

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingenierías de las Tecnologías Industriales

Instalación solar para producción de ACS en un hospital

Autor: Claudia Merino Sáez

Tutor: D. José Guerra Macho

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

Sevilla, 2015



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingenierías de las Tecnologías Industriales

Instalación solar para producción de ACS en un hospital

Autor:

Claudia Merino Sáez

Tutor:

D. José Guerra Macho

Catedrático de Universidad

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

Sevilla, 2015

Índice

1. Memoria descriptiva.....	2
1.1 Objeto del proyecto	3
1.2 Antecedentes	3
1.3 Método de cálculo	4
1.4 Descripción del edificio	8
1.5 Descripción de la instalación.....	10
1.6 Características técnicas de los equipos.....	16
1.7 Normativa.....	24
1.8 Bibliografía	28
2. Memoria de cálculo.....	29
2.1 Introducción	30
2.2 Datos de partida.....	30
2.3 Cálculo de la demanda	35
2.4 Cálculo de la superficie de captación	37
2.5 Cálculo del volumen de acumulación	41
2.6 Cálculo de la red de tuberías	42
2.7 Cálculo del equipo de intercambio	49
2.8 Dimensionado del grupo de bombeo.....	50
2.9 Dimensionado del vaso de expansión	50
2.10 Cálculo del espesor de aislamiento	51
2.11 Selección de accesorios	53
3. Pliego de condiciones técnicas	54
3.1 Objeto	55
3.2 Normativa aplicable	55
3.3 Condiciones de materiales y equipos	55
3.4 Provisión del material.....	67
3.5 Condiciones de montaje	67
3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción	68
3.7 Mantenimiento	71
4. Presupuesto	73
4.1 Sistema de captación	74
4.2 Sistema de acumulación	74
4.3 Sistema de intercambio	75
4.4 Sistema hidráulico	75
4.5 Sistema de control	77
5. Planos	78

1. Memoria descriptiva

1.1 Objeto del proyecto

Este proyecto tiene como objetivo la adaptación de una instalación de energía solar térmica de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria a un hospital existente en la ciudad de Huelva. Para llevarlo a cabo, se comenzará haciendo un estudio de la radiación solar recibida en dicha ubicación para poder establecer el dimensionamiento de la instalación con el fin de cubrir la demanda necesaria de agua caliente del hospital bajo el cumplimiento del reglamento técnico correspondiente.

1.2 Antecedentes

Es un hecho evidente el impacto que el consumo de combustibles fósiles tiene sobre el medio ambiente, además, conocer su implicación como *energía no renovable*, de las cuales sólo podemos contar con una cantidad finita que, con el tiempo, continúa disminuyendo a gran velocidad.

Esta dependencia con el tiempo ha llevado a la investigación en *energías renovables* a convertirse en un factor muy importante en el desarrollo actual de la sociedad, al tratarse de recursos limpios e inagotables que proporciona la naturaleza con un impacto prácticamente nulo.

Dentro del grupo de *energías renovables* el presente proyecto apuesta por la conocida como energía solar térmica basada en el aprovechamiento de la radiación solar para calentar un fluido que, por lo general, suele ser agua o aire. La capacidad de transformar la energía de los rayos solares en energía calorífica es, precisamente, el principio elemental en el que se basa esta fuente de energía renovable. Algunas ventajas, aparte de las ya mencionadas, asociadas de este tipo de energía son:

- El ahorro en las facturas del gas y electricidad destinadas a la producción de agua caliente sanitaria.
- Disminución de nuestra dependencia energética del exterior al garantizarnos un suministro de energía con total autonomía.
- Esta fuente de energía no está sujeta a fluctuaciones de mercado ni sus precios oscilan en torno al coste de la vida u otras circunstancias.
- Sus usuarios pueden acceder a ayudas por parte de las distintas administraciones.

Todo lo expuesto anteriormente unido a que España goza de los mayores niveles de irradiación de Europa, con una media de 2500 horas de sol aseguradas al año, y de que concretamente Andalucía presenta los mayores registros tratándose de una Comunidad con un enorme potencial de aprovechamiento del recurso solar hacen unos convincentes puntos de partida para el proyecto.

1.3 Método de cálculo

Existen distintos procedimientos para el cálculo de la demanda de fracción solar. Estos métodos de diseño pueden estar basados en simulaciones horarias o en correlaciones entre números adimensionales que permiten trabajar en una base de tiempo mensual. En este proyecto se trabajará con el último grupo de métodos mencionado y dentro de ellos, concretamente, con el método f-Chart.

Su principio se basa en comprobar, mediante fórmulas analíticas, que para una determinada superficie de captación solar con un volumen de acumulador determinado se cumple la contribución solar mínima anual exigida en el Documento Básico HE Ahorro de Energía en su Sección HE 4, entendiéndose por contribución solar mínima anual como el porcentaje que representa la producción de energética anual sobre la demanda anual del edificio.

El método f-chart es un método bastante preciso cuando se dispone de datos en base mensual, ya que se desarrolló a partir de correlaciones obtenidas de un gran número de simulaciones y le proporciona una precisión bastante aceptable.

A continuación se expone el alcance de dicho método:

- Basado en datos diarios medios mensuales.
- Aplicable a sistemas de calefacción y producción de ACS, con una demanda de ACS inferior al 20% de la demanda de calefacción.
- Considera un sistema base de energía solar sin intercambiador de calor en el circuito de captación y con una acumulación de 75 l/m² de superficie de captación.

El rendimiento del sistema se define como la fracción de demanda cubierta por la energía solar (f) y es función de los siguientes parámetros adimensionales:

$$X = \frac{F_R \cdot U_L \cdot (T_{ref} - T_{am}) \cdot \Delta t \cdot A}{L}$$

X: factor de pérdidas, relación entre las pérdidas de energía de la superficie de captación para una temperatura de referencia de 100°C y la carga total de un mes.

$$Y = \frac{F_R (\tau\alpha)_m \cdot \bar{H} \cdot N \cdot A}{L}$$

Y: factor de ganancias, relación entre la energía absorbida en la superficie de captación y la carga total de un mes.

$(\tau\alpha)_m$: producto $(\tau\alpha)$ medio mensual del captador $\approx 0.96 \cdot (\tau\alpha)_n$

En la figura 1.1 se puede observar la relación entre los dos parámetros adimensionales descritos anteriormente y la fracción de demanda cubierta.

Como se ha mencionado anteriormente, el método f-Chart se basa en tres consideraciones, en el caso de que las condiciones de diseño difieran de estas será necesario aplicar a los parámetros adimensionales X e Y los criterios de corrección oportunos.

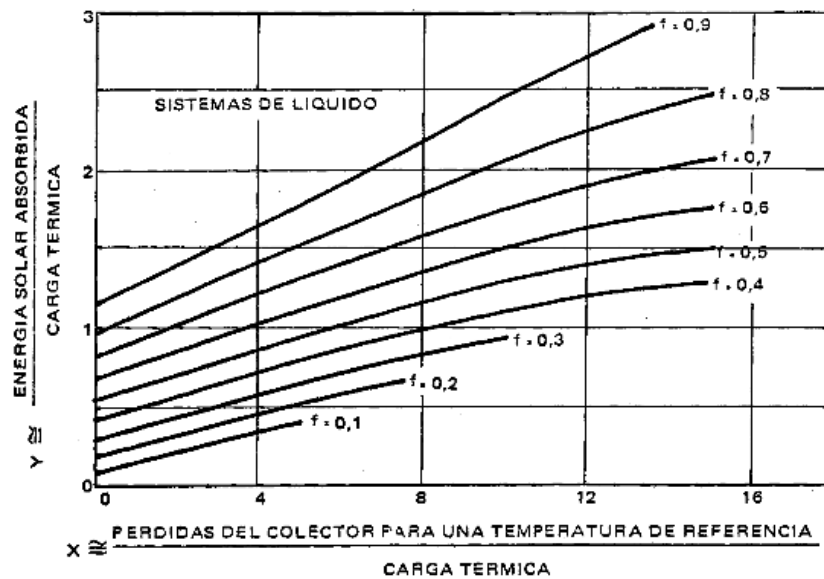


Figura 1.1 Curvas de fracción de demanda cubierta.

Los criterios de corrección son los siguientes:

- Corrección por caudal: siempre que el caudal de ensayo del captador difiera del caudal real es necesario corregir los parámetros $F_R \cdot U_L$ y $F_R(\tau\alpha)_n$ de la recta de rendimiento según la figura 1.2

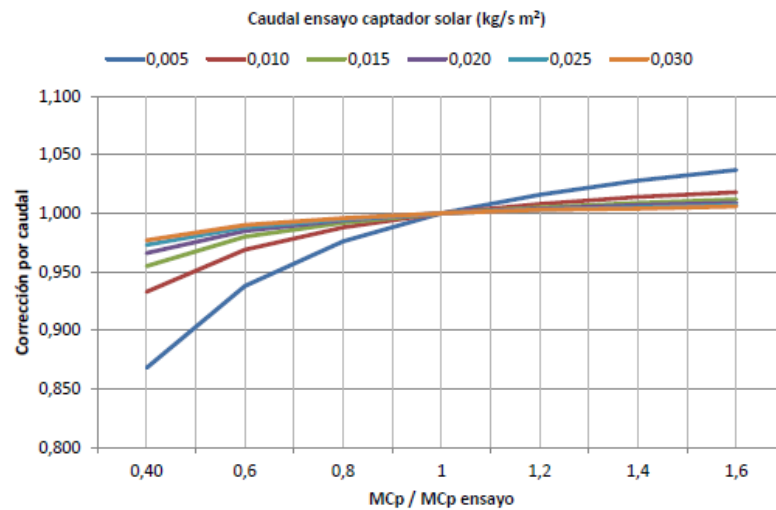


Figura 1.2 Curvas de corrección por caudal.

- Corrección por agrupación de captadores: definir el área y los parámetros de la recta de rendimiento de un único captador equivale a la agrupación de captadores. La expresión generalizada para N captadores en serie definiendo un captador solar de área $N \cdot A$ será

$$K = \frac{A \cdot F_R \cdot U_L}{M \cdot C_p} \qquad C_A = \frac{1 - (1 - K)^N}{N \cdot K}$$

Y su influencia en el rendimiento del número de captadores en serie se describe según se muestra en la figura 1.3

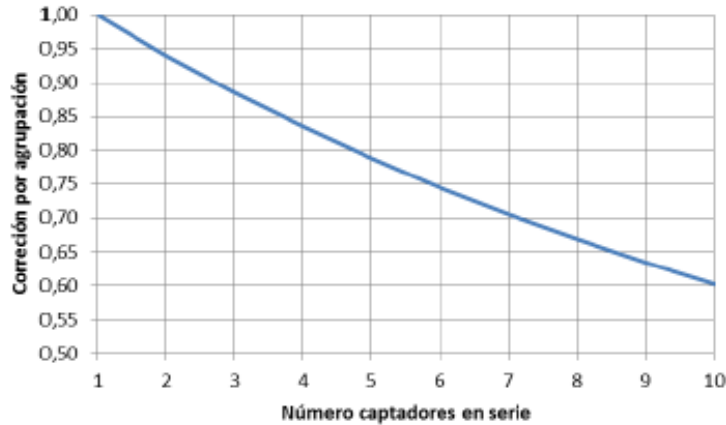


Figura 1.3 Curva de corrección por agrupación.

- Corrección por intercambiador de calor: se define un captador solar equivalente que incorpora al intercambiador de calor, corrigiendo los factores de pérdidas X y de ganancia Y, mediante la ecuación

$$C_{int} = \frac{F'_R}{F_R} = \left[1 + \frac{A \cdot F_R \cdot U_L}{M \cdot Cp_P} \cdot \left(\frac{M \cdot Cp_P}{\varepsilon (M \cdot Cp_P)_{min}} - 1 \right) \right]^{-1}$$

$F_R \cdot U_L$ = Factor de pérdidas del captador solar (W/m²K)

A = Área del captador solar (m²)

$M \cdot Cp_P$ = Capacidad calorífica del fluido del circuito primario (W/K)

$M \cdot Cp_{min}$ = Capacidad calorífica mínima de los fluidos en el intercambiador (W/K)

- Corrección por la capacidad de almacenamiento: el método se desarrolló para una capacidad de acumulación de 75l/m², si la acumulación es diferente se corregirá el factor de pérdidas adimensional X mediante la ecuación

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{V}{75} \right)^{-0.25} \quad \text{si } 37.5 < v < 300$$

En la figura 1.4 se muestra la relación existente entre el factor de corrección y el volumen de almacenamiento del caso que nos ocupa.

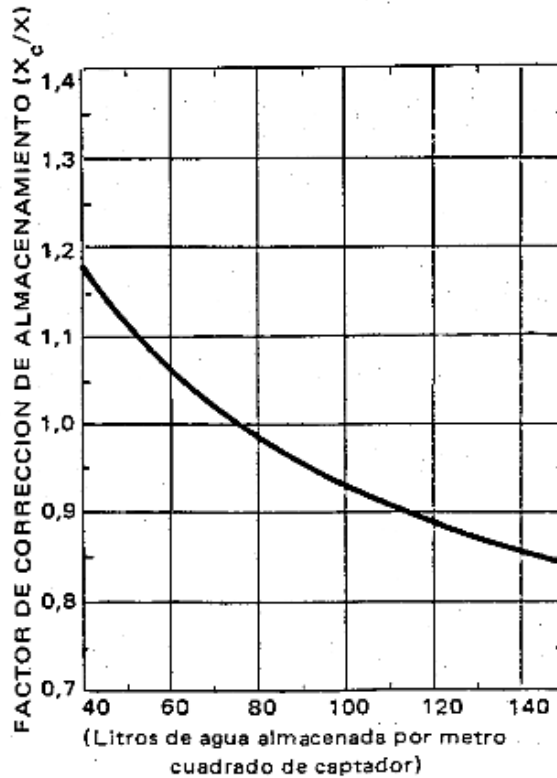


Figura 1.4 Curva de factor de corrección de almacenamiento.

- Corrección por consumo de ACS: el método se desarrolló para instalaciones donde la demanda de ACS es inferior al 20% de la demanda de calefacción. Si este porcentaje es superior, se corrige el factor de pérdidas adimensional X mediante la ecuación

$$\frac{X}{X_c} = \frac{11.6 + 1.18 \cdot T_{ac} + 3.86 \cdot T_{af} - 2.32 \cdot T_{am}}{100 - T_{am}}$$

T_{ac} : Temperatura de preparación del agua caliente (°C)

T_{af} : Temperatura del agua fría (°C). Depende de la localidad y del mes.

T_{am} : Temperatura ambiente media exterior (°C). Depende de la localidad y del mes.

Por último, una vez aplicados todos los criterios de corrección necesarios se calcula la fracción de demanda cubierta en base anual como:

$$f = 1.029 \cdot Y - 0.065 \cdot X - 0.245 \cdot Y^2 + 0.0018 \cdot X^2 + 0.0215 \cdot Y^3$$

Sabiendo que:

$$0 < Y < 3$$

$$0 < X < 18$$

1.4 Descripción del edificio

El edificio en cuestión se trata del hospital Infanta Elena situado en la localidad de Huelva.

Situado en la carretera Sevilla-Huelva, a 3,5 km de la capital.

El hospital consta de 320 camas repartidas en 7 plantas que hacen un total de un edificio de 27 metros de altura. En su cubierta se distinguen tres zonas bien diferenciadas:

- Ala Noroeste: se corresponde con la cubierta de la sexta planta que cuenta parte de su área bajo la sombra del torreón central. Dispone de 613 m².
- Torreón central: se corresponde con la cubierta más alta pero nada apropiada para este caso por su menor área y por estar la mayor parte de ella ocupada con antenas, pararrayos y depósitos.
- Ala sureste: área de dicho proyecto al ser el área menos sombreada y de mejor orientación. Dispone de 520 m².



Figura 1.5 Fachada principal del hospital Infanta Elena.

En cuanto a su instalación actual, el hospital cuenta en su circuito primario con:

- Generador de vapor nº1 de la marca SADECA, modelo OMNICAL DDH-125 con una potencia de 1453.49 kW, se muestra en la figura 1.6.
- Generador de Vapor nº2 de la marca SADECA, modelo OMNICAL DA-100 con una potencia de 1162.79 kW, se muestra en la figura 1.7.



Figura 1.6 Generador de vapor n°1.



Figura 1.7 Generador de vapor n°2.

Ambos generadores de vapor se encuentran en la sala de calderas en un edificio adjunto al hospital.

Y en su circuito secundario con:

- 6 depósitos de 5000 litros cada uno.

Todos los depósitos se encuentran en disposición horizontal en la sala de máquinas en la planta baja del hospital.



Figura 1.8 Depósitos de acumulación.

1.5 Descripción de la instalación

1.5.1 Principio de funcionamiento

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

Una instalación solar térmica se divide en cuatro subsistemas:

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

El presente proyecto está dedicado al diseño de los subsistemas de captación, intercambio y acumulación. Se trata de la adaptación de una instalación para ACS a una ya existente en la que conservaremos el sistema anterior como subsistema de apoyo para los casos en los que la demanda mínima no pueda ser satisfecha por la nueva instalación solar térmica.

En la figura 1.9 se presenta un esquema de principios de la instalación en cuestión, en el que aparecen los tres primeros subsistemas que se acaban de mencionar (captación, intercambio y acumulación) que irán conectados al subsistema de apoyo ya existente.

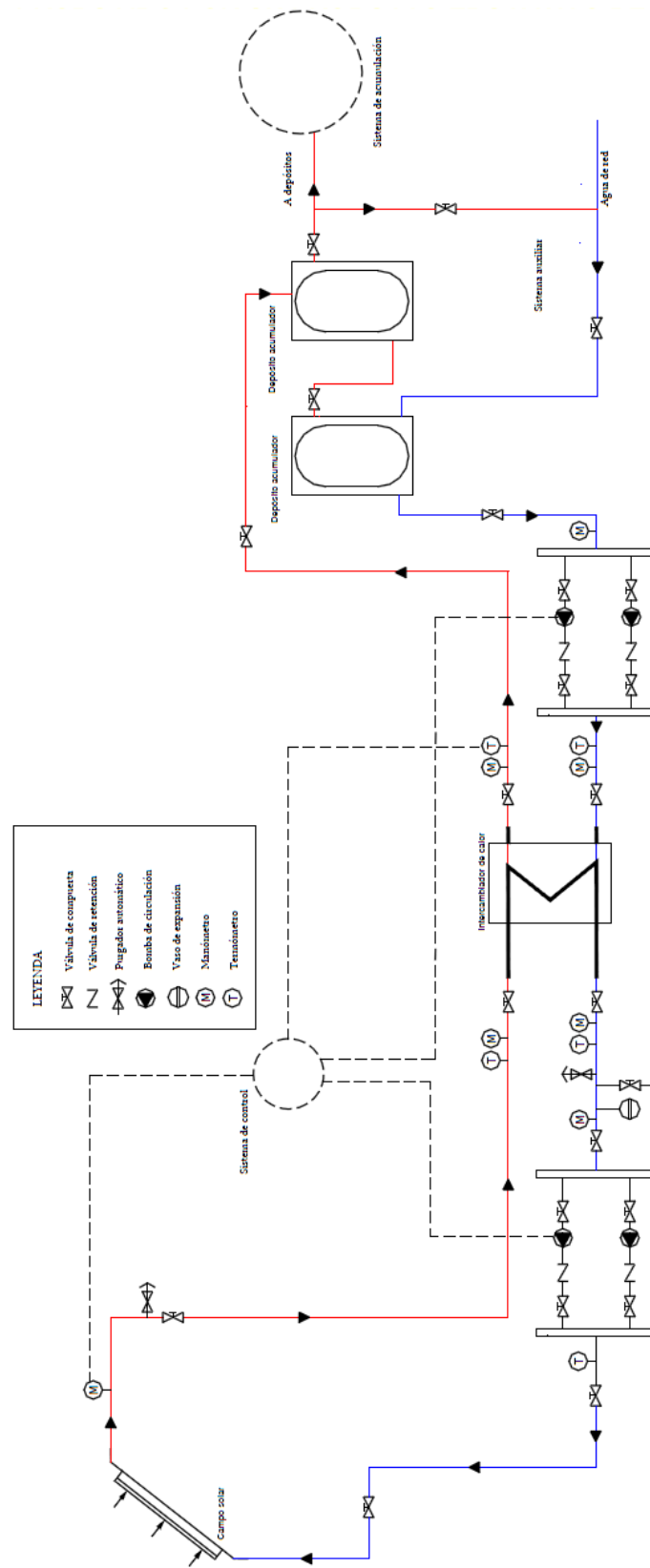


Figura 1.9 Esquema de principios de la instalación de ACS.

El procedimiento en cualquier instalación solar comienza con la absorción de la energía térmica contenida en los rayos solares que pasará a calentar el fluido que circula por el interior del captador, el cual contará con un aislamiento térmico lo más eficaz posible para evitar que el fluido pierda su calor. En el caso de que el fluido de trabajo sea líquido, como es este caso, la opción más habitual para mantener la energía térmica es a través de un tanque de almacenamiento correctamente aislado.

Dado que los depósitos de almacenamiento pierden el calor con el tiempo, generalmente, se dimensionan para que la acumulación sea la equivalente a la demanda de un día ya que, si se diseñará para cubrir el 100% del consumo, sería necesario instalar unos sistemas de acumulación muy costosos e inviables económicamente. Es por esto que en la instalación se cuenta con un aporte de energía extraordinario que entrará automáticamente en funcionamiento en el caso de un déficit en la producción de ACS por parte del sistema solar. Este sistema de apoyo utilizará medios energéticos convencionales como son gasóleo, gas o electricidad.

1.5.2 Elementos principales de la instalación

a) Captación solar

El captador solar plano es un intercambiador de calor que transforma la energía radiante procedente de la radiación solar en energía térmica que aumenta la temperatura de un fluido de trabajo contenido en su interior. Conjuga el *efecto de cuerpo negro* con el *efecto invernadero* para absorber la mayor parte de la radiación solar que llega a su superficie devolviendo la menor cantidad posible.

Sus principios básicos se pueden numerar de la siguiente forma:

1. El aporte de energía es “incontrolable”.
2. El aporte de energía y la demanda en la instalación están desfasados.
3. El rendimiento del captador depende fuertemente de su orientación e inclinación.
4. A menor temperatura de fluido a la entrada al captador mayor será su rendimiento.
5. Interesa la captación de energía solar a la mayor temperatura posible.
6. Entre el consumo de energía solar y de energía convencional siempre se dará preferencia a la primera.

Los captadores planos destinados a la producción de ACS están generalmente formados por una caja herméticamente cerrada cuyo lado superior es una superficie acristalada que permite el paso de la radiación solar pero que impide la pérdida de dicha ganancia térmica, el resto de la carcasa que envuelve al captador puede ser de metal, de algún plástico especial u otro material.

El interior contiene la placa absorbente, fabricada con materiales con elevada conductividad térmica como son el cobre, aluminio, etc ya que hablamos del lugar en el que se realiza la captación de la radiación solar propiamente dicha. Cuenta con un conjunto de tubos con dos tomas una por donde entra el fluido a calentar y otra por donde sale.

Para este proyecto se va a utilizar una superficie de captación de 210 m² de los 520 m² de los que se disponen y un total de 100 captadores instalados en la cubierta de la séptima planta, concretamente en el ala Sureste.

En cuanto a la conexión de los captadores se ha decidido instalar 2 captadores en serie según la siguiente figura:

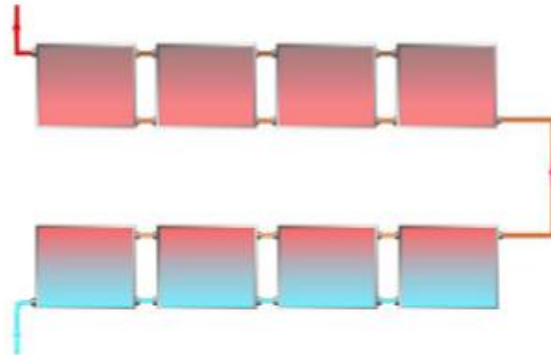


Figura 1.10 Esquema de conexión en serie (serie/paralelo).

A efectos de minimizar las pérdidas energéticas en el circuito se ha optado por el diseño de los recorridos de tubería con retorno invertido, es decir, hablamos de un diseño en el que las longitudes de los circuitos de ida y de retorno son iguales. Con esto se consigue que el circuito quede más equilibrado y la pérdida de carga unitaria por metro de tubería sea lo más similar posible en los diferentes tramos de la instalación.

Con la misma finalidad que el criterio de diseño anterior, de reducir lo máximo posible las pérdidas, se busca una orientación óptima que coincide con la orientación Sur geográfico y una inclinación de los captadores solares similar a la latitud del lugar ($\pm 10^\circ$), punto en el que el aprovechamiento de la radiación solar es máximo. Basándose en esto, la disposición de los captadores en este proyecto tendrá una orientación Sur y una inclinación de 37° sobre la horizontal, coincidiendo con la latitud de la localidad en la que se encuentran.

b) Intercambiador de calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir el calor entre dos medios, sea que estos estén separados por una barrera sólida o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico.

Dada la multitud de aplicaciones que estos dispositivos ofrecen, se puede realizar una clasificación dependiendo de su construcción:

- Intercambiadores de contacto directo: son aquellos dispositivos en los que los fluidos sufren una mezcla física completa.
- Intercambiadores de contacto indirecto: se utilizan dos fluidos de trabajo diferentes para cada circuito que nunca llegan a estar en contacto entre sí.

Para la elección del mismo se consideran aspectos como el tipo de fluido, la densidad, la viscosidad, el contenido en sólidos disueltos, el límite de temperaturas, la conductividad térmica, etc.

En este caso trabajaremos con un intercambiador de contacto indirecto de placas. De contacto indirecto porque el fluido que circula por el circuito primario, es decir, por el campo de captadores es agua con anticongelante para proteger a la instalación de heladas, mientras que por el circuito secundario circulará el agua destinada al consumo final.

El principio de funcionamiento de un intercambiador de placas consiste en transferir el calor del fluido del circuito primario obtenido a su paso por el campo de captadores al fluido del circuito secundario. Está compuesto por una pila de placas metálicas que se mantienen unidas de modo que se forma una serie de pasillos interconectados por los que circula el fluido. Cada placa consta de cuatro orificios de forma que a través de dos de ellos circule el fluido frío o caliente.

c) Acumulación solar

Sin duda, la energía que se recibe del Sol no siempre coincide con las épocas de mayor consumo, es por esto, que si se desea aprovechar al máximo la energía que nos concede el Sol, será necesario acumularla en aquellos momentos del día que más radiación existe en forma de calor y en depósitos especialmente diseñados para utilizarla posteriormente cuando se produzca la demanda.

Será muy importante tener en cuenta la capacidad de acumulación del depósito que se va a emplear ya que deberá mantener un equilibrio con los metros cuadrados de superficie de captación solar.

Por norma general se darán mejores resultados en depósitos con forma cilíndrica, debido al fenómeno de estratificación por el que el agua caliente disminuye su densidad y tiende a ascender por encima del agua fría, de modo que cuando mayor sea la altura del depósito mayor será la diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior del tanque. Con una adecuada elección del material de construcción, que evite las corrosiones en el tanque de almacenamiento, y recubiertos de un material aislante.

Por todo esto, se ha decidido instalar dos depósitos de 10000 litros cada uno conectados en serie puesto que esta instalación está diseñada para un volumen de acumulación de 19740 litros. Todos los depósitos tienen forma cilíndrica y se colocan horizontalmente dentro de la sala de máquinas en la planta baja del hospital.

d) Sistema de apoyo

El sistema de energía de apoyo o auxiliar es un elemento imprescindible en cualquier instalación solar si no se quieren sufrir restricciones energéticas en aquellos periodos en los que la radiación incidente no es la suficiente para cubrir la demanda y/o el consumo es superior a lo previsto. Para prevenirlo, se cuenta con un apoyo basado en energías “convencionales”. Dicho subsistema es recomendable que se encuentre vinculado a un sistema de control adecuado que gestione correctamente la instalación con el fin de reducir al máximo la entrada en funcionamiento de este subsistema auxiliar.

En el presente proyecto el hospital cuenta con un sistema de apoyo convencional descrito anteriormente.

e) Sistema hidráulico

En cuanto a las tuberías que componen el circuito hidráulico es necesario hacer una distinción entre las destinadas al circuito primario y, por tanto, tuberías exteriores y las pertenecientes al circuito secundario e interiores.

Para ambos circuitos se empleará como material el cobre por sus buenas propiedades para trabajar con mezclas de agua y glicol. Es el más aconsejable para instalaciones de energía solar por ser resistente a la corrosión, económico, duradero y con una buena protección contra los contaminantes del suministro de agua doméstica.

El circuito primario es aquel que une el campo de captadores con el intercambiador y su posterior retorno. Por el circula como fluido caloportador de trabajo una mezcla con base de propilenglicol al 30%, se emplea este fluido de gran durabilidad por aumentar la capacidad de transferencia térmica en el circuito, evitando la formación de depósitos, y por la protección que ofrece frente a heladas.

En el circuito secundario circulará el agua potable procedente de la red de agua del hospital.

Para realizar el dimensionamiento de las tuberías se realizara una división de la red en tramos cuya finalidad es seleccionar el diámetro adecuado del conjunto de tramos de tuberías y conocer la velocidad y pérdida de carga en cada uno de ellos. Comprobando si cumplen las especificaciones recogidas en el pliego de condiciones técnicas del instituto para la diversificación y el ahorro de energía (IDAE).

Este método de cálculo se describirá y aplicará en el apartado 2.6 de la memoria de cálculo.

Con lo anterior es posible conocer la pérdida de carga total que ha de vencer el grupo de bombeo para cada circuito. Las bombas se colocarán en la tubería de retorno para el caso del circuito primario y en la entrada al intercambiador en el circuito secundario. Según la norma para instalaciones con superficie de captación superior a 50 m², se montarán dos bombas idénticas en paralelo tanto en el circuito primario como en el secundario, dejando una de ellas en reserva para garantizar la continuidad de funcionamiento en caso de avería.

Los grupos de bombeo contarán con válvulas de retención para evitar el sentido inverso de la corriente así como válvulas de corte con el fin de poder realizar reparación o mantenimiento.

Dentro del sistema hidráulico es necesario evitar la existencia de bolsas de aire en las conducciones de la instalación que provoquen que el caudal de circulación disminuya o incluso llegue a bloquearse. Para hacer esto posible se instalarán purgadores en los lugares altos del circuito ya que serán las zonas más propensas a la acumulación de aire.

El circuito primario que une el campo solar con el intercambiador es un circuito cerrado lo que hace que sea necesario un dispositivo de expansión cuya función sea la de absorber las variaciones de volumen de fluido caloportador que puedan producir al variar su temperatura. El exceso de volumen que se produce al aumentar la temperatura es almacenado en su totalidad en el depósito de expansión y se consigue que la presión se mantenga entre los límites establecidos. En cuanto a su diseño, ha sido calculado según la norma UNE 100155:2004 y al tratarse de un circuito cerrado se montará en la zona de aspiración de la bomba.

f) Sistema de regulación y control

En toda instalación solar es necesario un sistema de regulación y control automático en el que, a través de equipos de control, se controlen los diferentes elementos de la instalación.

El control del circuito primario se efectúa a través de la bomba del circuito primario, cuyo funcionamiento viene determinado por la diferencia de temperatura en el fluido caloportador medida entre la salida de los captadores y la salida del acumulador.

Este diferencial se activará en el caso de que la diferencia sea superior a 7°C y la bomba comenzará a funcionar. Por el contrario, si la diferencia es inferior a 2°C el sistema de control detendrá el funcionamiento de la bomba.

Otra función del sistema de control se centra en el sistema de apoyo. Para ello se dispondrá de una sonda de temperatura a la salida del acumulador que registrará la temperatura del agua sanitaria, haciendo que el sistema auxiliar entre o no en funcionamiento según la demanda requerida en ese momento.

Para este caso el sistema auxiliar se activará en el instante que exista caudal de consumo y la temperatura medida por la sonda sea inferior a la temperatura del agua de consumo más 5°C.

Los sensores de temperatura empleados estarán colocados en los distintos puntos del circuito y deberán estar aislados de las condiciones ambientales que los rodean.

1.6 Características técnicas de los equipos

a) Captadores solares

Los captadores solares planos que se van a instalar en este proyecto son el modelo SK400N-AL de la marca Sonnenkraft cuyas características son las siguientes:

- Superficie bruta: 2.09 m².
- Dimensiones totales: 2031 x 1031 x 90 mm.
- Cubierta: vidrio de seguridad resistente al granizo y bajo contenido de hierro de 3.2 mm.
- Carcasa: bandeja de aluminio embutida, resistente al ambiente marino.
- Absorbedor: absorbedor de aluminio en toda la superficie, revestimiento aplicado en vacío altamente selectivo.
- Peso en vacío: 32 kg.
- Presión máxima de trabajo: 10 bar.
- Rendimiento óptico: 77.9%.
- Coeficiente de pérdidas k1: 3.914.
- Coeficiente de pérdidas k2: 0.012.
- Sistema de fijación: los elementos de fijación se suministran con todos los accesorios necesarios.

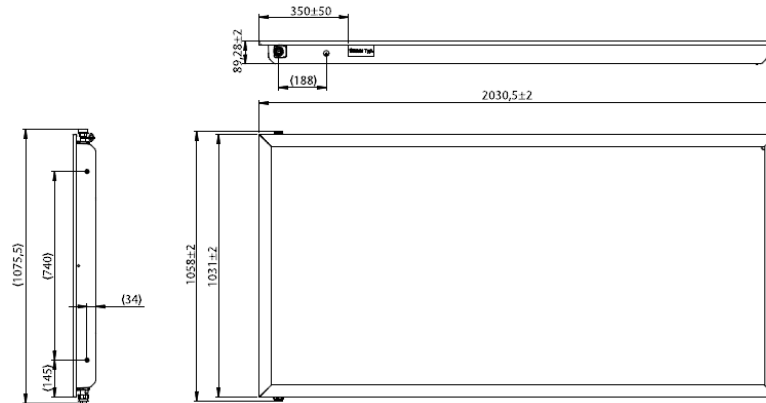


Figura 1.11 Esquema del captador solar plano.

b) Intercambiador de calor

Como intercambiador de calor de la instalación que se pretende diseñar, se ha seleccionado el modelo M6-FM/30H de la marca Alfa Laval con las siguientes características principales:

- Número de placas: 30.
- Área de intercambio: 920 x 320 mm.
- Potencia: 110 kW.
- Material: titanio/acero inoxidable.
- Caudal primario: 10 m³/h.
- Caudal secundario: 9.6 m³/h.
- Salto térmico en primario: 55-45°C.
- Salto térmico en secundario: 40-50°C.
- Pérdida de carga en primario: 3.1 m.c.a.
- Pérdida de carga en secundario: 3.3 m.c.a.
- Presión máxima de trabajo: 10 bar.

Se adjunta un esquema del intercambiador seleccionado en la figura 1.12.

c) Acumulador solar

Para el caso de los acumuladores solares se ha decidido instalar 2 depósitos de 10000 l cada uno, conectados en serie con una capacidad total de 20000 l. Se trata de depósitos de la marca Lapesa, modelo MV-10-IB. Esta gama de depósitos puede equiparse con un sistema de

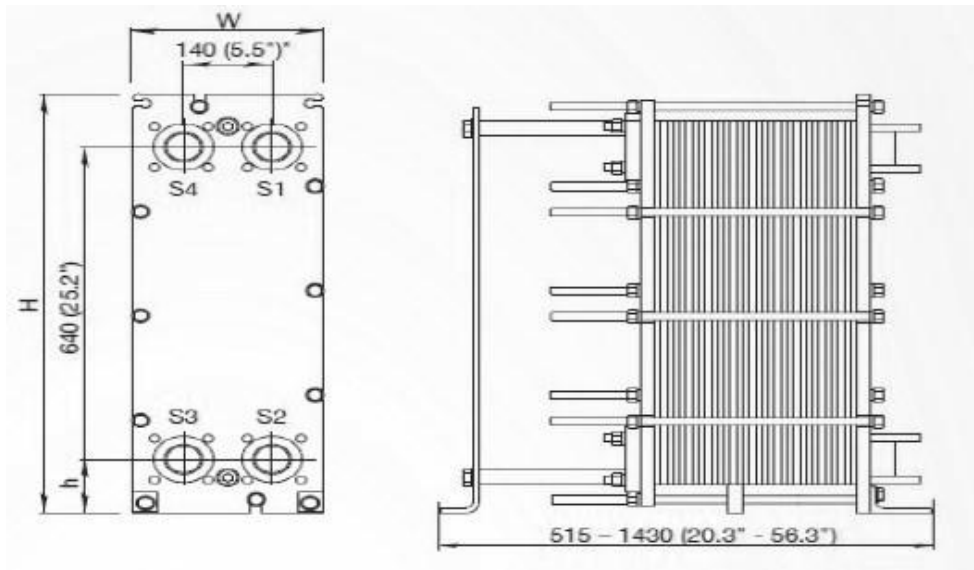


Figura 1.12 Esquema del intercambiador de calor.

serpentes desmontables en acero inoxidable así como también están preparados para la incorporación de resistencias eléctricas de calentamiento principal o de apoyo.

Los depósitos acumuladores pueden suministrarse con nuestro equipo de protección catódica permanente o con aislamiento desmontable en fibra de vidrio de 50 o 100 mm. de espesor con forro en PVC.

Sus características principales se recogen a continuación:

- Capacidad: 10000 l.
- Material: acero carbono S235JR.
- Presión de trabajo: 6 bar.
- Temperatura máxima de trabajo: 110°C.
- Boca de hombre lateral: DN400.
- Peso en vacío: 1243 kg.
- Dimensiones:
 - a: conexión lateral, 3" GAS/H
 - b: conexión inferior, 1-1/4" GAS/H
 - c: conexión superior, 2" GAS/H
 - R: conexión lateral, 2" GAS/H
 - g: conexión sensores, 3/4" GAS/H
 - BH: boca de paso de hombre lateral DN400.
 - d: depósito acumulador.
 - j: orejetas manipulación.
 - p: pies de elevación.

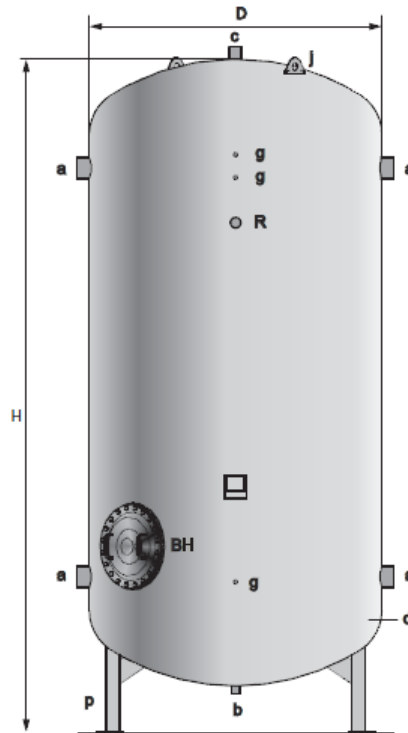


Figura 1.13 Esquema del acumulador solar.

d) Bombas del circuito solar

Para el circuito primario se ha seleccionado la bomba de la marca Wilo modelo TOP-Z 25/10 cuyas características principales se detallan a continuación:

- Descripción: Bomba circuladora de rotor húmedo que no requiere mantenimiento, con conexión roscada o embriada y velocidades preseleccionables para la adaptación de la potencia.
- Máxima presión de trabajo: 16 bar.
- Rango de temperatura: 0°C/ +80°C.
- Temperatura ambiente máxima: 40°C.
- Alimentación eléctrica: 1-230 V, 50 Hz.
- Intensidad nominal: 1.62 A.
- Potencia nominal del motor: 180 W.
- Peso: 7 kg.

En la figura 1.14 se muestra la curva característica de nuestro modelo en función de la altura y caudal de diseño:

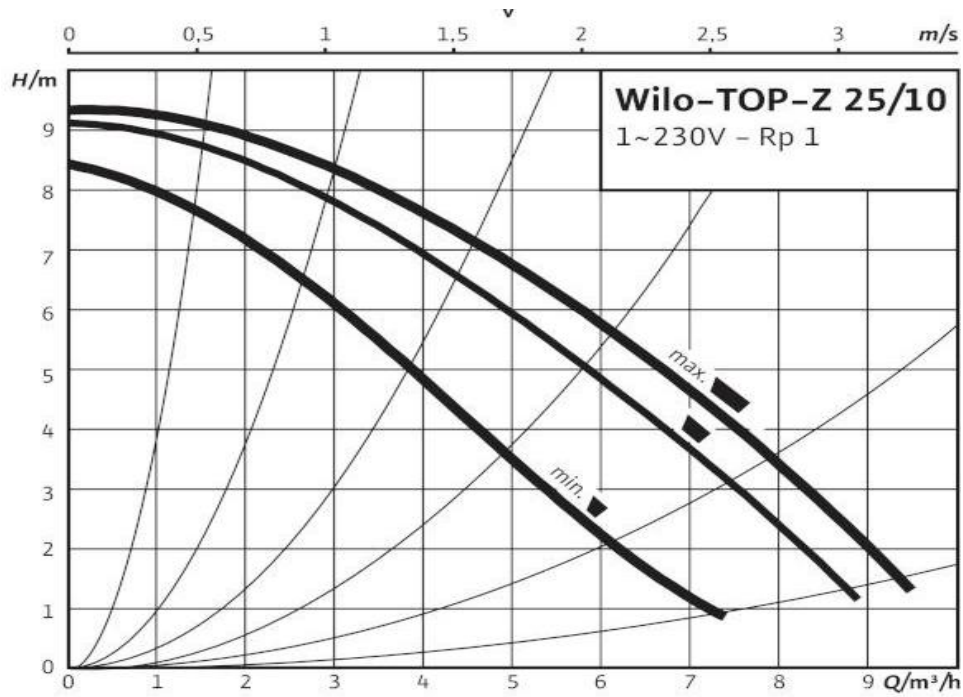


Figura 1.14 Curva altura/caudal de diseño de la bomba del primario.

La figura 1.15 representa la relación entre la potencia de la bomba y su caudal de diseño:

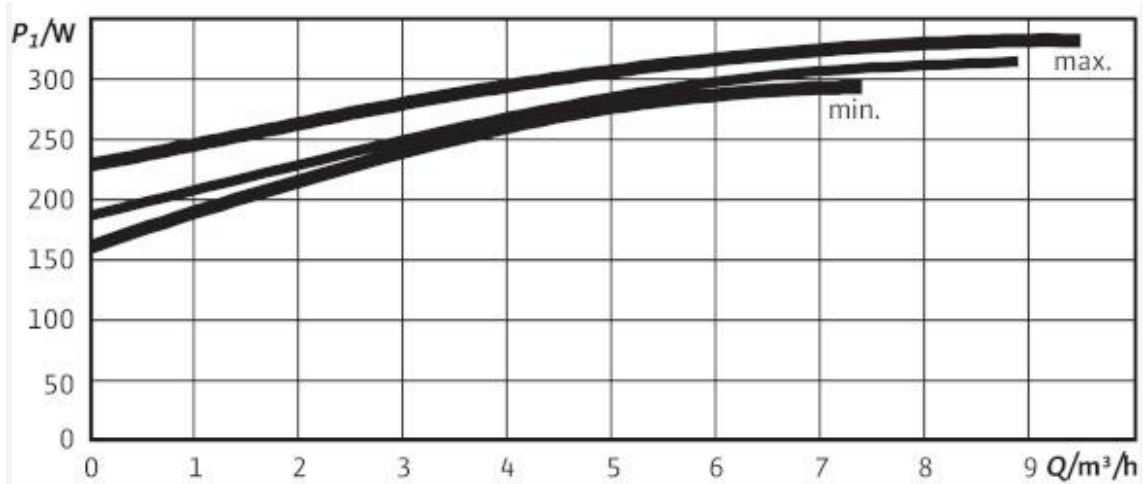


Figura 1.15 Curva de potencia de la bomba del primario.

Por último en la figura 1.16 se adjunta un esquema de la bomba con sus dimensiones:

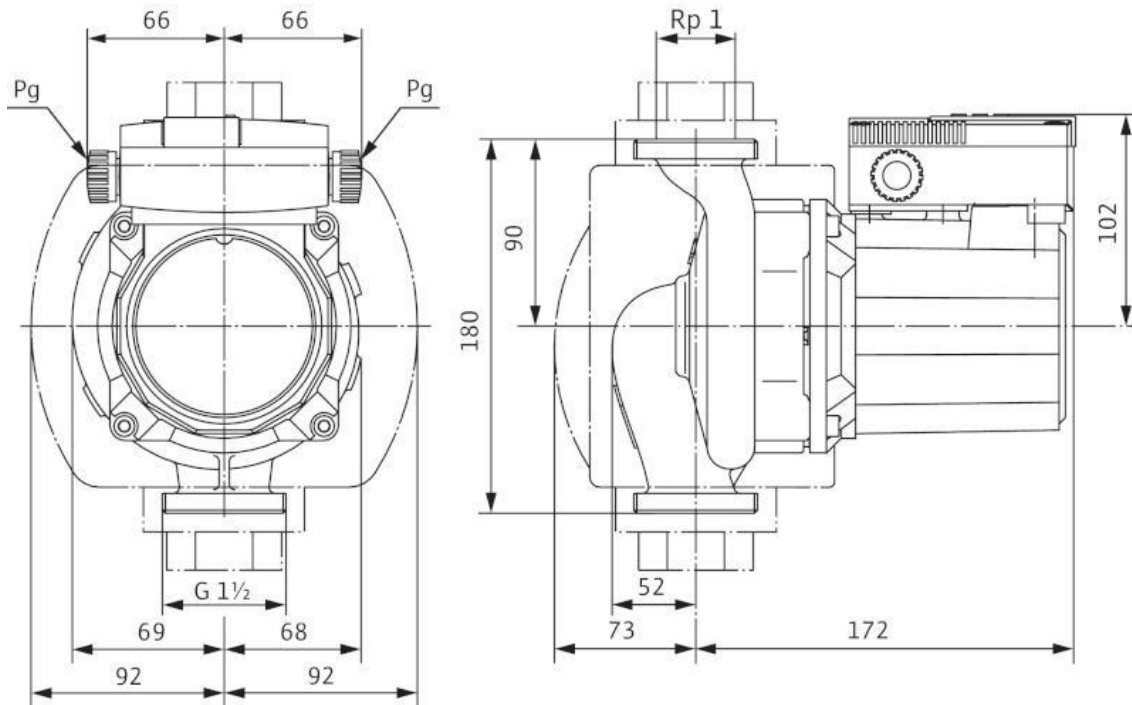


Figura 1.16 Dimensiones de la bomba del primario.

Para el circuito secundario se ha seleccionado una bomba de la misma marca modelo VeroLine-IP-Z 25/6 y sus características principales son:

- Descripción: bomba centrífuga de rotor seco de una etapa en diseño Inline para el montaje en tubería con carcasa de acero inoxidable.
- Máxima presión de trabajo: 10 bar.
- Rango de temperatura: -8°C/ +110°C.
- Temperatura ambiente máxima 40°C.
- Alimentación eléctrica: 1-230 V, 50 Hz.
- Intensidad nominal 1.45 A.
- Potencia nominal del motor: 0.18 kW.
- Peso: 6 kg.

En la figura 1.17 se muestra la curva característica de nuestro modelo en función de la altura y caudal de diseño:

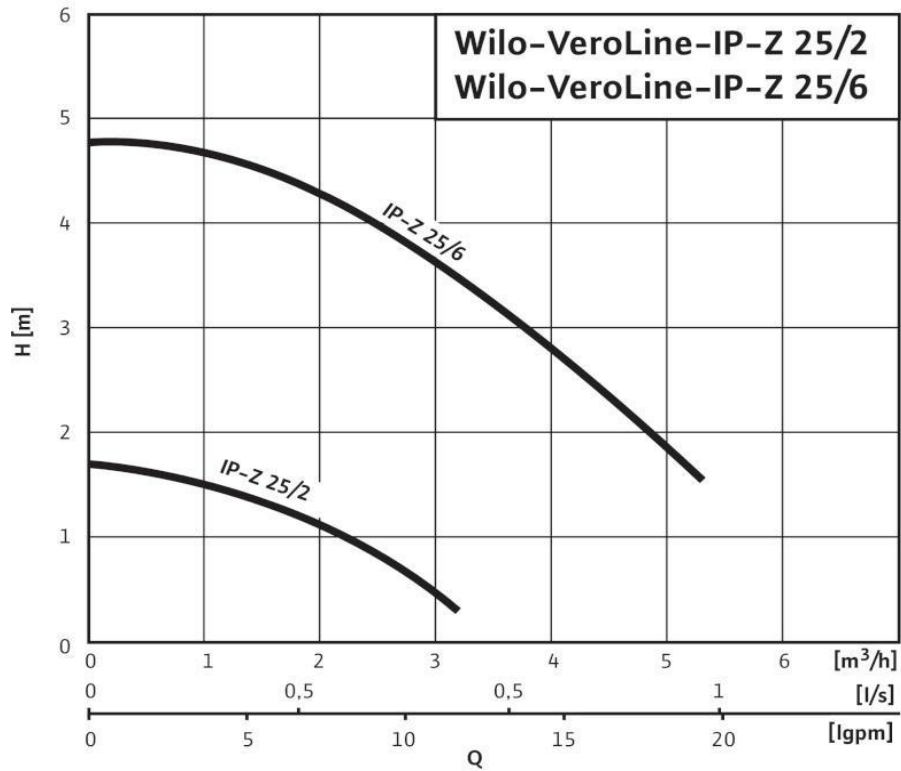


Figura 1.17 Curva altura/caudal de diseño de la bomba del secundario.

Al igual que en el caso anterior, se adjunta un esquema de nuestra bomba en cuestión con sus dimensiones correspondientes:

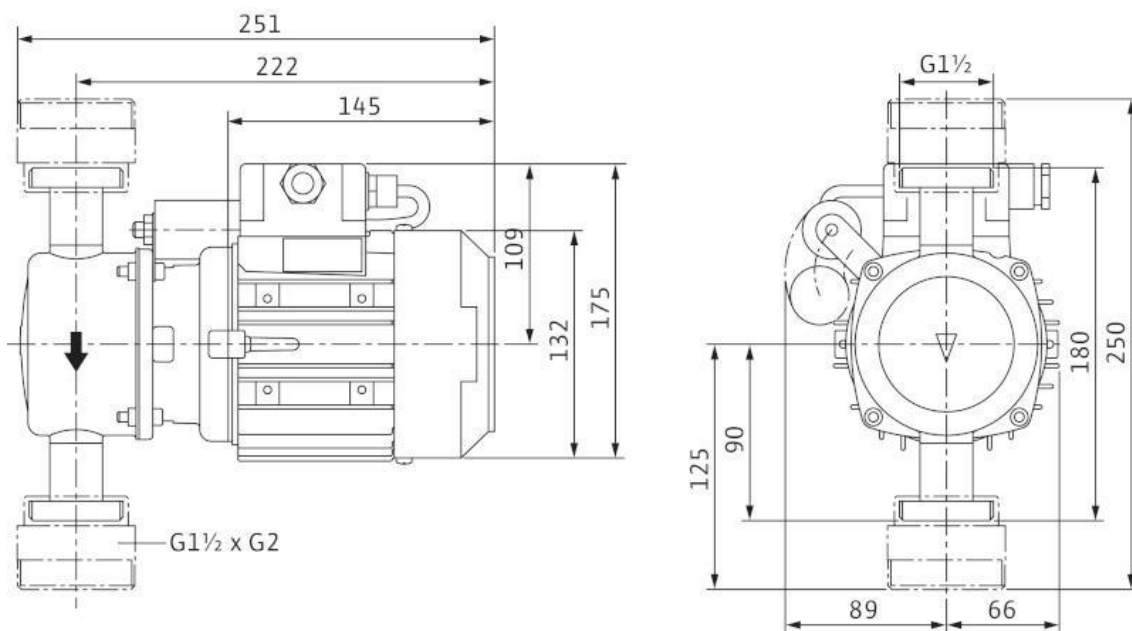


Figura 1.18 Dimensiones de la bomba del secundario.

e) Vaso de expansión

El vaso de expansión seleccionado pertenece a la marca Salvador Escoda modelo AC 04 042 8-AMR-B y sus características más destacadas son:

- Capacidad: 8 l.
- Presión máxima de trabajo: 10 bar.
- Temperatura máxima de funcionamiento: $-10^{\circ}\text{C}/+100^{\circ}\text{C}$.
- Dimensiones: B 200 mm, H 345 mm, D $\frac{3}{4}''$.
- Dos fondos en acero, tapa y manguito de acero inoxidable.
- Revestimiento exterior con pintura blanca polvo EPOXI secado al horno.
- Se entrega con precarga de 3 bar.

En la figura 1.19 se muestra un esquema del vaso de expansión elegido:

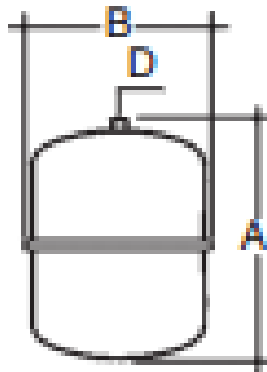


Figura 1.19 Esquema del vaso de expansión.

1.7 Normativa

En este apartado se describirán brevemente las normas de obligado cumplimiento en el diseño de cualquier instalación solar térmica, centrándonos concretamente en las que afectan a nuestro caso.

a) Código Técnico de la Edificación (CTE) HE-4

o Contribución solar mínima

La localidad de Huelva se sitúa en la zona climática IV en el mapa de estimación de la cantidad de energía media diaria por unidad de superficie (irradiación) en España, por tanto, según la norma se debe cumplir una fracción solar mínima del 70%.

Para este caso y tras los cálculos pertinentes se obtiene una fracción solar del 74%, por lo que queda satisfecha la norma.

o Contribución solar máxima

El dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110 % de la demanda energética y en no más de tres meses el 100 %.

En esta instalación como puede observarse en la tabla 1.1 sólo se supera el 100% en dos meses y el 110% en ninguno de ellos con lo que la exigencia queda cumplida.

Mes	f
Enero	49%
Febrero	55%
Marzo	67%
Abril	71%
Mayo	88%
Junio	92%
Julio	102%
Agosto	102%
Septiembre	92%
Octubre	73%
Noviembre	55%
Diciembre	44%

Tabla 1.1 Fracción solar por mes.

o Límite de pérdidas

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

En la figura 1.20 se muestra el gráfico que recoge el porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. Para este caso el ángulo de inclinación es de 45° respecto a la horizontal y el ángulo de orientación de 0° , ya que el campo de captadores está orientado al Sur.

Para mayor claridad se ha situado con un punto rojo este caso, puede apreciarse que el aprovechamiento de la energía respecto al máximo es del 95%.

En cuanto al método de cálculo de las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debidas a sombras circundantes para este edificio no existen tales pérdidas, dado que no existen edificios colindantes a mayor altura.

b) Norma UNE

- UNE 100155

Recoge el método de cálculo utilizado para dimensionar el vaso de expansión.

- UNE 94002

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

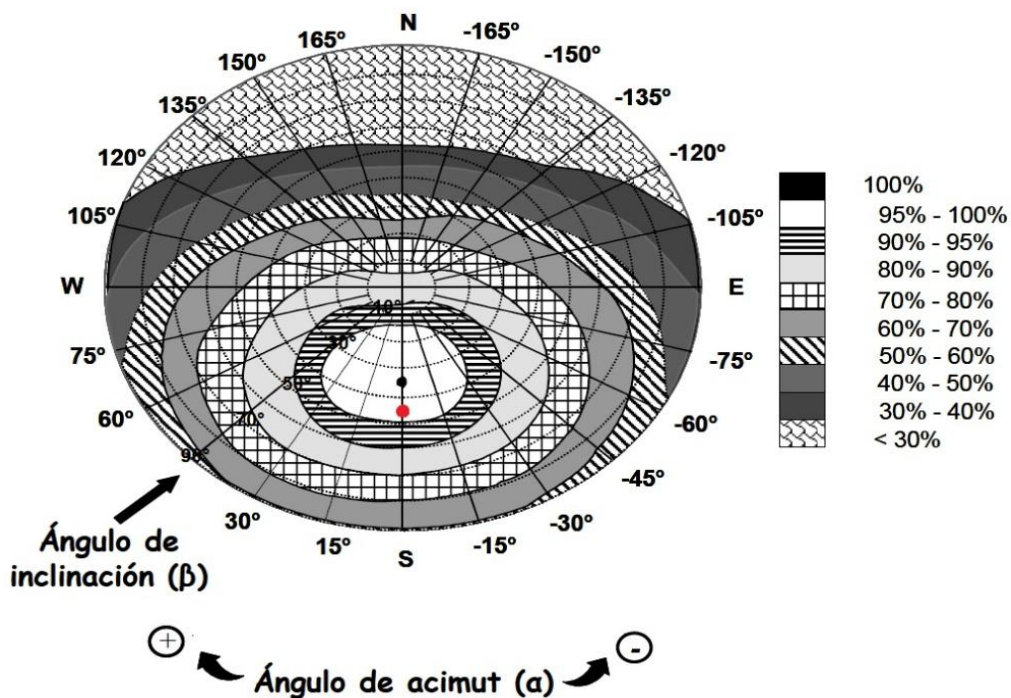


Figura 1.20 Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

- UNE 94003

De esta norma se obtienen los datos climáticos para el dimensionado de esta instalación solar, concretamente nos proporciona valores de irradiación global sobre superficie horizontal y de temperatura media ambiente en cada provincia.

c) Reglamento de instalaciones térmicas en la edificación (RITE)

- Preparación de agua caliente para usos sanitarios (IT 1.1.4.3.1)

Impone las condiciones de funcionamiento para la prevención de la legionelosis en la producción de ACS, dado que las instalaciones de producción con acumulación y recirculación son las instalaciones pertenecientes al grupo de mayor riesgo, mediante lo siguiente:

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

Además, los sistemas, equipos y componentes de la instalación térmica, que de acuerdo con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la legionelosis deban ser sometidos a tratamientos de choque térmico se diseñarán para poder efectuar y soportar los mismos, teniendo en cuenta que los materiales empleados en el circuito resistirán la acción agresiva del agua sometida a tratamiento de choque químico.

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

- Aislamiento térmico (IT 1.2.4.2.1)

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

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

- Medición (IT 1.3.4.4.5)

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

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

El equipamiento mínimo de aparatos de medición será el siguiente:

- En colectores de impulsión y retorno de un fluido portador: un termómetro.
 - En el vaso de expansión: un manómetro.
 - En el circuito secundario de tuberías de un fluido portador: un termómetro en el retorno, uno por cada circuito.
 - En las bombas: un manómetro para lectura de la diferencia de presión entre aspiración y descarga, uno por cada bomba.
 - En el intercambiador de calor: termómetros y manómetros a la entrada y salida de los fluidos.
- Sistema de distribución de agua (IT 2.3.3)

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

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

- Control automático (IT 2.3.4)

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

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

1.8 Bibliografía

- 1) Código técnico de la edificación (CTE), sección HE 4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.” 2013.
- 2) IDAE “Reglamento de instalaciones térmicas en edificios” 2013.
- 3) IDAE, “Guía técnica de agua caliente sanitaria central” 2010.
- 4) Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Industria (RITE) 2013.
- 5) APUNTES, asignatura Energía Solar a Baja Temperatura, 2014.
- 6) AEONOR, Norma UNE 100-155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” 2004.
- 7) AEONOR, Norma UNE 94002 “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria” 2005.
- 8) AEONOR, Norma UNE 94003 “Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones térmicas” 2007.

Referencias Web:

- 9) <http://www.aeonor.es>
- 10) <http://www.idae.es>
- 11) <http://www.wilo.es>
- 12) <http://www.sonnenkraft.es>
- 13) <http://www.salvadorescoda.com>
- 14) <http://www.alfalaval.com>
- 15) <http://www.lapesa.es>
- 16) <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es>
- 17) <http://daeecologica.tripod.com/forzado.html>

2. Memoria de cálculo

2.1 Introducción

A lo largo de este documento se desarrollarán y justificarán los cálculos realizados para el diseño de una instalación solar térmica de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria en un hospital situado en Huelva durante todo el año.

Se dimensionará la configuración a seguir por los elementos de captación, así como los equipos necesarios para implementar la instalación. Todo ello cumpliendo las directrices del reglamento técnico correspondiente.

2.2 Datos de partida

a) Parámetros geográficos

El edificio en cuestión se encuentra en la localidad de Huelva, a 63 metros de altitud sobre el nivel del mar, con una latitud de $37^{\circ} 16' 49.36''$ y orientación Sur.

b) Parámetros climáticos

Según la norma UNE correspondiente nos encontramos en la zona climática V, atendiendo al mapa de zonas climáticas nacional.

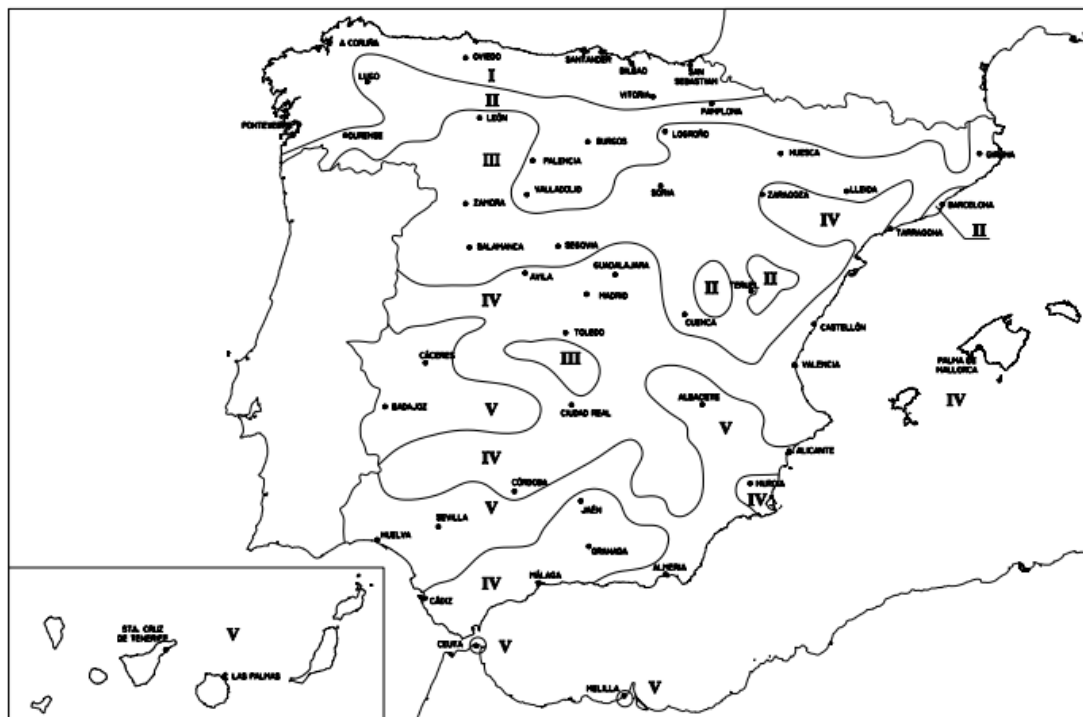


Figura 2.1 Zonas climáticas según la norma UNE:94003:2007.

Siguiendo la misma norma también obtenemos los datos de de radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal y de temperatura ambiente para la provincia de Huelva que se resumen en la Tabla 2.1.

Mes	Radiación global sobre superficie horizontal (kJ/m ² día)	Temperatura ambiente media (°C)
Enero	8500	12.2
Febrero	11700	12.8
Marzo	15500	14.4
Abril	19900	16.5
Mayo	24000	19.2
Junio	25600	22.2
Julio	27100	25.3
Agosto	24800	25.7
Septiembre	19400	23.7
Octubre	13700	20
Noviembre	9600	15.4
Diciembre	7500	12.5

Tabla 2.1 Radiación y temperatura ambiente según la norma UNE:94003:2007.

Dado que para este proyecto se cuenta con una inclinación diferente a la horizontal, es necesario hacer los cálculos pertinentes para obtener la radiación global sobre superficie inclinada.

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

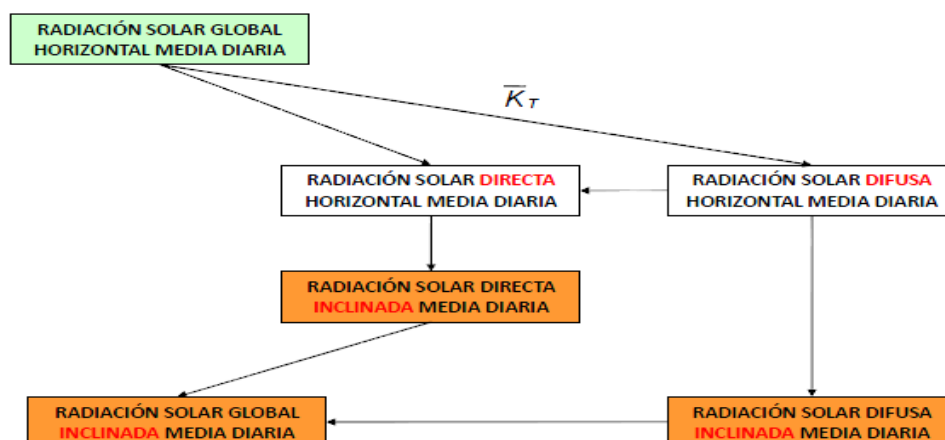


Figura 2.2 Esquema del cálculo de radiación solar global inclinada media diaria.

A partir de la ecuación de Cooper en la que se define la declinación como:

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

Se construye la Tabla 2.2 con las declinaciones para todos los meses:

Mes	Día del mes	Día del año	Declinación (°)
Enero	17	17	-20.9
Febrero	16	47	-13
Marzo	16	75	-2.4
Abril	15	105	9.4
Mayo	15	135	18.8
Junio	11	162	23.1
Julio	17	198	21.2
Agosto	16	228	13.5
Septiembre	15	528	2.2
Octubre	15	288	-9.6
Noviembre	14	318	-18.9
Diciembre	10	344	-23

Tabla 2.2 Declinación mensual.

Sabiendo que nuestra latitud son 37° y que el ángulo horario se define como:

$$w_s = \arccos (-\tan \Phi \cdot \tan \delta)$$

Siendo:

- Φ : latitud.

Se construye la Tabla 2.3 donde quedan expuestos sus valores mensuales.

El siguiente cálculo necesario será el del índice de claridad, definido como:

$$k_t = \frac{H_{g0}}{H_0}$$

Siendo:

- H_{g0} : la irradiación global horizontal.
- H_0 : la irradiación extraterrestre horizontal para la latitud que nos ocupa.

En la Tabla 2.4 se tabulan los valores obtenidos para cada mes.

Mes	Ángulo solar
Enero	73.28
Febrero	79.98
Marzo	88.19
Abril	97.17
Mayo	104.86
Junio	108.75
Julio	106.99
Agosto	100.42
Septiembre	91.66
Octubre	82.68
Noviembre	75.05
Diciembre	71.34

Tabla 2.3 Ángulo solar mensual.

Mes	Radiación extraterrestre horizontal (kJ/m ² día)	Índice de claridad media mensual
Enero	16800	0.46
Febrero	22300	0.54
Marzo	28800	0.55
Abril	35400	0.59
Mayo	39800	0.61
Junio	41700	0.62
Julio	40900	0.67
Agosto	37500	0.67
Septiembre	31700	0.66
Octubre	25000	0.54
Noviembre	18700	0.48
Diciembre	15500	0.44

Tabla 2.4 Radiación extraterrestre para latitud 37° e índice de claridad.

Para el último cálculo es necesario conocer el valor de R_D para cada mes, sabiendo que R_D es la relación entre radiación directa sobre una superficie inclinada y sobre una superficie horizontal y que está definida por la siguiente ecuación:

$$R_D = \frac{\cos(\Phi - s) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(w'_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot w'_s \cdot \sin(\Phi - s) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(w_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot w_s \cdot \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta)}$$

Sabiendo que:

- s : inclinación del panel sobre la horizontal.
- w'_s : ángulo solar en una superficie inclinada.

Esta última variable se calcula como:

$$w'_s = \text{MIN} (w_s, \arccos (-\tan (\Phi - s) \cdot \tan \delta))$$

Se recogen los valores de R_D para cada mes en la Tabla 2.5.

Mes	R_D
Enero	2.03
Febrero	1.66
Marzo	1.32
Abril	1.04
Mayo	0.87
Junio	0.80
Julio	0.83
Agosto	0.96
Septiembre	1.20
Octubre	1.54
Noviembre	1.93
Diciembre	2.16

Tabla 2.5 Coeficiente R_D para cada mes.

Finalmente, definiendo la radiación global sobre superficie inclinada como:

$$I_T = R_D \cdot I_D + \frac{1 + \cos s}{2} \cdot I_d$$

Y siendo:

- I_D : radiación solar directa sobre superficie horizontal.
- I_d : radiación solar difusa sobre superficie horizontal.

Se obtienen, en la Tabla 2.6 los valores definitivos de radiación solar global y de sus dos componentes, directa y difusa, sobre superficie inclinada:

Mes	Radiación global sobre superficie inclinada (kJ/m ² día)	Radiación directa sobre superficie inclinada (kJ/m ² día)	Radiación difusa sobre superficie inclinada (kJ/m ² día)
Enero	13061.44	9821.75	3239.69
Febrero	15874.13	11828.87	4045.26
Marzo	17829.89	12595.19	5234.70
Abril	19612.52	13517.81	6094.72
Mayo	21011.58	14032.52	6979.06
Junio	21232.06	13985.02	7247.03
Julio	22958.43	16333.39	6625.04
Agosto	23326.38	17263.62	6062.77
Septiembre	21482.19	16588.85	4893.35
Octubre	17547.25	12810.50	4736.76
Noviembre	13994.72	10193.01	3801.71
Diciembre	11856.27	8853.61	3002.65

Tabla 2.6 Radiación solar global, directa y difusa sobre superficie inclinada para cada mes.

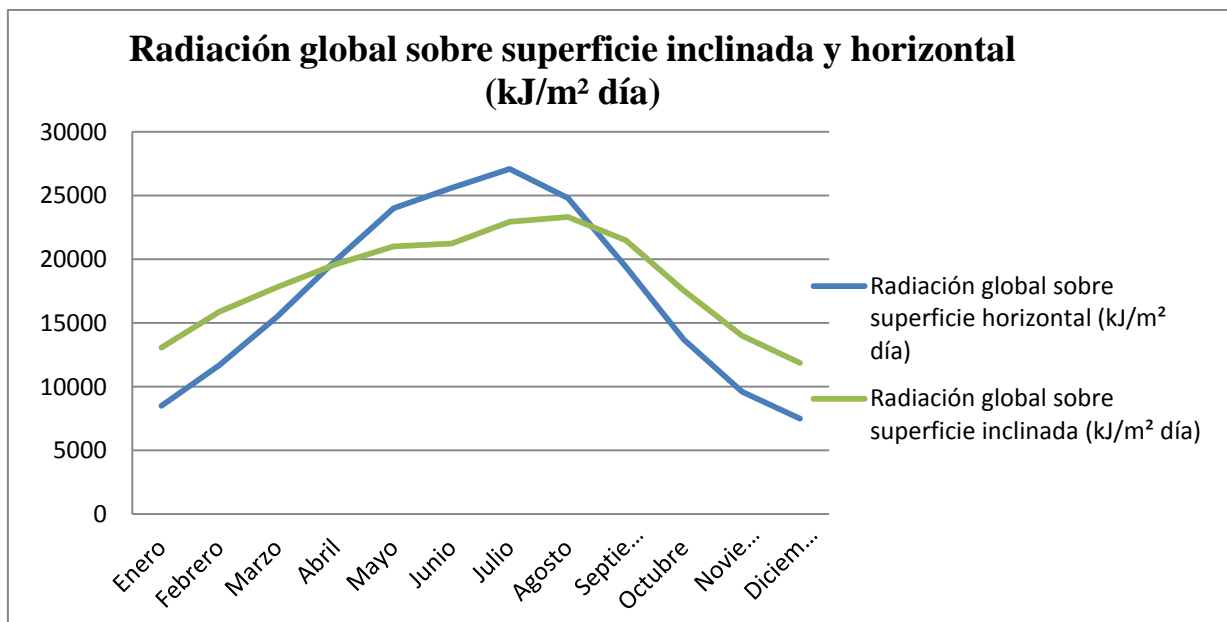


Figura 2.2 Radiación solar global sobre superficie inclinada y horizontal para cada mes.

2.3 Cálculo de la demanda

a) Cálculo del consumo

Para conocer el consumo de ACS asociado a este edificio, es necesario recurrir a la sección HE-4 del CTE. En él se estima para el caso de hospitales y clínicas un consumo de 55l/cama-día, por lo que particularizado, el consumo unitario diario medio será:

$$Q_{ACS} = 55 \text{ l/cama} \cdot \text{día} \cdot 320 \text{ camas} = 17600 \text{ l/día}$$

Este consumo está asociado a una temperatura de referencia de 60°C.

b) Demanda energética

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

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

Sabiendo que:

- L_{ACS} : demanda de energía (J/mes).
- Q_{ACS} : consumo unitario diario medio (l/día).
- ρ_{agua} : densidad del agua, para nuestro caso, 1 kg/l.
- C_p : calor específico del agua, constante e igual a 4190 J/kg·K
- T_{ac} : temperatura de referencia del agua caliente, según el CTE 60°C.
- T_{af} : temperatura del agua de red o temperatura del agua fría, estos valores se encuentran tabulados por la UNE para cada provincia y para cada mes.
- Δt : número de días del mes correspondiente (días).

A continuación se muestran en la Tabla 2.7 los valores mensuales obtenidos:

Mes	Taf (°C)	Demanda (MJ/mes)
Enero	12	101766.72
Febrero	12	98347.68
Marzo	13	96101.84
Abril	14	95599.04
Mayo	16	79459.16
Junio	18	72151.8
Julio	20	68716
Agosto	20	70392
Septiembre	19	73869.7
Octubre	17	84679.9
Noviembre	14	92515.2
Diciembre	12	102571.2

Tabla 2.7 Demanda energética y temperatura del agua de red mensual.

A continuación se muestra una gráfica con la tendencia de la demanda mensual:

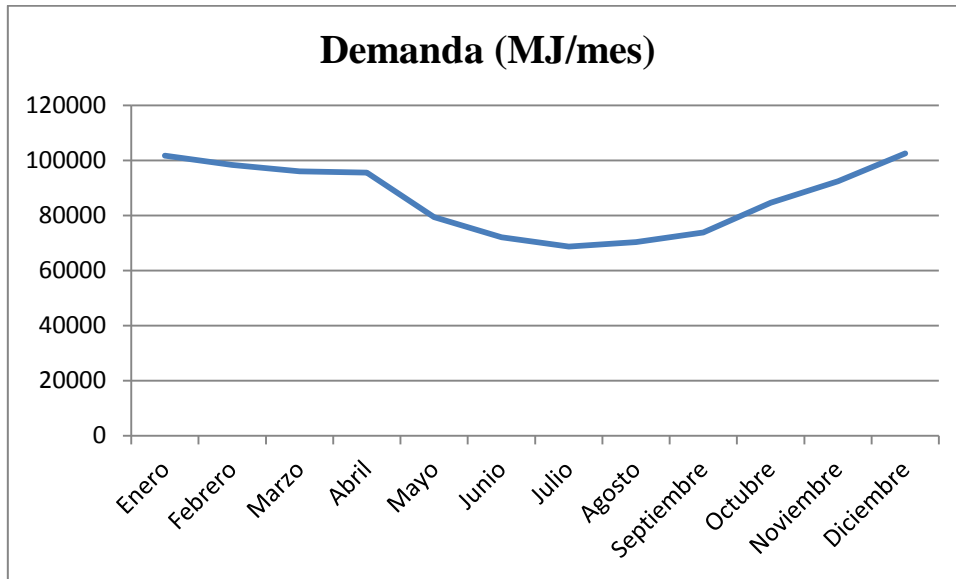


Figura 2.3 Demanda energética para cada mes.

2.4 Cálculo de la superficie de captación

a) Determinación de la fracción de demanda cubierta anual

El factor que determina la superficie de captación necesaria es la fracción de demanda cubierta “f”, definida como:

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

Siendo:

- Q_{solar} : potencia térmica aprovechada de la radiación solar en un año.
- $Q_{consumida}$: potencia térmica consumida en un año.

El CTE establece un valor diferente según la zona climática en la que nos encontremos y representa el porcentaje de demanda de energía mínimo que necesita cubrir la instalación. Como se observa anteriormente en la Figura 2.1 Huelva ocupa la zona climática V.

A esta zona le corresponde una fracción “f” del 70%, es decir, la cobertura solar mínima debe ser del 70% de la demanda, suponiendo que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural u otros.

Aplicando el método de cálculo descrito en el apartado 1.3 de la memoria descriptiva junto con los siguientes datos de partida:

- Inclinação de los captadores: 45° respecto a la horizontal.
- Acimut: 0°.
- Número de captadores en serie: 2.

Instalación de energía solar para producción de ACS en un hospital

- Coeficientes característicos del captador seleccionado: $F_R (\tau\alpha)_h = 0.95$, $F_R U_L = 3.914$ W/m²K.
- Caudal de ensayo del captador: 0.008 kg/s m².
- Caudal específico del captador: 0.006 kg/s m².
- Efectividad del intercambiador: 75%.
- Porcentaje de radiación directa: 70%.

Se calcula la fracción de demanda cubierta para distintas áreas:

Área	f
100	0.41
125	0.49
150	0.57
175	0.65
200	0.72
210	0.74
225	0.78
250	0.84
275	0.89
300	0.94

Tabla 2.8 Fracción de demanda cubierta en función del área.

Aunque la cubierta dispone de hasta 520 m² los cálculos se realizan para un máximo de 300 m² porque se observa que a estos niveles ya se obtienen resultados que superan el mínimo impuesto por el CTE.

Si graficamos la tabla anterior se obtiene la tendencia de un parámetro frente al otro:

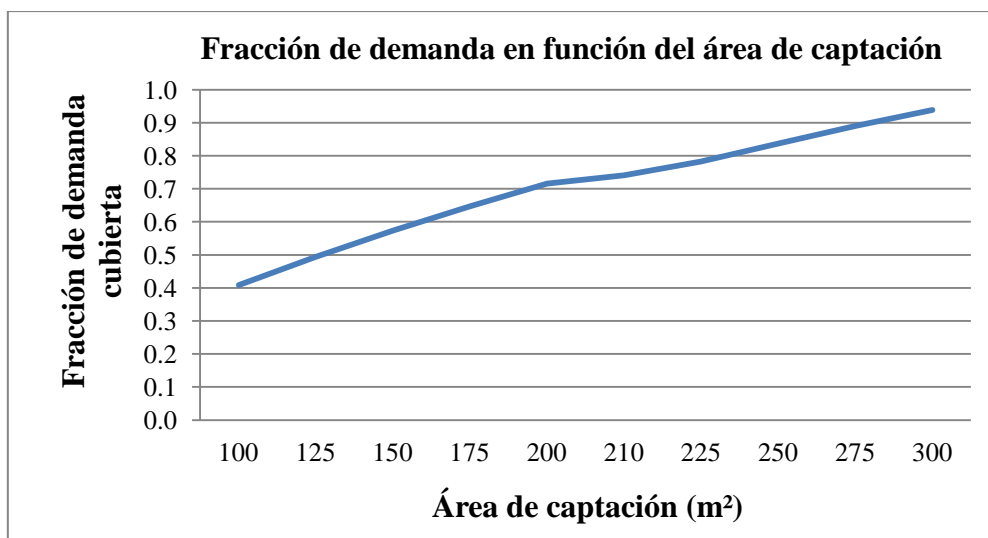


Figura 2.4 Fracción de demanda cubierta para cada área.

Como puede observarse en la Tabla 2.8 una vez superados los 200 m² la fracción de cobertura solar supera el 70% impuesto por el CTE pero, teniendo en cuenta la superficie de captación de cada captador, así como el número de captadores a instalar, la selección final será:

- Superficie total de captación: 210 m².
- Fracción de demanda cubierta: 74%.
- Area del captador: 2.09 m².
- Caudal específico en captadores: 0.006 kg/m²·s.
- Número de captadores en serie: 2.
- Pérdida de carga de cada captador para el modelo seleccionado:

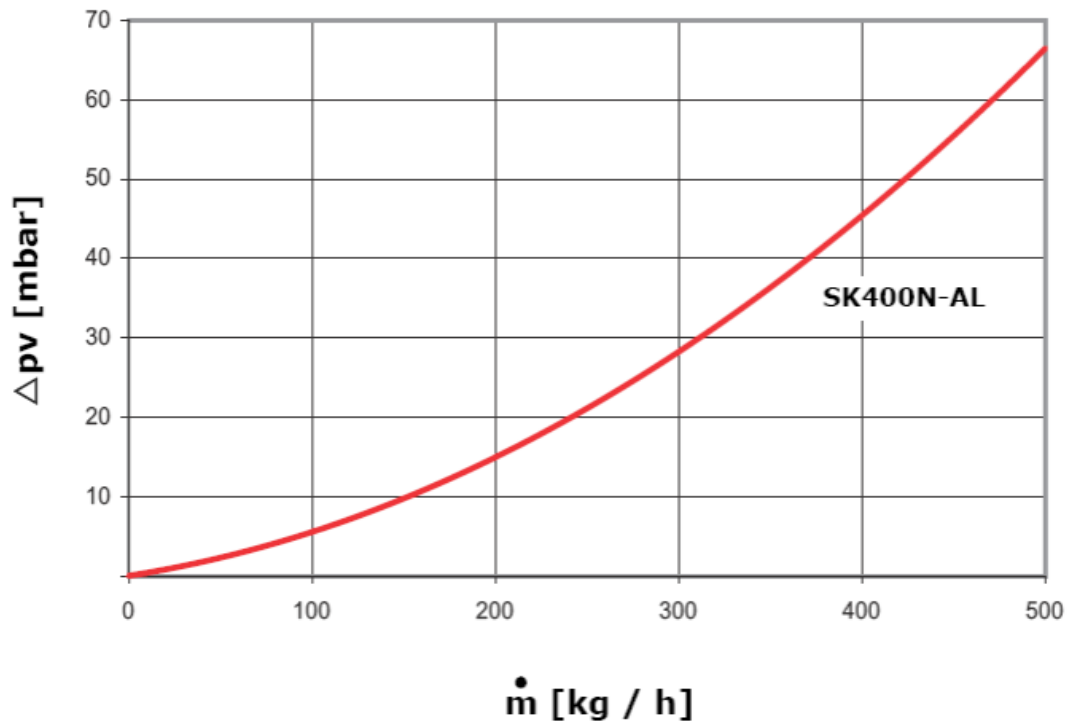


Figura 2.5 Curva de pérdida de carga del captador.

b) Disposición de los captadores

El campo de captadores estará compuesto por 100 captadores distribuidos en baterías de 10 unidades. Los captadores estarán conectados de forma que cada batería de 10 captadores contará con 2 grupos conectados en serie y cada uno de ellos, a su vez, con 5 captadores conectados en paralelo entre sí.

La entrada del fluido a cada batería de captadores será por la parte inferior del primer captador de la primera fila y la salida por la parte superior del último captador de la segunda fila, sabiendo que ambas filas están conectadas en serie.

Por último y para conseguir la menor pérdida de carga posible del fluido a su paso por el circuito hidráulico, la conexión entre los grupos de captadores se realiza según retorno invertido. De esta forma el circuito queda equilibrado hidráulicamente.

c) Pérdidas por orientación, inclinación y sombras

Como ya se ha mencionado anteriormente, la orientación elegida es el Sur.

En cuanto a la inclinación, dado que la demanda energética en este edificio es constante a lo largo del año la inclinación más favorable, según el CTE, es la que corresponde a la latitud de la localidad pero se ha seleccionado finalmente una inclinación de 45° respecto a la horizontal.

Para comprobar que la inclinación elegida entra en los límites del CTE es necesario corregir los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de 41°, de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{Inclinación máxima } (\Phi = 41^\circ) = 60^\circ$$

$$\text{Inclinación mínima } (\Phi = 41^\circ) = 8^\circ$$

$$\text{Inclinación máxima} = \text{Inclinación máxima } (\Phi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}) = 56^\circ$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{Inclinación mínima } (\Phi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}) = 4^\circ$$

Queda demostrado que la inclinación elegida para nuestros captadores está dentro del rango permitido por la norma.

Como última verificación se va a calcular el porcentaje de pérdidas para una inclinación comprendida por encima de 15° y por debajo de 90°:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right] = 0.77\% < 10\%$$

Sabiendo que:

- β : inclinación, 45°.
- β_{opt} : inclinación óptima, 37°.
- α : acimut, 0°.

Las pérdidas por sombra para esta instalación son nulas porque no existe ningún edificio cercano a mayor altura que proyecte sombra sobre la misma.

También es necesario para minimizar las pérdidas por sombras que puedan ocasionar unas hileras de captadores sobre otras respetar una distancia mínima de separación entre éstas. El IDAE proporciona una ecuación para su cálculo que garantiza al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno:

$$d \geq h \cdot k$$

Siendo k un factor adimensional que depende de la latitud del lugar, la ecuación final quedaría:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$

Donde la altura (h) se define como:

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

Dado que los captadores se instalarán uno sobre otro de manera contigua, L no corresponde al largo de un captador sino a la suma de dos, igual a 4.06 m. Obteniéndose una distancia mínima (d) de 6.45 m.

Los mismo cálculos se realizan para calcular la distancia mínima de la primera fila al pretil de 1.2 m de altura, obteniéndose una distancia mínima de 2.69 m.

Se adjunta una imagen para su mejor comprensión:

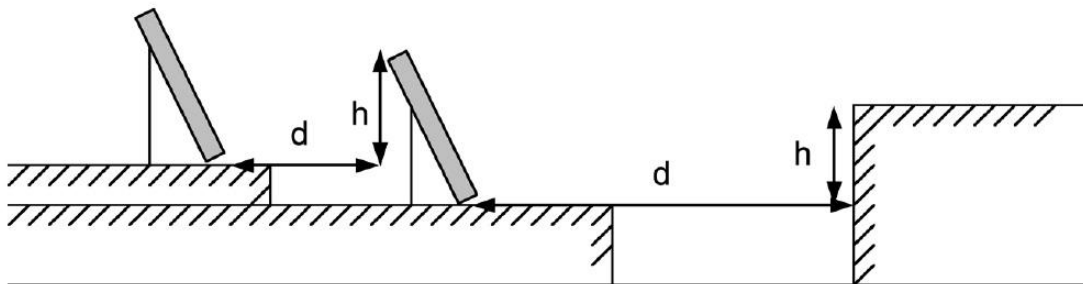


Figura 2.6 Esquema de separación de captadores.

2.5 Cálculo del volumen de acumulación

Una vez estudiada la relación de la superficie de captación con el factor de demanda cubierta, se procederá a conocer la relación del volumen de acumulación, así como el cociente de éste con distintas áreas para obtener los valores correspondientes del factor mencionado anteriormente.

V	V/A	f
5000	50	0.41
7500	60	0.49
10500	70	0.57
14000	80	0.65
18000	90	0.72
19740	94	0.74
22500	100	0.78
27500	110	0.84
33000	120	0.89
39000	130	0.94

Tabla 2.9 Fracción de demanda cubierta en función del volumen de acumulación.

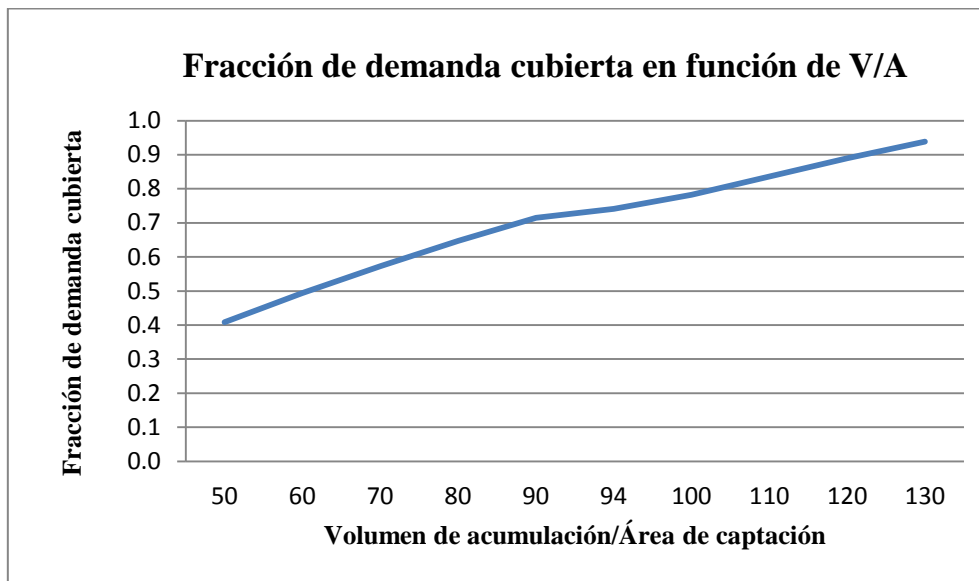


Figura 2.7 Fracción de demanda cubierta para volumen de acumulación.

Tras analizar los datos obtenidos en los casos anteriores se concluye con:

- Volumen de acumulación: 19740 l.
- Relación volumen de acumulación-superficie de captación: 94 l/m².

Y se corrobora que se cumple la restricción de la norma de $50 < V/A < 180$.

Para el sistema de acumulación, como se ha mencionado anteriormente, se emplearán 2 depósitos conectados en serie de 10000 litros cada uno para los 19740 litros para los que se ha dimensionado la instalación.

2.6 Cálculo de la red de tuberías

a) Fluido del circuito primario

Para seleccionar el fluido de trabajo más adecuado que circule por el circuito primario hay que tener en cuenta la imposición del CTE. En ella se expone que la instalación debe estar protegida en 5°C por debajo de la mínima histórica registrada en Huelva para así evitar daños en este circuito a causa de las heladas.

Dado que la mínima registrada en Huelva es de -6°C se medirán las propiedades del fluido a -11°C. La mezcla finalmente elegida será una solución de agua y glicol con un contenido del

30% en peso de glicol cuyas propiedades se obtendrán de los gráficos contenidos en los anexos y que se resumen a continuación:

$$\rho_{fluido} = 1034 \frac{kg}{m^3}$$

$$Cp_{fluido} = 3.89 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Sabiendo que:

$$\rho_{agua} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$Cp_{agua} = 4.18 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

b) Caudal del circuito primario y secundario

Para calcular el caudal de fluido que circula por el circuito de captación se utiliza la siguiente ecuación:

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

Siendo:

- M_B : caudal del circuito de captación (kg/s).
- G : caudal específico en el captador solar (kg/s m²).
- N_C : número de captadores.
- N : número de captadores en serie.
- A_T : área total de captadores solares (m²).
- A : área de un captador solar (m²).

Por tanto la ecuación quedaría:

$$M_B = \frac{G \cdot N_C \cdot A}{N} = \frac{0.006 \cdot 100 \cdot 2.09}{2} = 0.627 \frac{kg}{s} = 2257 \frac{kg}{h}$$

En el caso del circuito secundario se hará circular un 90% del total del fluido del circuito primario quedando:

$$M_{secundario} = 0.9 \cdot M_{primario} = 0.564 \frac{kg}{s} = 2031 \frac{kg}{h}$$

c) Pérdida de carga en los captadores

Para determinar la pérdida de carga asociada a los captadores el proveedor del captador Sonnenkraft proporciona una gráfica para el modelo seleccionado, a partir de la cual se puede conocer la pérdida de carga determinado el caudal circulante.

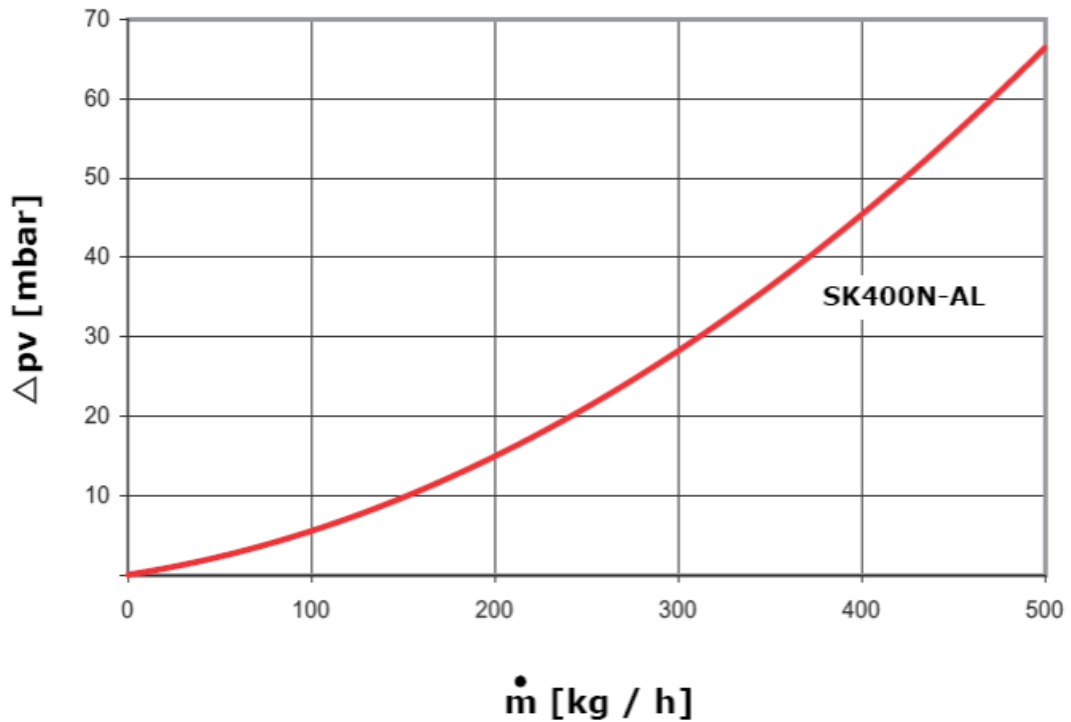


Figura 2.8 Pérdida de carga en captadores en función del caudal para el modelo SK400N-AL.

Observando la figura 2.8 se estima una pérdida de carga por captador de:

$$\Delta P_{captador} = 17.94 \text{ mbar} = 0.183 \text{ m. c. a}$$

Dado que en esta instalación los captadores están agrupados con dos captadores en serie, la pérdida de carga de cada grupo de captadores será el doble de la proporcionada por la gráfica, es decir:

$$\Delta P_{captador} = 35.88 \text{ mbar} = 0.367 \text{ m. c. a}$$

d) Pérdida de carga en el intercambiador

En el caso del intercambiador, su fabricante Alfa laval proporciona una tabla con las pérdidas de carga del circuito primario y secundario a partir de la selección modelo de intercambiador.

Potencia (kW)	Modelo	n° placas	Caudal 1 (m³/h)	DP 1 (m.c.a.)	Caudal 2 (m³/h)	DP 2 (m.c.a.)	Conex.
10	TL3-BFG/7M	7	0,9	3	0,9	2,6	1"1/4
15	TL3-BFG/10M	10	1,7	2,5	1,3	3,3	1"1/4
20	TL3-BFG/13M	13	1,8	3	1,7	2,6	1"1/4
30	TL3-BFG/18M	18	2,7	3,1	2,6	3,3	1"1/4
40	TL3-BFG/24M	24	3,6	3,1	3,5	3,2	1"1/4
50	TL3-BFG/30M	30	4,5	3,2	4,3	3,1	1"1/4
60	TL3-BFG/36M	36	5,5	3,3	5,2	3,1	1"1/4
70	TL3-BFG/40M	40	6,4	3,6	6,1	3,5	1"1/4
80	M6-FM/22H	22	7,3	3,1	6,9	3,4	2"
90	M6-FM/25H	25	8,2	3,3	7,8	3	2"
100	M6-FM/27H	27	9,1	3,4	8,7	3,1	2"
110	M6-FM/30H	30	10	3,1	9,6	3,3	2"
120	M6-FM/32H	32	10,9	3,3	10,4	3,4	2"
130	M6-FM/35H	35	11,8	3,4	11,3	3,1	2"
140	M6-FM/38H	38	12,7	3,2	12,2	3,3	2"
150	M6-FM/40H	40	13,6	3,3	13	3,4	2"

Figura 2.9 Pérdida de carga en el intercambiador para el modelo M3-FG/16H.

Por tanto, atendiendo a la figura 2.9, la pérdida de carga que afecta al circuito primario ocasionada por el intercambiador será:

$$\Delta P_{intercambiador1} = 3.1 \text{ m. c. a}$$

Y al circuito secundario:

$$\Delta P_{intercambiador2} = 3.3 \text{ m. c. a}$$

e) Pérdida de carga en la red de tuberías

Antes de comenzar con el dimensionamiento de las tuberías es necesario tener en cuenta las recomendaciones del pliego de condiciones técnicas del IDAE que se explican a continuación:

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

$$\Delta P_{max\text{lineal}} \leq 1.3 \cdot 40 = 52 \text{ mm. c. a/m}$$

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

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores se procede a dividir el circuito primario en tramos para simplificar los cálculos. Una vez numerados los tramos se realiza un balance del caudal circulante en cada tramo según el plano de la instalación.

El esquema de conexión de los captadores con la correspondiente división en tramos que se ha seguido para realizar los cálculos hidráulicos necesarios se muestra en la figura 2.10.

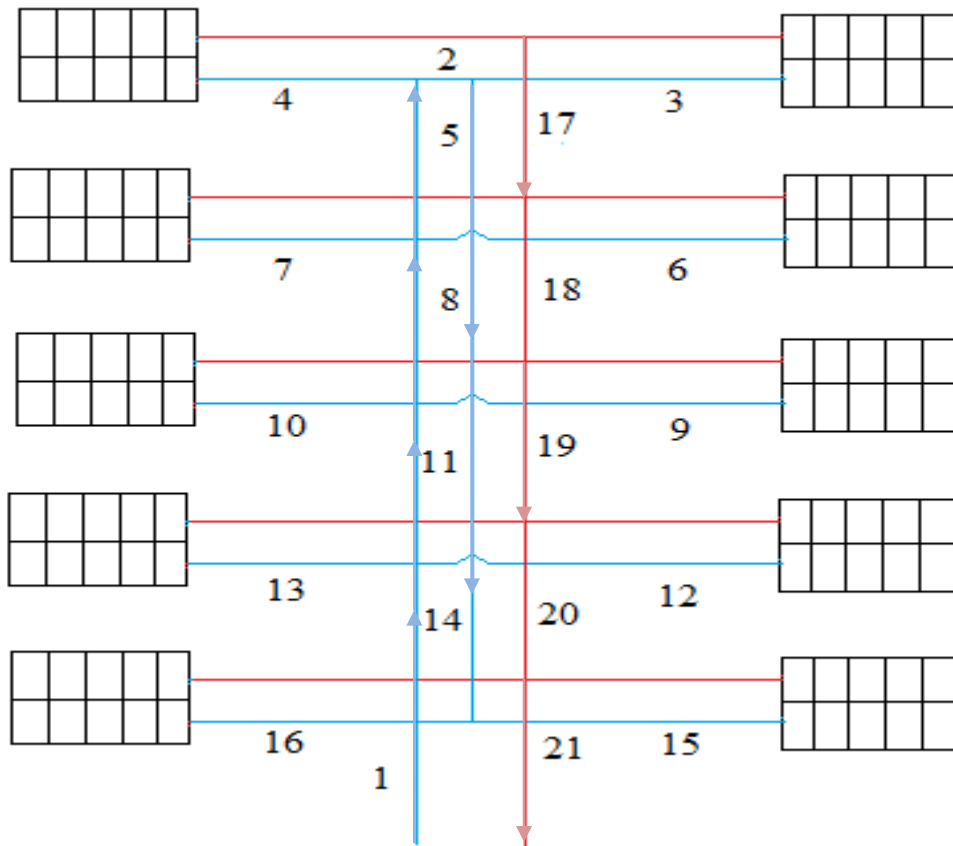


Figura 2.10 Esquema de captadores dividido en tramos.

Conocido el caudal en cada tramo y en función de éste, se selecciona entre los distintos diámetros de tuberías normalizados el diámetro más adecuado para cada tramo de tubería.

Finalmente, a partir del caudal y diámetro de cada tramo se pasará a determinar la velocidad en cada uno de ellos mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

- Q : caudal de circulación (l/h).

- D : diámetro interior (mm).

Para estimar la pérdida de carga en cada tramo se hace uso de la fórmula de *Flamant* aplicada a agua circulando por tuberías de cobre. Dado que en este caso el fluido caloportador es una mezcla de agua y glicol es necesario aplicar un factor de corrección, quedando finalmente la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{lineal} = 1.3 \cdot 378 \cdot \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}}$$

Siendo:

- ΔP_{lineal} : pérdida de cada lineal por metro lineal (mm.c.a./m).

Una vez realizados los cálculos que acaban de ser descritos para todos los tramos del circuito se construye la tabla 2.10 con los resultados obtenidos:

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dnominal (mm)	Dinterior (mm)	Velocidad (m/s)	$\Delta Pa/m$ (mm.c.a./m)
1	76.14	2257.2	35	33	0.73	22.25
2	0.2	2031.48	35	33	0.66	18.50
3	1.35	225.72	18	16	0.07	12.32
4	1.35	225.72	18	16	0.07	12.32
5	10.66	1805.76	35	33	0.59	15.05
6	1.35	225.72	18	16	0.07	12.32
7	1.35	225.72	18	16	0.07	12.32
8	10.66	1354.32	35	33	0.44	9.10
9	1.35	225.72	18	16	0.07	12.32
10	1.35	225.72	18	16	0.07	12.32
11	10.66	902.88	28	26	0.60	24.86
12	1.35	225.72	18	16	0.07	12.32
13	1.35	225.72	18	16	0.07	12.32
14	10.66	451.44	28	26	0.30	7.39
15	1.35	225.72	18	16	0.07	12.32
16	1.35	225.72	18	16	0.07	12.32
17	10.66	451.44	18	16	0.07	41.44
18	10.66	902.88	28	26	0.45	13.89
19	10.66	1354.32	28	26	0.76	28.24
20	10.66	1805.76	35	33	0.51	15.05
21	39.56	2257.2	35	33	0.73	22.25

Tabla 2.10 Dimensionado del circuito primario.

Una vez conocida la pérdida de carga lineal es necesario calcular la pérdida de carga generada por los accesorios que se encuentran en cada tramo del circuito hidráulico. Para ello, se parte de la tabla 2.11 que recoge las longitudes equivalentes para los accesorios en tuberías de cobre.

Longitudes equivalente para algunos accesorios en tuberías soldadas de cobre.

Diámetro nominal (")	Codo 90°	Curva 90°	Curva 45°	Codo doble 180°	Curva doble 180°	Tuberías alineadas	Tuberías 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 2.11 Longitudes equivalentes para accesorios en tuberías soldadas de cobre.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada tramo incluyendo, además de la pérdida de carga de los accesorios, la pérdida de carga de los diferentes equipos que componen el circuito y que han sido mencionadas en los apartados anteriores.

Tramo	Longitud (m)	Leq accesorios (m)	ΔP equipos (m.c.a.)	ΔP accesorios (m.c.a.)	ΔP lineal (m.c.a.)	ΔP total (m.c.a.)
1	76.14	8.78	0	0.195	1.889	2.084
2	0.2	1.45	0	0.027	0.031	0.057
3	1.35	1.78	0.367	0.022	0.039	0.427
4	1.35	1.95	0.367	0.024	0.041	0.432
5	10.66	1.45	0	0.022	0.182	0.204
6	1.35	1.95	0.367	0.024	0.041	0.432
7	1.35	1.95	0.367	0.024	0.041	0.432
8	10.66	0.37	0	0.003	0.100	0.104
9	1.35	1.95	0.367	0.024	0.041	0.432
10	1.35	1.95	0.367	0.024	0.041	0.432
11	10.66	0.24	0	0.006	0.151	0.155
12	1.35	1.95	0.367	0.024	0.041	0.432
13	1.35	1.95	0.367	0.024	0.041	0.432
14	10.66	0.24	0	0.002	0.045	0.046
15	1.35	1.95	0.367	0.024	0.041	0.432
16	1.35	1.95	0.367	0.024	0.041	0.432
17	10.66	0.66	0	0.008	0.469	0.496
18	10.66	0.24	0	0.004	0.151	0.155
19	10.66	0.24	0	0.009	0.308	0.315
20	10.66	0.37	0	0.004	0.166	0.172
21	39.56	12.74	3.1	0.155	1.136	4.291

Tabla 2.12 Pérdida de carga total en el circuito primario.

Como puede observarse en la tabla 2.12 la pérdida total de carga es muy similar debido a la conexión de retorno invertido.

Para el circuito secundario se estiman 10 metros de tubería y se realizan los mismos cálculos que en el caso del circuito primario para obtener primero la pérdida de carga lineal y finalmente la pérdida de carga total para este circuito.

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Dnominal (mm)	Dinterior (mm)	Velocidad (m/s)	$\Delta P/m$ (mm.c.a./m)
Secundario	10	2031.5	35	33	0.660	18.500

Tabla 2.13 Pérdida de carga lineal en el circuito secundario.

Tramo	Longitud (m)	Leq accesorios (m)	ΔP equipos (m.c.a.)	ΔP accesorios (m.c.a.)	ΔP lineal (m.c.a.)	ΔP total (m.c.a.)
Secundario	10	9.88	3.3	0.183	0.368	3.851

Tabla 2.14 Pérdida de carga total en el circuito secundario.

2.7 Cálculo del equipo de intercambio

Para realizar el intercambio de calor entre el circuito solar primario y el secundario es necesaria la instalación de un intercambiador de placas. El dimensionamiento de este equipo viene regido por el CTE, el cual establece que:

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

Siendo:

- $P_{intercambiador}$: potencia mínima del intercambiador (W).
- $A_{captación}$: área de captación (m).

El área de captación finalmente seleccionada es de 210 m², por tanto, para cumplir la norma la potencia del intercambiador debe ser igual o superior a 105 kW.

El intercambiador que se ha seleccionado es del fabricante Alfa Laval, modelo M6-FM/30H, que trabaja con un salto térmico de 10°C tanto en el circuito primario como en el secundario y que cuenta con una potencia de 110 kW quedando satisfecha la exigencia del CTE.

2.8 Dimensionado del grupo de bombeo

a) Selección de la bomba del circuito primario

Para el dimensionado de la bomba el CTE recoge que en instalaciones con superficie de captación superiores a 50 m² se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el circuito secundario.

Dado que el área de este proyecto es superior a 50 m², se instalarán dos bombas conectadas en paralelo en el circuito primario.

En primer lugar para dimensionar la bomba de impulsión del circuito primario habrá que conocer las pérdidas de carga asociadas a los captadores, al intercambiador y a las tuberías, para así poder determinar la altura manométrica que tiene que vencer el grupo primario de bombeo. Este parámetro que ha de vencer la bomba es la suma de la diferencia de cotas entre la cubierta y la bomba y la pérdida de carga del circuito más desfavorable.

Calculando la pérdida de carga del circuito más desfavorable como la suma de las pérdidas de carga totales de los tramos que lo componen, se obtiene un resultado de 7.96 m.c.a. La altura manométrica de la bomba en el punto de trabajo debe ser superior a las pérdidas de carga totales que vienen definidas por:

$$\Delta P_{bomba} = \Delta P_{circuito} + 5\% \text{ de seguridad} = 7.96 \cdot 1.05 = 8.36 \text{ m.c.a}$$

Dicho grupo de bombeo se situará en la cubierta y deberá mover un caudal de 2257.2 l/h, equivalentes a 2.26 m³/h. El modelo seleccionado cubrirá una altura máxima de 10 metros y moverá un caudal máximo de 10 m³/h, por tanto, cubre el rango de funcionamiento que el circuito primario necesita.

b) Selección de la bomba del circuito secundario

Se montarán dos bombas en paralelo que han de impulsar un caudal de 2031.5 l/h, equivalentes a 2.03 m³/h. Este grupo de bombeo deberá vencer la pérdida de carga correspondiente al circuito secundario igual a 3.85 m.c.a.

Se instalará en la sala de máquinas por lo que se evita añadir la altura que ha de vencer como consecuencia de la diferencia de cotas.

El grupo de bombeo seleccionado alcanza una altura máxima de impulsión de 4.7 metros y un caudal máximo de 5.4 m³/h, cubriendo el rango de funcionamiento necesario.

2.9 Dimensionado del vaso de expansión

Para el correcto diseño del vaso de expansión se van a seguir las instrucciones propuestas por la norma UNE 100155 Diseño y cálculo de sistemas de expansión.

En primer lugar, es necesario calcular el volumen total de fluido caloportador del circuito primario como la suma del volumen de fluido contenido en captadores, más el volumen del fluido en las tuberías y más un 10% de seguridad que resulta:

$$V_T = V_{captadores} + V_{tuberías} + V_{seguridad} = 140 + 149.05 + 28.9 = 317.95 \text{ l}$$

A continuación, se pasa a calcular el coeficiente de expansión como:

$$C_e = (-1.75 + 0.064 \cdot T + 0.0036 \cdot T^2) \cdot 10^{-3}$$

Donde:

- T: temperatura del fluido a su paso por el vaso de expansión, que se estima en 50°C.

Dado que el fluido caloportador del circuito primario es una mezcla de glicol y agua es necesario corregir el coeficiente de expansión multiplicándolo por un factor de corrección:

$$f_c = a \cdot (1.8 \cdot T + 32)^b$$

Sabiendo que:

$$a = -0.0134 \cdot (G^2 - 143.8 \cdot G + 1918.2)$$

$$b = 3.5 \cdot 10^{-4} \cdot (G^2 - 94.57 \cdot G + 500)$$

Con $G = 0.3$, ya que el porcentaje de glicol en agua es del 30%.

Resultando un valor de $C_{e,corregido} = C_e \cdot f_c = 0.01 \cdot 1.79 = 0.018$

Finalmente se calcula el coeficiente de presión a través de la siguiente expresión:

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

Con:

- P_M : presión máxima del vaso, 6.4 bar.
- P_m : presión mínima del vaso, 1.5 bar.

El coeficiente de presión resulta $C_p = 1.306$

Con todos los resultados obtenidos hasta este momento ya es posible calcular el volumen mínimo del vaso de expansión según la ecuación:

$$V = V_T \cdot C_{e,corregido} \cdot C_p = 317.95 \cdot 0.018 \cdot 1.306 = 7.47 \text{ l}$$

El vaso seleccionado tiene una capacidad de 8 litros, que corresponde al volumen inmediatamente superior al calculado.

2.10 Cálculo del espesor de aislamiento

El RITE establece que para instalaciones térmicas como la presente todas las tuberías y accesorios, equipos, aparatos y depósitos deben disponer del aislamiento térmico correspondiente con el fin de evitar consumos de energía superfluos y que las pérdidas en los fluidos caloportadores sea lo menor posible.

Los espesores de aislamiento vienen impuestos por el RITE, el cual establece que los componentes de la instalación que contengan fluidos a una temperatura superior a 40°C dispondrán de aislamiento térmico.

En cuanto a los componentes de la instalación que viene aislados de fábrica, ya cumple con lo exigido por la normativa.

a) Aislamiento en tuberías

El aislamiento de las tuberías de intemperie deberá llevar protección externa que asegure la durabilidad ante las acciones climatológicas admitiéndose revestimientos con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas.

Además también establece el grosor mínimo de aislamiento de la tubería en función del diámetro de la tubería y de la temperatura máxima del fluido que por ella circula como puede observarse en la tabla 2.15 y 2.16.

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

Tabla 2.15 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios por el interior de edificios según el RITE.

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

Tabla 2.16 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios por el exterior de edificios según el RITE.

Las tablas anteriores consideran una conductividad térmica de referencia de 0.040 W/m·K. Por tanto, particularizando para este caso, con la misma conductividad térmica, un rango de temperatura $40 < T < 60^{\circ}\text{C}$ y con un diámetro de 35 mm para las tuberías interiores y superior a este valor para las exteriores, los espesores de aislante para las tuberías y accesorios de la instalación son los siguientes:

- Interior del edificio: 25 mm.
- Exterior del edificio: 35 mm.

b) Aislamiento en depósitos de acumulación

Los dos depósitos de acumulación a instalar vienen dispuestos de un aislamiento desmontable en fibra de vidrio de 50 mm o 100 mm de espesor con forro en PVC.

c) Aislamiento en intercambiador de calor

Para la conductividad térmica de 0.040 W/m·K el espesor de aislamiento será de 40 mm.

d) Aislamiento en el vaso de expansión

Espesor mínimo de aislamiento de 30 mm con revestimiento exterior con pintura blanca en polvo EPOXI y secado al horno.

2.11 Selección de accesorios

En este último apartado se recogen los accesorios seleccionados para el circuito hidráulico de la instalación, según la normativa vigente expuesta anteriormente.

- Válvulas de retención: se situarán una en cada grupo de bombeo, primario y secundario.
- Válvulas de compuerta: para este caso se han seleccionado de dos tamaños, las de 35 mm se instalarán:
 - Entrada y salida del campo solar.
 - Entrada y salida del grupo de bombeo primario y entrada y salida del grupo de bombeo secundario.
 - Entrada de cada acumulador.
 - Entrada y salida del intercambiador.
 - Conexión con el sistema auxiliar.

Las válvulas de 18 mm se instalarán en la entrada y salida de cada batería de captadores.

- Purgador automático: a la salida del campo solar y vaso de expansión.
- Purgador de aire: a la entrada y salida de cada batería de captadores.

3. Pliego de condiciones técnicas

3.1 Objeto

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

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

3.2 Normativa aplicable

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

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

3.3 Condiciones de materiales y equipos

3.3.1. 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 realizara 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 aplicara 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:

a) Compensadores de dilatación

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

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

Los extremos del compensador serán de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chaflán de 37o 30' y un talón de 1,6 mm cuando el diámetro nominal de la tubería sea de hasta 2" inclusive. Para tuberías de diámetro superior, las conexiones serán por medio de bridas en acero al carbono s/normas DIN 2502 o 2503, según las presiones sean de 6 y 10 o 16 Kg/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.

b) Juntas

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

c) Lubricante de roscas

General: no endurecedor, no venenoso.

d) 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.

e) Derivaciones

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

f) Codos en bombas:

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

g) Sombreretes

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

h) Guías

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

i) Termómetros

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

j) Manómetros

Los manómetros serán con válvula de aguja de aislamiento en acero inoxidable, e inmersos en glicerina. Los rangos de los manómetros serán tales que la aguja, durante el funcionamiento normal, este 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.

k) Válvulas de seguridad

Se incluirán todas las válvulas de seguridad indicadas, o necesarias (de tarado adecuado) para un funcionamiento completamente seguro y correcto de los sistemas. Durante el periodo de

pruebas de la instalación se procederá al timbrado de las mismas. Las válvulas de seguridad de alivio serán de paso angular y carga por resorte. Serán adecuadas para condiciones de trabajo de 0 a 120°C y hasta 25 kg/cm². Los materiales de fabricación serán bronce RG-5 para el cuerpo, vástago, tornillo de fijación, tuerca deflectora y la tobera, latón para el cabezal y obturador, acero cadmiado para el resorte y PTFE para la junta.

l) Purgadores de aire

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

En el caso de que, una vez que las redes estén en funcionamiento, se den anomalías por presencia de aire en la instalación, se instalaran nuevos empalmes, purgadores, válvulas según 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.

m) Vaciados

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

n) Conexiones a equipos

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

3.3.2. Válvulas

3.3.2.1. Generalidades

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

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

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

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

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

3.3.2.2. Materiales

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

Válvulas de esfera:

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

Válvulas de asiento:

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

Válvulas de seguridad de resorte:

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

Válvulas de retención de clapeta:

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

Válvulas de retención de muelle:

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

Purgadores automáticos de aire:

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

3.3.3. Aislamiento

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

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

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

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

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

3.3.4. Vasos de expansión

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

- Fabricante
- Marca
- Modelo

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

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

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

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

3.3.5. Bombas

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

- Fabricante
- Marca
- Modelo
- Características eléctricas

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

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

- Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto.
- Motor de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220V/1~ o 220/380V/ 3~, 50 Hz, IP.44 clase F.
- Presión de aspiración 2 maca. para 82°C.
- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, numero de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

3.3.6. Captadores

3.3.6.1. Generalidades

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

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

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

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

La instalación de sistemas integrados en cubierta se debería realizar mediante procedimiento acreditado por el fabricante y de forma que se garanticen las características funcionales y de durabilidad del conjunto.

Los datos para la caracterización térmica, hidráulica y mecánica del captador solar deberían proceder de los resultados del ensayo realizado conforme a la norma UNE 12975. A estos

efectos, es importante señalar que la función de rendimiento del captador siempre está relacionada con una superficie útil y un caudal de ensayo.

3.3.6.2. Modelo de captador

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

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

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

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

3.3.6.3. Estructura soporte y sujeción del captador

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

Todos los materiales de la estructura soporte se deberían proteger contra la acción de los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la acción combinada del aire y el agua. Las estructuras de acero deberían protegerse mediante galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas de zinc o tratamientos anticorrosivos equivalentes. La realización de taladros en la estructura se debería llevar a cabo antes de proceder al galvanizado o protección de la estructura.

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

3.3.7. Sistema eléctrico y de control

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

Se construirá un cuadro eléctrico específico para la instalación solar. El sistema de control consistirá en un controlador digital programable e incorporará una adquisición de datos de la instalación en tiempo real, telegestionable a distancia a través de un módem ya incorporado. Los datos a chequear serán: caudales, temperaturas en captadores, acumuladores, potencia y energía inyectadas en cada servicio y número de horas de funcionamiento de las bombas.

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

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

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

- Calibre del contador.
- Temperatura máxima del fluido.
- Caudales:
 - en servicio continuo.
 - máximo (durante algunos minutos).
 - mínimo (con precisión mínima del 5%).
 - de arranque.

- Indicación mínima de la esfera.
- Capacidad máxima de totalización.
- Presión máxima de trabajo.
- Dimensiones.
- Diámetro y tipo de las conexiones.
- Pérdida de carga en función del caudal.

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

c) Medida de energía térmica.

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

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

La posición del contador y de las sondas define la energía térmica que se medirá.

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

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

3.3.9. 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 llevara una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrito con caracteres indelebles en las que aparecerán los siguientes datos:

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

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

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

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

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

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

3.3.10. Intercambiadores de calor

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

3.3.10.1. Intercambiadores externos

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

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

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

3.4 Provisión del material

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

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

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

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

3.5 Condiciones de montaje

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

3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción

3.6.1. General

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

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

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

3.6.2. Pruebas parciales

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

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

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

3.6.2.1. Pruebas de equipos

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

3.6.2.2. Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas

Todas las redes de circulación de fluidos portadores deberían ser probadas hidrostáticamente, a fin de asegurar su 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.

3.6.2.3. Pruebas de libre dilatación

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

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

3.6.3. Pruebas finales

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

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

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

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

3.6.4. Ajustes y equilibrado

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

3.6.4.1. Sistemas de distribución de agua

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

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

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

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

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

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

3.6.4.2. Control automático

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

3.6.5. Recepción

3.6.5.1. Recepción provisional

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

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

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

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

3.6.5.2. Recepción definitiva

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

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

3.7 Mantenimiento

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

- Vigilancia.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

3.7.1. Vigilancia

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos.

Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación.

Puede ser llevado a cabo por el usuario.

3.7.2. Mantenimiento preventivo

El plan de mantenimiento ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento necesarias para que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

El mantenimiento preventivo implicara 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 implicara, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con área de apertura de captación inferior a 20 m² y una revisión cada seis meses para instalaciones superiores a 20 m².

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

3.7.3. Mantenimiento correctivo

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

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

4. Presupuesto

4.1 Sistema de captación

Nº ord	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total (€)
1.1	Ud. Captador solar SK400N-AL de la marca Sonnenkraft, o similar, con las siguientes características: - Superficie útil: 1.77 m ² - Dimensiones: 2039x1039x90 mm - Peso del captador: 32 kg - Rendimiento óptico: 0.779 - Coeficiente de pérdida: 3.914 - Presión máximo de trabajo: 10 bar	100	749.00	74900.00
1.2	Ud. Set de conexión ASIDMK-16	80	66.90	5352.00
1.3	Ud. Set de conexión ASIDMK-20	10	86.20	862.00
1.4	Ud. Soporte SSA45 para 2 captadores	50	321.00	16050.00
1.5	Ud. Purgador de aire de 18 mm resistente a los cambios climáticos	20	78.60	1572.00
1.6	Ud. Anticongelante FS200 para captadores planos, 200 litros	1	1634.00	1634.00
1.7	Ud. Anticongelante FS10 para captadores planos, 10 litros	9	84.60	761.40
Total sistema de captación				100454.60

4.2 Sistema de acumulación

Nº ord	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total (€)
2.1	Ud. Acumulador solar Lapesa modelo MB-10-IB, o similar, con las siguientes características: - Fabricado en acero al carbono S235JR - Capacidad de ACS: 10000 l - Peso en vacío: 1243 kg - Diámetro exterior: 1750 mm - Altura total: 5013 mm - Aislamiento desmontable en fibra de vidrio	2	9219.00	18438.00
Total sistema de acumulación				18438.00

4.3 Sistema de intercambio

Nº ord	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total (€)
3.1	<p>Ud. Intercambiador de placas Alfa Laval modelo M6-FM/30H, o similar, con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Número de placas: 30 - Salto térmico primario: 55-45°C - Salto térmico secundario: 40-50°C - Pérdida de carga primario: 3.1 m.c.a. - Pérdida de carga secundario: 3.3 m.c.a - Caudal primario: 10 m³/h - Caudal secundario: 9.6 m³/h 	1	2992.00	2992.00
Total sistema de intercambio				2992.00

4.4 Sistema hidráulico

Nº ord	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total (€)
4.1	<p>Ud. Bomba circuladora de rotor húmedo del circuito primario Wilo modelo TOP-Z 25/10, o similar, con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caudal: 10 m³/h - Altura: 10 m - Potencia absorbida: 180 W 	1	1190.00	1190.00
4.2	<p>Ud. Bomba centrífuga de rotor seco del circuito secundario Wilo modelo VeroLine-IP-Z25/6, o similar, con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caudal: 5.4 m³/h - Altura: 4.7 m - Potencia absorbida: 60 W 	1	610.00	610.00

4.3	Ud. Vaso de expansión Salvador Escoda modelo AC 04 8AMR-B, o similar, con las siguientes características: - Capacidad: 8 l - Presión máxima de trabajo: 10 bar	1	45.71	45.71
4.4	m. Tubería de cobre 18 x 1 mm	24.16	4.10	99.05
4.5	m. Tubería de cobre 28 x 1 mm	43	7.02	301.86
4.6	m. Tubería de cobre 35 x 1 mm	147.88	11.29	1669.56
4.7	m. Aislamiento de tubería de 18 mm de Salvador Escoda, o similar, con 40 mm de espesor	24.16	12.75	308.04
4.8	m. Aislamiento de tubería de 28 mm de Salvador Escoda, o similar, con 40 mm de espesor	43	14.98	644.14
4.9	m. Aislamiento de tubería de 35 mm de Salvador Escoda, o similar, con 40 mm de espesor	108.32	16.44	1780.78
4.10	m. Aislamiento de tubería de 35 mm de Salvador Escoda, o similar, con 25 mm de espesor	39.56	7.11	281.27
4.10	Ud. Codo 90° de cobre 18 x 18	20	4.35	87.00
4.11	Ud. Codo 90° de cobre 35 x 35	16	12.55	200.80
4.12	Ud. Unión en T 35 mm	10	5.90	59.00
4.13	Ud. Válvula de compuerta de 18 mm	20	5.89	117.80
4.14	Ud. Válvula de compuerta de 35 mm	18	18.27	328.86

Instalación de energía solar para producción de ACS en un hospital

4.15	Ud. Válvula de retención de acero inoxidable de 35 mm	4	56.58	226.32
4.16	Ud. Purgador automático Solar-Vent, o similar	2	58.50	117.00
Total sistema hidráulico				8067.19

4.5 Sistema de control

Nº ord	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total (€)
5.1	Ud. Termómetro con vaina con escala de 0 a 120°C	7	23.97	167.79
5.2	Ud. Manómetro de esfera de 40 mm y con escala de regulación de 0 a 12 bar	7	3.60	25.20
5.3	Ud. Centralita solar con las siguientes características: - Fabricante: Sonnenkraft - Modelo: SKSC3+	1	514.00	514.00
Total sistema de control				707.00

Presupuesto total

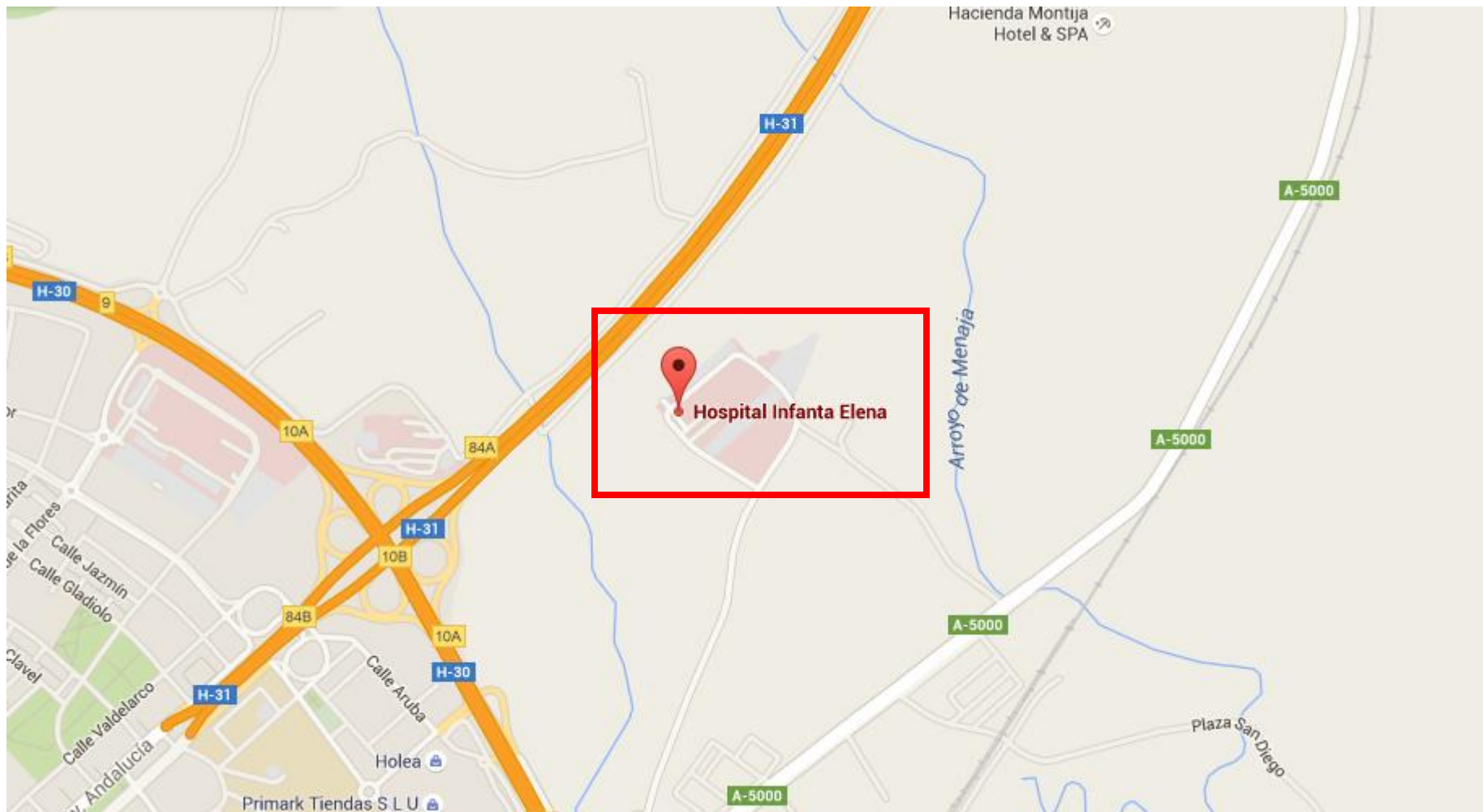
- Sistema de captación:	100454.60 €
- Sistema de acumulación:	18438.00 €
- Sistema de intercambio:	2992.00 €
- Sistema hidráulico:	8067.19 €
- Sistema de control:	707.00 €

PRESUPUESTO TOTAL SIN IVA: 130658.79 €

IVA (21%): 27438.34 €

PRESUPUESTO TOTAL: 158097.13 €

5. Planos



TRABAJO FIN DE GRADO

Instalacion Solar para produccion de ACS en un Hospital

PLANO
PLANO DE SITUACION

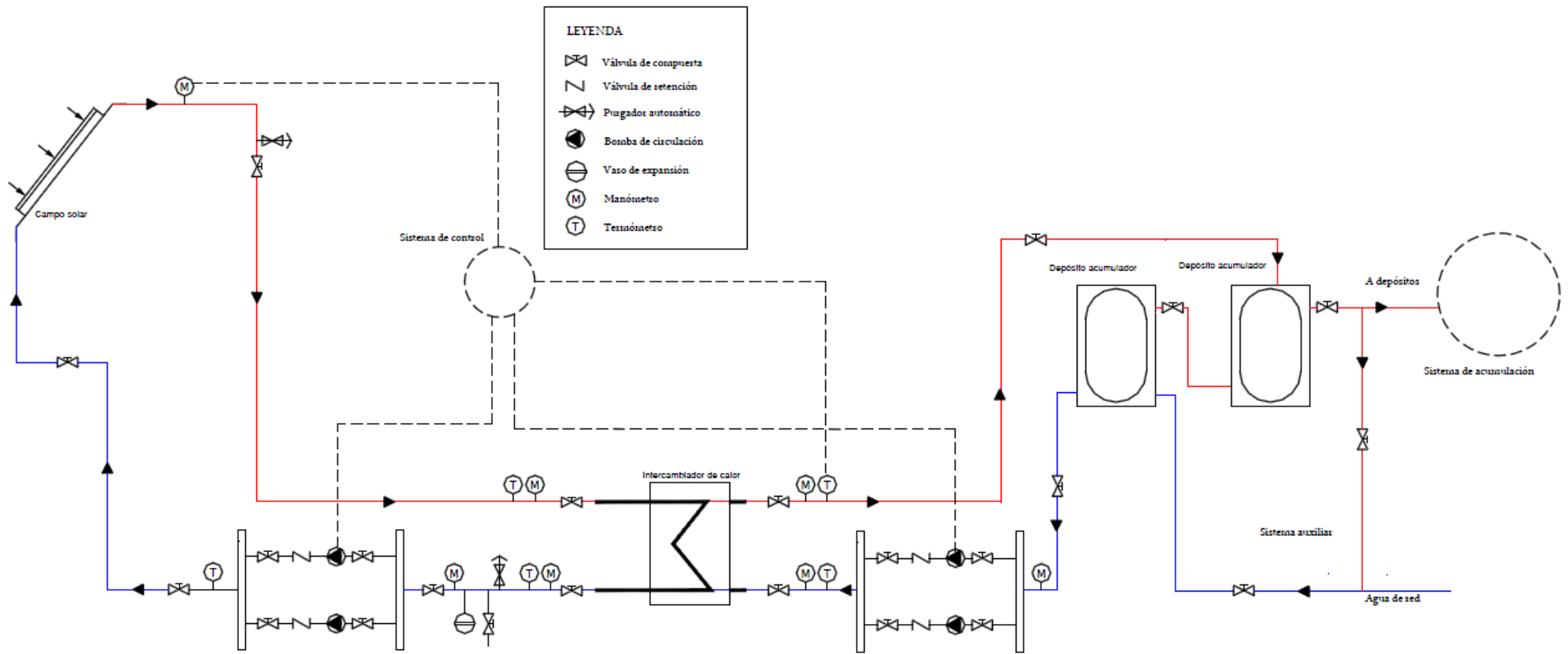
NUMERO
01

ESCALA

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DE SEVILLA

CLAUDIA MERINO SAEZ

Grado en Ingenieria de Tecnologias Industriales



TRABAJO FIN DE GRADO

Instalación Solar para producción de ACS en un Hospital

PLANO ESQUEMA DE PRINCIPIOS DE LA INSTALACION

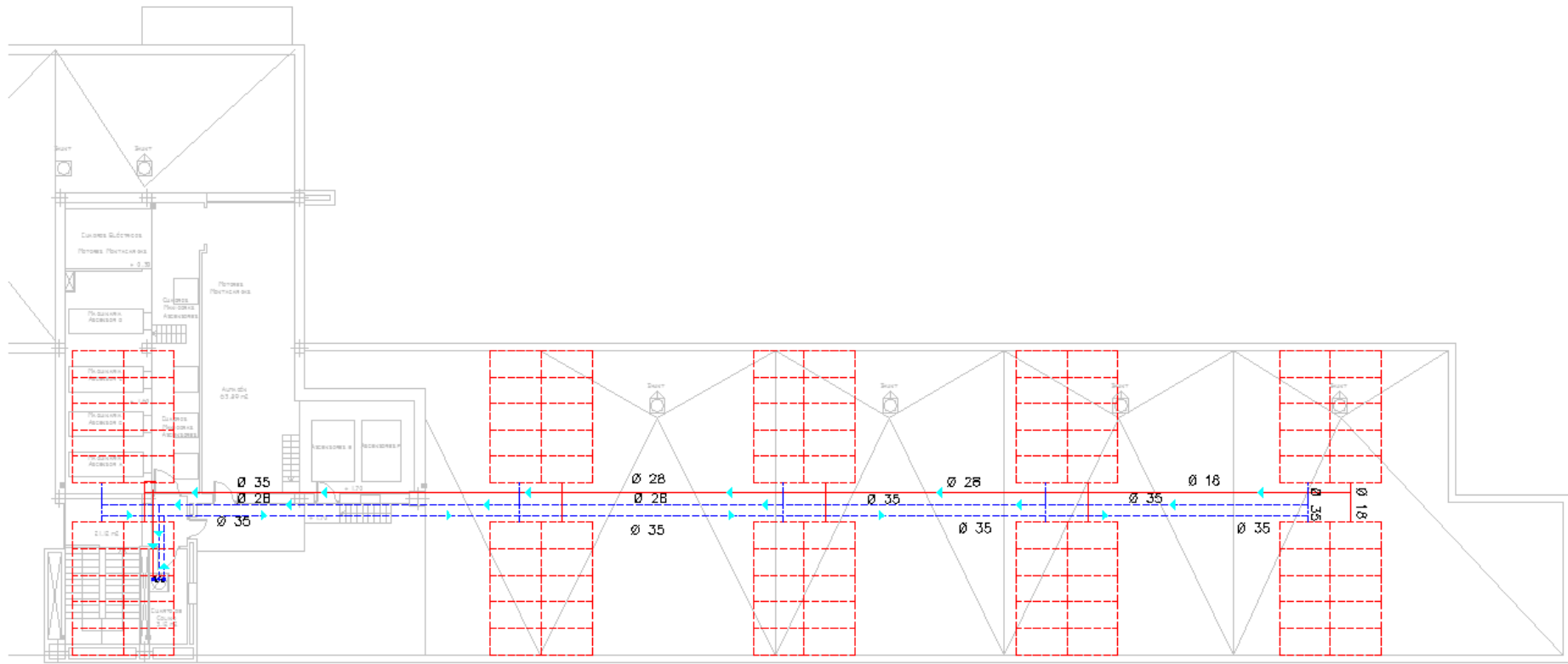
NUMERO 02

ESCALA ----

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DE SEVILLA

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

CLAUDIA MERINO SAEZ



TRABAJO FIN DE GRADO

Instalacion Solar para produccion de ACS en un Hospital

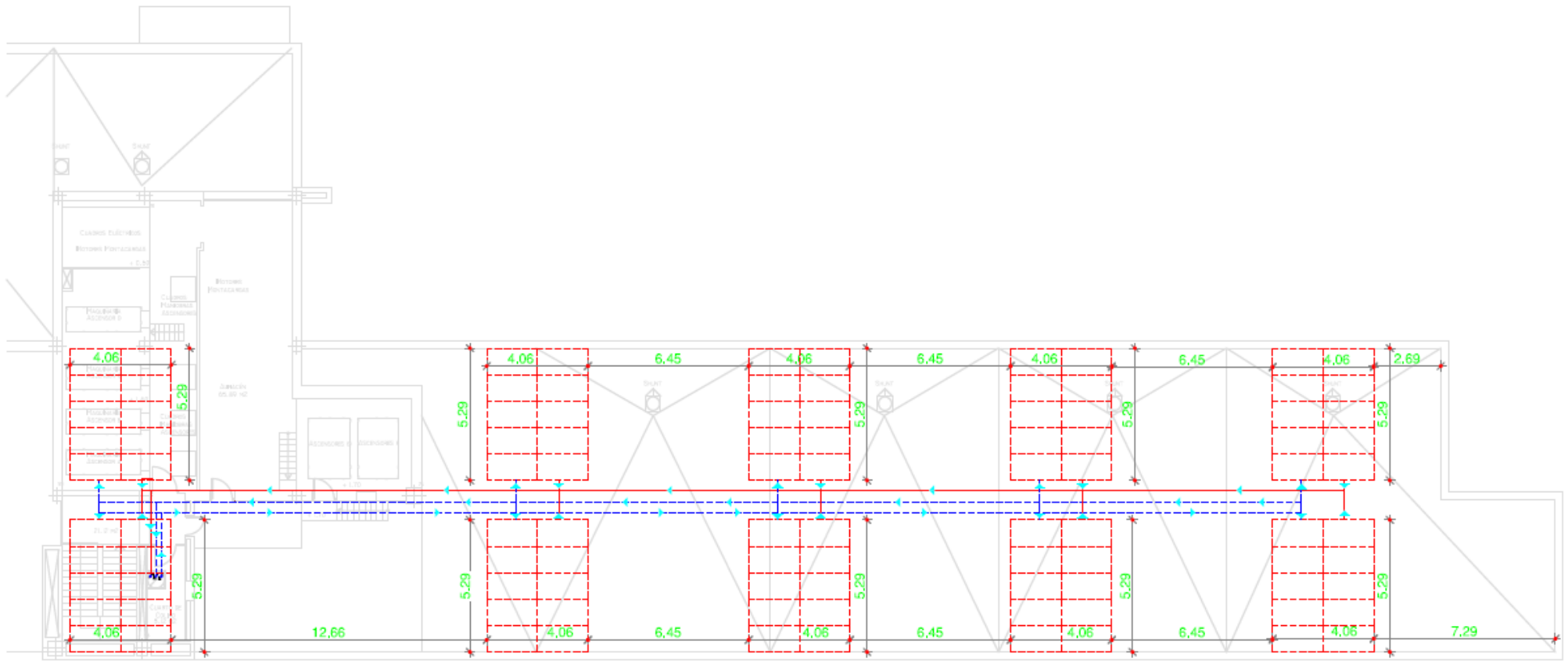
PLANO
CONEXION DE CAPTADORES
PLANTA DE CUBIERTAS

NUMERO
03
ESCALA
1:250

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DE SEVILLA

CLAUDIA MERINO SAEZ

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales



TRABAJO FIN DE GRADO

Instalacion Solar para produccion de ACS en un Hospital

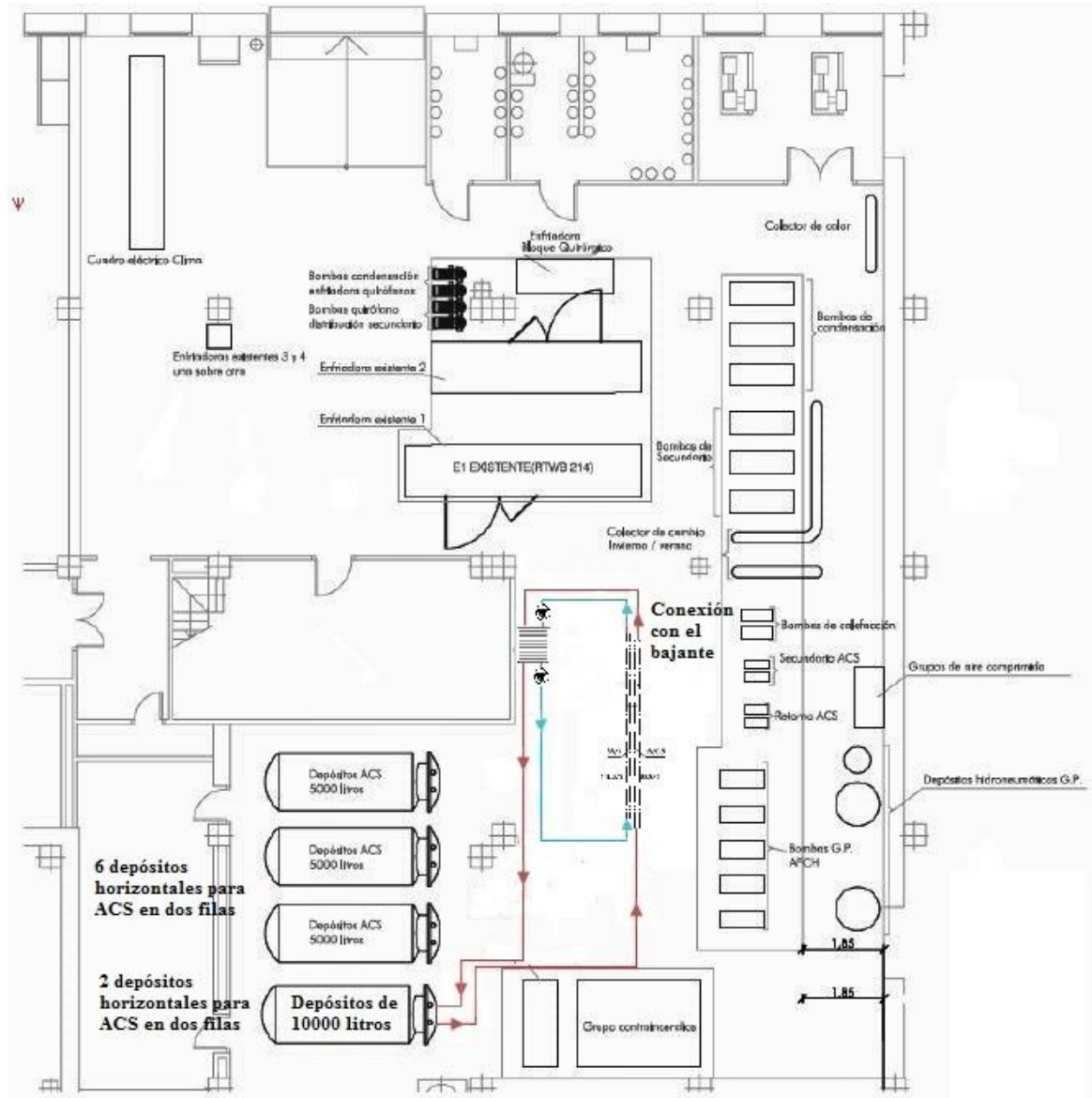
PLANO
 IMPLANTACION DE CAPTADORES EN LA CUBIERTA
 PLANTA DE CUBIERTAS

NUMERO
04
 ESCALA
1:250

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DE SEVILLA

CLAUDIA MERINO SAEZ

Grado en Ingenieria de Tecnologias Industriales



TRABAJO FIN DE GRADO

Instalacion Solar para produccion de ACS en un Hospital

PLANO
SALA DE MAQUINAS

NUMERO
05

ESCALA

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DE SEVILLA

CLAUDIA MERINO SAEZ

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales