.2.3. Grupos de bombeo del circuito solar

El grupo de bombeo del circuito primario, constituido por dos bombas, una de reserva, funcionando alternativamente deberá impulsar un caudal de 19680 l/h venciendo además la diferencia de cotas entre la aspiración y la cubierta y las pérdidas de carga del circuito más desfavorable calculadas en el apartado 2.2.2.2. Puesto que el grupo de bombeo se sitúa en la sala de máquinas y esta se halla en la planta baja, deberá bombear el fluido de trabajo venciendo una altura de 7 plantas, unos 35 m. Estos 35 m.c.a. se añaden a los 13,72 m.c.a. correspondiente a pérdidas de carga. Así el grupo primario deberá vencer una altura manométrica de 48,72 m.c.a.

El grupo de bombeo del circuito secundario, también está constituido por dos bombas en paralelo. Debe impulsar un caudal de 10536 l/h venciendo una pérdida de carga de 1,73 m.c.a. ya que todo el circuito secundario está al mismo nivel y no hay que vencer diferencia de cotas.

Las características técnicas de las bombas aparecen en el apartado 1.7.4.

2.2.2.4. Intercambiador de calor

El intercambio de calor del circuito solar primario al secundario se va a realizar mediante dos intercambiadores de placas conectados en paralelo debido al gran caudal que discurre por el primario. Dichos intercambiadores se dimensionan cumpliendo el código técnico, que establece que:

$$P_{\text{intercambiador}} \geq 500 \cdot A_{\text{captación}}$$

Por lo tanto resulta que es necesaria una potencia de intercambio mínima de 96 kW.

Los intercambiadores elegidos, cuyas características aparecen en el apartado 1.7.3, cumplen con el CTE, ya que tienen una potencia de intercambio de 245 kW cada uno.

2.2.2.5. Sistema de expansión

El cálculo del vaso de expansión en el circuito solar primario se hará de acuerdo a la norma UNE 100155. En vasos de expansión cerrados el volumen del vaso viene dado por la expresión:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p$$

Siendo:

V_t : Volumen total del vaso de expansión (l).

V : Contenido total del fluido de trabajo en el circuito (l).

C_e : Coeficiente de expansión del fluido.

C_p : Coeficiente de presión.

- Volumen del fluido de trabajo en el circuito.

Sumando el volumen de fluido en el sistema primario (captadores y tuberías) se obtiene un volumen total de 898,58 litros.

- Coeficiente de expansión.

El coeficiente de expansión se calcula aplicando la siguiente expresión:

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

Siendo T la temperatura del fluido a su paso por el vaso de expansión supuesta de 50 °C.

Como el fluido caloportador es una solución de glicol en agua, el coeficiente de expansión debe multiplicarse por el siguiente factor de corrección:

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

Donde:

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

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

Siendo G el porcentaje en volumen de glicol en agua de 30%

Así el valor del coeficiente de expansión es 0,0187.

- **Coefficiente de presión.**

El coeficiente de presión se calcula a través de la siguiente expresión:

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

Siendo:

P_M : presión máxima del vaso, 5 bar.

P_m : presión mínima del vaso, 1,5 bar.

El valor del coeficiente de presión es 1,43.

En conclusión se obtiene un volumen para el vaso de expansión de 24 litros.

2.2.3. Aislamiento térmico de las instalaciones

Los aparatos, equipos y conducciones estarán aislados térmicamente. De esta forma se evitarán consumos de energía superfluos y los fluidos caloportadores llegarán a las unidades terminales con una temperatura próxima a la de producción. Además se cumplirán las condiciones de seguridad para evitar contactos accidentales con superficies calientes. El material de aislamiento a utilizar estará formado por fibra de vidrio.

Los espesores de aislamiento térmico de la instalación cumplirán con lo indicado en el apartado IT 1.2.4.2.1. del RITE. Como señala éste, los componentes de la instalación dispondrán de aislamiento térmico cuando contengan fluidos a temperatura superior a 40°C. Los componentes que vienen aislados de fábrica cumplen el nivel marcado por la normativa.

- **Tuberías y accesorios**

En las tablas 1.2.4.2.1 y 1.2.4.2.2 del RITE se muestran los espesores de aislamiento mínimo de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior o el exterior. Para un material aislante de conductividad térmica de 0,040 W/m·K, los espesores de aislante para las tuberías y accesorios de la instalación son los siguientes:

- Interior: 30 mm.
- Exterior: 40 mm.

- **Depósitos de acumulación**

Los tres depósitos nuevos a instalar se suministran ya aislados térmicamente por el fabricante mediante espuma rígida de poliuretano inyectado en molde libre de CFC.

- **Intercambiador de calor**

Para un material aislante de conductividad térmica 0,040 W/m·K, el espesor de aislante para el intercambiador del circuito solar será de 40 mm.

- **Vaso de expansión**

Para un material aislante de conductividad térmica 0,040 W/m·K, el espesor de aislante para el vaso de expansión cerrado situado en el circuito solar primario es de 40 mm.

2.2.4. Comprobación de la instalación

Una vez dimensionada la instalación se comprueba su funcionamiento en la herramienta informática CHEQ4. En la ventana de resultados se muestra una tabla de resultados (tabla 2.8) y una gráfica anual de distintos parámetros de la instalación (gráfica 2.7).

Fracción solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Consumo auxiliar (kWh)	Reducción de CO₂ (kg)
71	260.710	262.107	185.744	85.527	54.631

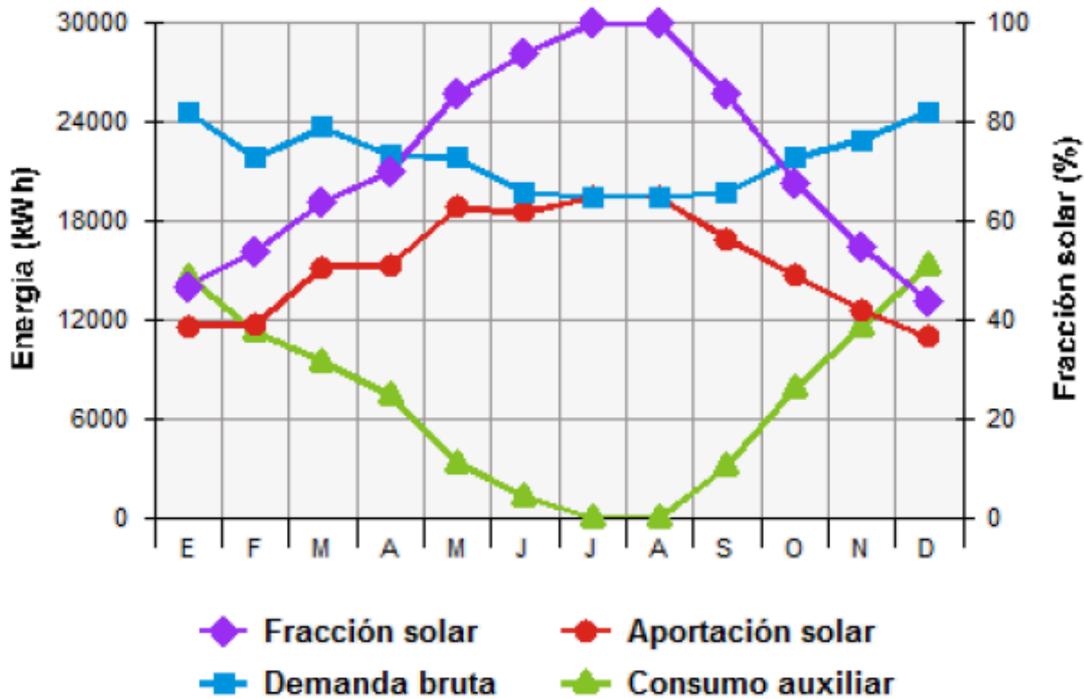
Tabla 2.7

El primer resultado obtenido es la fracción de cobertura solar de la instalación proyectada, para el periodo de un año, con un valor de 71 %.

CHEQ4 hace distinción entre demanda neta y demanda bruta. La demanda neta es la demanda energética anual sin tener en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución, mientras que la demanda bruta si tiene en cuenta dichas pérdidas.

La tabla también muestra la energía solar aportada por la instalación y la energía aportada por el sistema auxiliar de apoyo para satisfacer la demanda total.

Por último recoge el dato de la reducción de CO₂ asociada a la utilización del sistema solar térmico en comparación con la misma instalación convencional.



Gráfica 2.7

La gráfica 2.7 muestra los resultados obtenidos mensualmente durante un año de funcionamiento de la instalación. Los valores mensuales de la cobertura solar (f) se han recogido en la tabla 2.9.

Mes	Fracción de cobertura solar (%)
Enero	47
Febrero	55
Marzo	62
Abril	70
Mayo	85
Junio	94
Julio	100
Agosto	100
Septiembre	84
Octubre	68
Noviembre	56
Diciembre	44

Como se puede observar, durante los meses de julio y agosto se alcanza un 100 % de la cobertura solar, por lo que la instalación es capaz de cubrir la demanda energética de agua caliente sanitaria del hospital sin necesidad de recurrir al sistema de apoyo convencional. En el resto de meses del año, el sistema auxiliar deberá cubrir parte de la demanda energética, en mayor medida en los meses de invierno.

3. Presupuesto

3.1. Sistema solar de captación

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
1.1	<p>Ud. Captador solar Roca modelo PS 2.0 de las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Placa absorbente: aluminio con tratamiento superficial selectivo por bombardeo catódico, compuesta por 2 tubos de cobre colector de 22 mm y 12 tubos de cobre verticales de 8 mm - Volumen del fluido contenido: 1,5 litros - Dimensiones totales: 1170 x 1730 x 84 mm - Superficie útil de captación: 1,92 m² - Peso del captador: 37,1 kg - Rendimiento óptico: 76% - Presión máxima de trabajo: 10 bar - Coeficiente de pérdidas k1: 3,191 - Coeficiente de pérdidas k2: 0,025 	100	560,00 €	56.000,00 €
1.2	Ud. Juego de acoplamiento CH-PS2.0	10	96,00 €	960,00 €
1.3	Ud. Juego de acoplamiento ICS-PS2.0	80	12,00 €	960,00 €
1.4	Ud. Soporte SCP-2 para 2 colectores	50	250,00 €	12.500,00 €
1.5	Ud. Purgador Flexvent Súper 1/2"	20	66,00 €	1.320,00 €
1.6	Ud. Fluido caloportador Kimex Solar Gel 30 , propilenglicol al 30%, 25 litros	36	40,00 €	1.440,00 €
Total sistema de captación				73.180,00 €

3.2. Sistema de acumulación

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
2.1	<p>Ud. Acumulador solar Fagor modelo ASF-4000 con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fabricado en acero con revestimiento epoxídico de calidad alimentaria - Capacidad de A.C.S: 4000 litros - Peso en vacío: 880 kg - Diámetro exterior: 1910 mm - Altura total: 2310 mm 	3	7.520,00 €	22.560,00 €
Total sistema de acumulación				22.560,00 €

3.3. Sistema de intercambio

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
3.1	Intercambiador de placas Suicalsa modelo IP3601B15NX08 de las siguientes características: - Número de placas: 15 - Potencia de intercambio: 245 kW - Salto térmico primario: 90 - 70 °C - Salto térmico secundario: 15 - 55 °C - Pérdida de carga primario: 3,05 m.c.a. - Pérdida de carga secundario: 1,07 m.c.a. - Caudal primario: 10535 l/h - Caudal secundario: 5268 l/h	2	1.301,00 €	2.602,00 €
Total sistema de intercambio				2.602,00 €

3.4. Sistema hidráulico

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
4.1	Ud. Bomba centrífuga de circulación del primario, Grundfos modelo CM 25-2 de las siguientes características: - Caudal: 19,68 l/h - Altura: 49,08 m.c.a. - Potencia absorbida: 2,5 kW	2	1.229,30 €	2.458,60 €
4.2	Ud. Bomba centrífuga de circulación del secundario, Grundfos modelo UPS 32-80 N de las siguientes características: -Caudal: 10536 l/h - Altura: 1,73 m.c.a. - Potencia absorbida: 135 W	2	645,45 €	1.290,90 €
4.3	Ud. Vaso de expansión Roca modelo Vasoflex/S de las siguientes características: - Capacidad 25 litros - Peso: 7,6 kg - Presión máxima de trabajo: 8 bar	1	97,00 €	97,00 €
4.4	m. Tubería de cobre 35 x 1 mm	27,30	7,60 €	207,48 €
4.5	m. Tubería de cobre 54 x 1,2 mm	15,30	11,36 €	173,81 €
4.6	m. Tubería de cobre 64 x 1,5 mm	18,71	18,71 €	350,06 €
4.7	m. Aislamiento Armaflex de tubería de 35 mm con espesor de 40 mm	27,30	12,30 €	335,79 €

Instalación de energía solar térmica para producción
de agua caliente sanitaria en un hospital

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
4.8	m. Aislamiento Armaflex de tubería de 54 mm con espesor de 40 mm	15,30	17,72 €	271,12 €
4.9	m. Aislamiento Armaflex de tubería de 64 mm con espesor de 32 mm	28,00	17,34 €	485,52 €
4.10	m. Aislamiento Armaflex de tubería de 64 mm con espesor de 40 mm	213,64	21,46 €	4.584,71 €
4.11	Ud. Válvula de compuerta 40 mm a la entrada y salida de baterías de captadores	20	134,00 €	2.680,00 €
4.12	Ud. Válvula de compuerta 65 mm: - Entrada y salida de campo solar: 2 - Grupo bombeo primario: 4 - Entrada y salida de intercambiador: 4 - Grupo bombeo secundario: 4 - Entrada y salida de primer acumulador solar: 2 - Conexión subsistema solar con sistema auxiliar: 3	19	216,00 €	4.104,00 €
4.13	Ud. Válvula de retención 65 mm de doble clapeta para grupo de bombeo primario y secundario	4	227,00 €	908,00 €
4.15	Ud. Codo 90° de cobre 35 mm	20	29,62 €	592,40 €
4.16	Ud. Codo 90° de cobre 64 mm	21	81,55 €	1.712,55 €
4.17	Ud. Unión en T 64 mm	11	123,39 €	1.357,29 €
4.18	Ud. Purgador automático a la salida del campo solar y en vaso de expansión	2	81,30 €	162,60 €
Total sistema hidráulico				21.771,83 €

3.5. Sistema de control y regulación

Nº Ord.	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
5.1	Ud. Regulador Vitosolic 200 por diferencia de temperaturas	1	671,00 €	671,00 €
5.2	Ud. Termómetro de inmersión con vaina , con escala 0 - 120 °C, 10 cm diámetro 80 mm	8	7,80 €	62,40 €
5.3	Ud. Manómetro de esfera 10 atm diámetro 63 mm	8	5,78 €	46,24 €
Total sistema de control y regulación				779,64 €

3.6. Presupuesto total

- Sistema de captación:	73.180,00 €
- Sistema de acumulación:	22.560,00 €
- Sistema de intercambio:	2.602,00 €
- Sistema hidráulico:	21.771,83 €
- Sistema de regulación y control:	779,64 €

TOTAL INSTALACIÓN SOLAR: 120.893,47 €

IVA (21%): 25.387,62 €

El presupuesto de este proyecto asciende a 146.281,10 €

CIENTO CUARENTA Y SEIS MIL DOS CIENTOS OCHENTA Y UNO CON DIEZ
EUROS

4. Pliego de condiciones técnicas

4.1. Objeto

El presente pliego de condiciones técnicas del proyecto de instalación solar en un hospital tiene por objeto principal fijar las condiciones generales a las que habrá de ajustarse el proyecto, los equipos y los materiales utilizados en la ejecución definitiva de la instalación de un sistema solar el abastecimiento de agua caliente sanitaria al Hospital del Municipio de Cabra.

Se detallarán las pruebas y ensayos parciales a realizar durante el transcurso de los montajes o finales provisionales y definitivos de las correspondientes recepciones. Las garantías exigidas tanto en los materiales, como en su montaje o en su funcionamiento conjunto.

4.2. Normativa aplicable

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

- Pliego de Especificaciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Térmica a Baja Temperatura.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE). Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones Complementarias MI.BT, incluidas las hojas de interpretación.
- Código Técnico de la Edificación - Acciones en la Edificación (CTE-DB-AE).
- Código Técnico de la Edificación – Protección frente al ruido (CTE-DB-HR)
- Código Técnico de la Edificación – Seguridad en caso de incendio (CTE-DB-SI).
- Norma UNE-EN 12975-1:2006. “Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares.”
- Igualmente, se cumplirá con toda la normativa de carácter regional y local (Ordenanzas, etc.).
- Aparte de la Normativa de carácter obligatorio antes mencionada, se utilizarán otras normas como las UNE de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Normas NTE del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo o de las Compañías suministradores de energía eléctrica, etc. En ocasiones, a falta de normativa española, podrán utilizarse de organismos internaciones, 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.

4.3. Condiciones de materiales y equipos

4.3.1. Tuberías y accesorios

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

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

Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y sus uniones serán realizadas por accesorios a presión que soporten las condiciones extremas o mediante soldadura por capilaridad de acuerdo a la norma UNE EN 1057. Se realizará soldadura fuerte cuando la temperatura del circuito pueda superar en algún momento los 125°C.

En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero según norma UNE 100050.

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

Accesorios:

Compensadores de dilatación.

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

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

Los extremos del compensador serán de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chaflán de 37° 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 ó 2503, según las presiones sean de 6 y 10 ó 16 Kg/cm². Estas bridas irán soldadas a los cuellos del compensador por los procedimientos recomendados para la soldadura de piezas en acero al carbono de espesores medios.

Juntas.

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

Lubricante de roscas.

General: no endurecedor, no venenoso.

Acoplamientos dieléctricos o latiguillos.

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

Derivaciones.

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

Codos en bombas.

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

Sombretetes.

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

Guías.

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

Termómetros.

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

Manómetros.

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

Válvulas de seguridad.

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

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 ascendiente hacia la dirección de flujo. Las derivaciones se harán de tal modo que se eviten

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

En el caso de que, una vez que las redes estén en funcionamiento, se den anomalías por presencia de aire en la instalación, se instalarán nuevos empalmes, purgadores, válvulas según se considere necesario y sin costes extra. Si se deben realizar trabajos que requieran rotura, y reposición de acabados, el contratista se hará cargo de los gastos generados.

Se preferirán por norma general los purgadores manuales, salvo en puntos ocultos o de difícil acceso, que hagan recomendable la instalación de purgadores automáticos.

Vaciados.

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

Conexiones a equipos.

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

4.3.2. Válvulas

4.3.2.1. Generalidades

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

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

- Para aislamiento: válvulas de compuerta.
- 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 clapeta 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.

4.3.2.2. Materiales

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

Válvulas de compuerta:

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

Válvulas de asiento:

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

Válvulas de seguridad de resorte:

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

Válvulas de retención de 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.

4.3.3. Aislamiento

El material usado como aislamiento debería cumplir con la norma UNE 100171.

El material aislante situado a la intemperie debería protegerse adecuadamente frente a los agentes atmosféricos de forma que se evite su deterioro.

Como protección del material aislante se podrá utilizar una cubierta o revestimiento de escayola protegido con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio.

En el caso de que el aislamiento esté basado en espuma elastomérica se podrán 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.

4.3.4. Vasos de expansión

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

- Fabricante
- Marca
- Modelo

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

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

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

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

4.3.5. Bombas

La bomba de circulación 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
- 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 tóricas de EPDM.
- Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.
- Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto.
- Motor de 2 ó 4 polos, 2900 ó 1450 r.p.m, 220V/1~ ó 220/380V/ 3~, 50 Hz, IP.44 clase F.
- Presión de aspiración 2 m.c.a. 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.

4.3.6. Captadores

4.3.6.1. Generalidades

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

- Nombre del fabricante.
- Tipo.
- Número de serie.
- Año de fabricación.
- Superficie total del captador.
- Dimensiones del captador.
- Presión máxima de trabajo.
- Temperatura de estancamiento a 1000 W/m² 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.
- Distancia media entre el absorbedor y la cubierta transparente no inferior a 2 cm ni superior a 4 cm.
- Absorbedor constituido sólo 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 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.

4.3.6.2. Modelo de captador

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

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

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

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

4.3.6.3. Estructura soporte y sujeción del captador

La estructura soporte cumplirá los requisitos establecidos en el CTE-SE.

Todos los materiales de la estructura soporte se deberían proteger contra la acción de los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la acción combinada del aire y el agua.

Las estructuras de acero deberían protegerse mediante galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas de zinc o tratamientos anticorrosivos equivalentes. La

realización de taladros en la estructura se debería llevar a cabo antes de proceder al galvanizado o protección de la estructura.

La tornillería y piezas auxiliares deberían estar protegidas por galvanizado o zincado, o bien serán de acero inoxidable.

4.3.7. Sistema eléctrico y de control

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

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

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

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

- Activar la bomba de circulación en función del salto de temperatura entre la salida de la batería de captadores y la parte baja del acumulador o la tubería de retorno.
- 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 captadores 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.

4.3.8. Aparatos de medida

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

A) Medida de temperatura

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

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

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

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, éste estará precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas. Se suministrarán los siguientes datos, que deberán ser facilitados por el fabricante:

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

La medida de caudales de líquidos se 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 temperatura por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionará la cantidad de energía.

4.3.9. Acumuladores

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

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

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

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

- Nombre del fabricante y razón social.

- Contraseña y fecha de registro de tipo.
- Número de fabricación.
- Volumen neto de almacenamiento en litros.
- Presión máxima de servicio.

Los depósitos vendrán equipados de fábrica con las bocas necesarias soldadas antes de efectuar el tratamiento de protección interior.

Al objeto de este pliego de condiciones podrán utilizarse depósitos de las siguientes características y tratamientos:

- Depósitos de acero galvanizado en caliente de cualquier tamaño, con espesores de galvanizado no inferiores a los especificados en la Norma UNE 37.501.
- Depósitos de acero con tratamiento 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 esté autorizada su utilización por la Administración Competente.

4.3.10. Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor serán de acero inoxidable AISI 316 L. El intercambiador seleccionado resistirá la presión máxima de la instalación. Los materiales soportarán temperaturas de 110 °C y serán compatibles con el fluido de trabajo.

4.3.10.1. Intercambiadores externos.

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.

4.4. Provisión del material

Los componentes instalados deberán ser de marcas acreditadas y en su caso homologados, para que ofrezcan las máximas garantías posibles.

Se dispondrá de un lugar adecuado y seguro para almacenar los materiales y elementos de la instalación hasta el momento en que estos vayan a ser puestos en obra.

Los captadores, por su especial fragilidad, deberán ser suministrados apilados sobre una base de madera adecuada para su traslado mediante carretilla elevadora.

En el supuesto de que los captadores una vez desembalados deban quedarse temporalmente a la intemperie, se colocarán con un ángulo mínimo de 20° y máximo de 80°.

4.5. 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.

4.6. Pruebas, puesta en marcha y recepción

4.6.1. 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 deberían estar realizadas, además del montaje completo, las pruebas y ajustes especificados, así como la puesta en marcha.

El instalador se responsabilizará de la ejecución de las pruebas funcionales, del buen funcionamiento de la instalación y del estado de la misma hasta su entrega a la propiedad.

La memoria de diseño contemplará la relación de las pruebas a realizar. En el documento de Control de Ejecución se recogerán las pruebas parciales, finales y funcionales realizadas, la fecha en la que tuvieron lugar, los resultados obtenidos y el grado de cumplimiento de las expectativas.

Al objeto de la recepción de la instalación se entenderá que el funcionamiento de la misma es correcto, cuando la instalación satisfaga como mínimo las pruebas parciales incluidas en el presente capítulo.

4.6.2. Pruebas parciales

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

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

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

4.6.2.1. Pruebas de equipos

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

4.6.2.2. Pruebas de estanquidad de redes hidráulicas

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

4.6.2.3. Pruebas de libre dilatación

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

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

4.6.3. Pruebas finales

Las pruebas finales permitirán garantizar que la instalación reúne las condiciones de calidad, fiabilidad y seguridad exigidas en proyecto.

Son aceptables, las pruebas finales que se realicen siguiendo las instrucciones indicadas en la norma UNE-EN 12599.

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

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

4.6.4. Ajustes y equilibrado

La instalación solar debería ser ajustada a los valores de proyecto dentro de los márgenes admisibles de tolerancia. Se realizarán de acuerdo con los 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.

4.6.4.1. Sistemas de distribución de agua

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

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

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

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

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

Cuando exista más de un grupo de captadores solares en el circuito primario del subsistema de energía solar, se debería probar el correcto 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.

4.6.4.2. Control automático

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

4.6.5. Recepción

4.6.5.1. Recepción provisional

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

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

El acto de recepción provisional 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 recopilativas de los resultados de las pruebas parciales y finales.
- Un manual de instrucciones de funcionamiento de los equipos principales de la instalación.

4.6.5.2. Recepción definitiva

Desde el acta de recepción provisional, la propiedad podrá y deberá notificar cualquier incidencia en el funcionamiento de la instalación.

Transcurrido el plazo estipulado desde el acta de recepción, la Recepción Provisional se transformará en Recepción Definitiva. A partir de la Recepción Definitiva entrará en vigor la garantía.

4.7. 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.

4.7.1. 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.

4.7.2. 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 figura 4.1 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.

Instalación de energía solar térmica para producción
de agua caliente sanitaria en un hospital

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Captadores	6	IV diferencias sobre original. IV diferencias entre captadores.
Cristales	6	IV condensaciones y suciedad
Juntas	6	IV agrietamientos, deformaciones
Absorbedor	6	IV corrosión, deformaciones
Carcasa	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
Conexiones	6	IV aparición de fugas
Estructura	6	IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos
Captadores*	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Llenado parcial del campo de captadores

* Operaciones a realizar en el caso de optar por las medidas b) o c) del apartado 2.1.

⁽¹⁾ IV: inspección visual

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

⁽¹⁾ IV: inspección visual

⁽²⁾ CF: control de funcionamiento

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo
Anodos sacrificio	12	Comprobación del desgaste
Anodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Intercambiador de placas	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
Intercambiador de serpentín	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Verificación del sistema de medida	12	CF actuación

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Sistema auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

Figura 4.1

4.7.3. 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, sí es posible llevar un control de las acciones de mantenimiento correctivo realizadas, 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.

5. Planos