

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Instalación solar para la producción de ACS en un
hotel de tres estrellas

Autor: José Antonio Marín Martín

Tutor: D. José Guerra Macho

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

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingenierías de las Tecnologías Industriales

Instalación solar para la producción de ACS en un hotel de tres estrellas

Autor:

José Antonio Marín Martín

Tutor:

D. José Guerra Macho

Catedrático de Universidad

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

Sevilla, 2016

Proyecto Fin de Carrera: Instalación solar para la producción de ACS en un hotel de tres estrellas

Autor: José Antonio Marín Martín

Tutor: D. José Guerra Macho

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Índice

Índice	ix
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras	xiii
1 MEMORIA DESCRIPTIVA	1
1.1 Objeto del proyecto	2
1.2 Antecedentes	2
1.3 Método de cálculo	2
1.4 Descripción del edificio	6
1.5 Descripción de la instalación	7
1.5.1 Principio de funcionamiento	7
1.5.2 Elementos principales de la instalación	9
1.6 Características técnicas de los equipos	11
1.6.1 Captadores solares planos	11
1.6.2 Interacumulador	11
1.6.3 Bomba del circuito solar	12
1.6.4 Vaso de expansión	13
1.6.5 Caldera auxiliar	13
1.6.6 Acumulador auxiliar	15
1.7 Normativa	16
1.8 Bibliografía	17
2 Memoria de cálculo	19
2.1 Introducción	20
2.2 Datos de partida	20
2.3 Cálculo de la demanda	25
2.4 Cálculo de la superficie de captación	27
2.5 Cálculo del volumen de acumulación y potencia del intercambiador	30
2.6 Dimensionado del vaso de expansión	31
2.7 Cálculo de la red de tuberías	34
2.8 Dimensionado del grupo de bombeo	38
2.9 Cálculo del equipo auxiliar	39
2.9.1 Acumulador auxiliar	39
2.9.2 Caldera auxiliar	40
2.10 Cálculo del espesor de aislamiento	41
2.11 Selección de accesorios	42
3 pliego de condiciones técnicas	43

3.1	<i>Objeto</i>	44
3.2	<i>Normativa aplicable</i>	44
3.3	<i>Condiciones de materiales y equipos</i>	44
3.3.1	Tuberías y accesorios	44
3.3.2	Válvulas	46
3.3.3	Aislamiento	47
3.3.4	Vasos de expansión	48
3.3.5	Bombas	48
3.3.6	Captadores	49
3.3.7	Sistema eléctrico y de control	50
3.3.8	Aparatos de medida	51
3.3.9	Acumuladores	52
3.3.10	Intercambiadores de calor	53
3.4	<i>Provisión del material</i>	53
3.5	<i>Condiciones de montaje</i>	53
3.6	<i>Pruebas, puesta en marcha y recepción.</i>	53
3.6.1	General	53
3.6.2	Pruebas parciales	54
3.6.3	Pruebas finales	54
3.6.4	Ajustes y equilibrado	54
3.6.5	Recepción	55
3.7	<i>Mantenimiento</i>	56
3.7.1	Vigilancia	56
3.7.2	Mantenimiento preventivo	56
3.7.3	Mantenimiento correctivo	56
4	presupuesto	57
4.1	<i>Sistema de captación</i>	58
4.2	<i>Sistema de acumulación</i>	58
4.3	<i>Sistema hidráulico</i>	58
4.4	<i>Sistema de control</i>	59
4.5	<i>Presupuesto total</i>	59
5	Planos	60
6	Anejos	65
6.1	<i>Densidadde las mezclas TYFOCOR L/AGUA</i>	66
6.2	<i>Capacidad térmica específica de las mezclas TYFOCOR L/AGUA</i>	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Radiación solar y temperatura ambiente diaria media mensual.	20
Tabla 2-2 Declinación solar	21
Tabla 2-3 Ángulo solar	22
Tabla 2-4 Irradiación directa y difusa sobre superficie horizontal e índice de claridad	23
Tabla 2-5 Ángulo solar sobre superficie inclinada y relación entre la radiación directa sobre superficie inclinada y horizontal	24
Tabla 2-6 Irradiaciones sobre superficie horizontal.	25
Tabla 2-7 Demanda de energía	26
Tabla 2-8 Fracción de demanda cubierta	27
Tabla 2-9 Fracción de demanda cubierta mensual	28
Tabla 2-10 Tramos red de tuberías	37
Tabla 2-11 Longitud equivalente accesorios	37
Tabla 2-12 Pérdida de carga en cada tramo de tubería	37
Tabla 2-13 Pérdida de carga en circuitos	38
Tabla 2-14 Consumo total	39
Tabla 2-15 Caudal instantáneo mínimo para diferentes aparatos (Q_{\min})	40
Tabla 2-16 Espesores mínimos de aislamiento (mm) en tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios según el RITE	42
Tabla 2-17 Espesores mínimos de aislamiento (mm) en tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios según el RITE	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Curvas de fracción de demanda cubierta	3
Figura 1.2 Corrección por caudal	4
Figura 1.3 Planta ático	7
Figura 1.4 Esquema de principio	8
Figura 1.5 Cotas interacumulador solar	12
Figura 1.6 Esquema bomba circuito primario.	13
Figura 1.7 Esquema vaso de expansión	14
Figura 1.8 Pérdida de carga del circuito primario de la caldera	14
Figura 1.9 Esquema caldera auxiliar	15
Figura 1.10 Esquema acumulador auxiliar	15
Figura 2.1 Irradiación global sobre superficie inclinada y horizontal	24
Figura 2.2 Demanda de energía	26
Figura 2.3 Demanda cubierta sobre el total	28
Figura 2.4 Inclinación máxima y mínima	30
Figura 2.5 Depósitos de acero vitrificados	32
Figura 2.6 Característica vaso de expansión	33
Figura 2.7 Pérdida de carga en captadores	35
Figura 2.8 Pérdida de carga interacumulador	36
Figura 2.9 División tramos red de tuberías	37
Figura 2.10 Gráfico de funcionamiento de la bomba ALPHA1 25-50 180	38

1 MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Objeto del proyecto

Este proyecto tiene como objeto la instalación de un sistema de energía solar térmica de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel de tres estrellas en la ciudad de Sevilla, Andalucía.

1.2 Antecedentes

La demanda energética ha aumentado en los últimos años de forma exponencial, donde el 64.3% de la energía consumida en España, en los últimos siete años, la aportan los combustibles fósiles. Además, España solo produce el 26.8% de la energía primaria demandada, lo que provoca una alta dependencia energética.

Por otra parte, el uso de este tipo de energía conlleva un grave impacto medioambiental, con altas presiones socio-políticas.

Una alternativa a este panorama nacional es la apuesta por las energías renovables, en nuestro caso solar, que nos proporciona las siguientes ventajas:

- Independencia energética
- Reducción del impacto medioambiental
- Reducción de costes de operación y mantenimiento

Por otra parte, el gobierno proporciona ayudas para fomentar el uso de esta energía no contaminante, lo que reduce el coste principal de la instalación.

Por todas estas razones, y porque el emplazamiento del hotel se sitúa en una de las zonas con mayor radiación solar de Europa, se ha optado por la instalación de un sistema solar de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria.

1.3 Método de cálculo

El método de diseño que utilizaremos es el método F-Chart. Es un método que nos proporcionará el porcentaje de demanda cubierta para cada uno de los meses del año, dada una determinada superficie de captación y un volumen de acumulación.

Este método está basado en una serie de correlaciones entre números adimensionales con el que podremos comprobar si nuestro sistema cumple con los requisitos mínimos que nos exige el código técnico de la edificación.

La ecuación que nos proporciona el porcentaje de demanda cubierta es:

$$f = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018 X^2 + 0,0215 Y^3$$

Donde los parámetros adimensionales son:

- **Factor de pérdidas**, nos relaciona las pérdidas en el sistema de captación con la carga calorífica del mes.

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

Donde:

- F_R es el factor de eficacia del captador
- U_L Coeficiente global de pérdida de calor del captador, $W/m^2 \cdot K$
- T_{ref} temperatura de referencia, $100 \text{ }^\circ C$.
- T_{am} temperatura media mensual del ambiente, $^\circ C$.
- Δt periodo de tiempo considerado, s.
- A área del captador, m^2 .
- L carga calorífica, J/mes .

- **Factor de ganancias**, nos relaciona la ganancia térmica en el sistema de captación con la carga calorífica del mes.

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

Donde

- $(\tau\alpha)_m$ producto transmitancia-absortancia efectivo medio mensual del captador.
- \bar{H} radiación incidente media mensual en base diaria, $J/m^2 \cdot día$.
- N número de días del mes, $día/mes$.

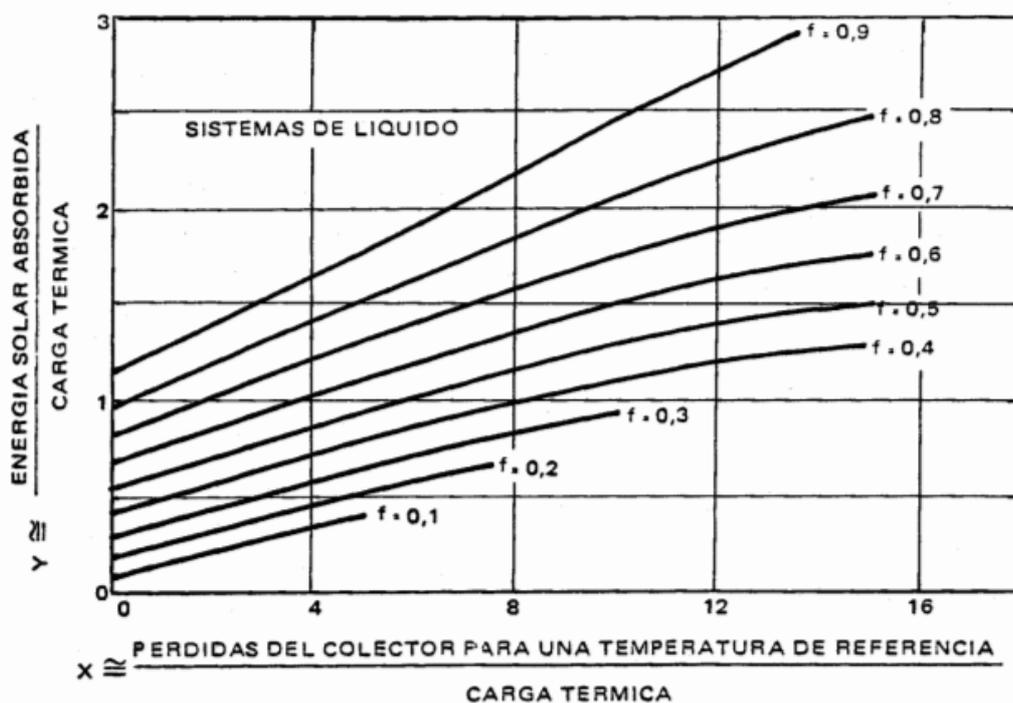


Figura 1.1 Curvas de fracción de demanda cubierta

El alcance de este método es el siguiente:

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

No obstante, la recta de rendimiento de los captadores solares varía si:

- El caudal real de funcionamiento es diferente al teórico.
- Existen dos o más captadores conectados en serie.
- El ángulo de incidencia de la radiación es distinto a la normal.

Por lo que será necesario hacer las correcciones siguientes para obtener una recta de rendimiento real:

1. **Corrección por caudal.** Se corrigen los parámetros de la recta de rendimiento del captador.

$$F_R U_L^* = C_M \cdot F_R \cdot U_L$$

$$F_R(\tau\alpha)_n^* = C_M \cdot F_R(\tau\alpha)_n$$

Obteniendo el coeficiente corrector de la Figura 1.2

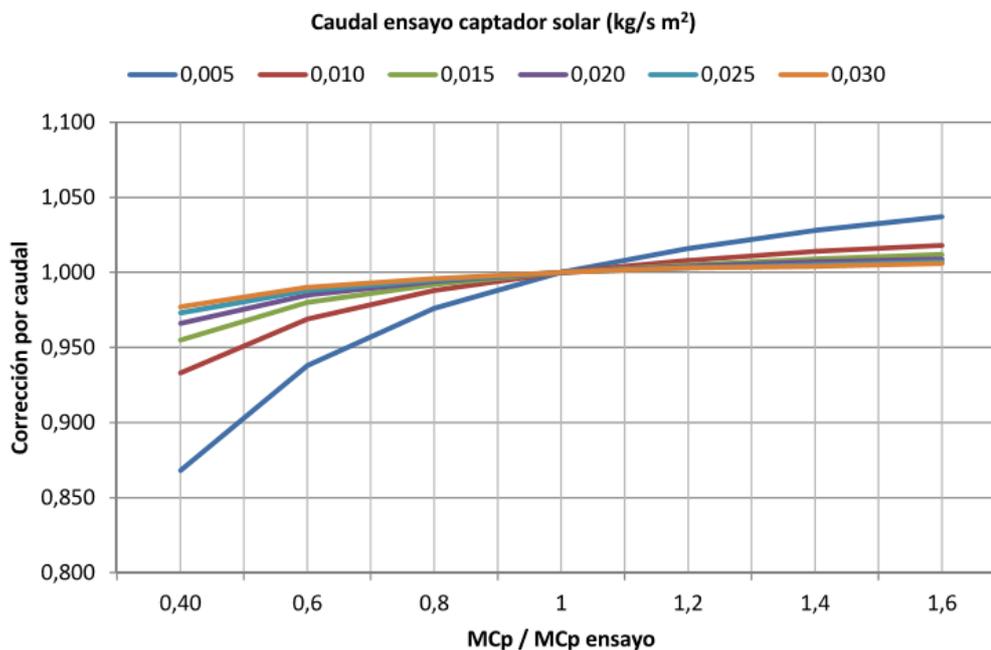


Figura 1.2 Corrección por caudal

2. **Corrección por agrupación de captadores en serie.** Se define el área y los parámetros de la recta de rendimiento para un captador equivalente a la agrupación. Para N captadores el factor corrector es:

$$C_A = \frac{1 - (1 - K)^N}{N \cdot K}$$

Siendo

$$K = \frac{A \cdot F_R \cdot U_L}{M \cdot C_p}$$

Donde:

- A es el área de un captador plano, m².
- M es el caudal de un captador plano, kg/s.
- C_p es el calor específico del fluido caloportador,

Por lo que

$$F_R U_L^* = C_A \cdot F_R \cdot U_L$$

$$F_R(\tau\alpha)_n^* = C_A \cdot F_R(\tau\alpha)_n$$

3. Corrección por ángulo de incidencia. En el caso que nos ocupa usaremos un factor corrector igual a 0,96 puesto que la inclinación del captador es similar a la normal. No obstante, experimentalmente se ha obtenido la siguiente ecuación para el cálculo del factor corrector:

$$K_{\tau\alpha} = 1 - b_0 \cdot \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)$$

$$(\tau\alpha) = K_{\tau\alpha} \cdot (\tau\alpha)_n$$

Donde

- b_0 depende del tipo de captador solar, toma un valor de 0,1 para un captador solar plano.
- θ ángulo de incidencia de la radiación directa.

De igual forma se calcula el factor corrector para la radiación difusa, calculando el ángulo de la radiación difusa como:

$$\theta_{difusa} = 59.7 - 0.1388 \cdot s + 0.001497 \cdot s^2$$

Siendo s la inclinación del captador.

El método se desarrolló para instalaciones donde la capacidad de acumulación es de 75 l/m², una demanda de ACS inferior al 20% de la demanda de calefacción y donde no existen elementos acoplados al captador como puede ser un intercambiador de calor. Por lo que, además, de las correcciones anteriores sobre la curva de rendimiento del captador solar el método f-Chart posee las siguientes correcciones:

4. Corrección por la capacidad de almacenamiento. Si la acumulación es diferente a 75 l/ m² de superficie de captación, se corrige el factor adimensional X mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{V}{75} \right)^{-0.25}$$

- 5. Corrección por intercambiador de calor.** Es usual que en el circuito de captación exista un intercambiador de calor, lo que provoca un aumento del gradiente de temperaturas que tiene como consecuencia una disminución del rendimiento del sistema. Se obtendrá, por tanto, un sistema equivalente donde los parámetros de la recta de rendimiento se verán afectados por el siguiente factor corrector.

$$C_I = \left[1 + \frac{F_R U_L \cdot A}{M_p \cdot C_{pp}} \cdot \left(\frac{M_p \cdot C_{pp}}{\varepsilon \cdot C_{min}} \right) \right]^{-1}$$

Siendo

- M_p caudal del circuito primario, kg/s.
- C_{pp} calor específico del circuito primario, J/g·K.
- ε rendimiento del intercambiador
- C_{min} es el menor valor entre el circuito primario y secundario de $M \cdot C_p$

- 6. Corrección por consumo de ACS.** Si la demanda de ACS es inferior al 20% de la demanda de calefacción se corrige el facto de pérdidas X:

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

Siendo:

- T_{ac} temperatura de preparación del agua caliente, °C.
- T_{af} temperatura del agua fría, °C.
- T_{am} temperatura ambiente, °C.

La carga calorífica mensual se calcula como:

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

Donde

- M_{ac} consumo de agua caliente, l/día.
- ρ densidad del agua, 1 kg/l.
- C_p calor específico, 4190 J/kg·K.
- N número de días del mes en estudio.

1.4 Descripción del edificio

El edificio es un hotel de tres estrellas situado en la calle Santillana, número 5-7, de la ciudad de Sevilla.

El edificio cuenta con cuatro plantas, asumiendo la planta baja como la primera. Lo cual nos proporciona una

altura superior a todos los edificios colindantes, ofreciéndonos la posibilidad de aprovechar la totalidad de la radiación solar.

El hotel posee 25 habitaciones dobles, 5 de ellas en la planta baja, 9 en la primera y segunda, y una habitación para el director en el ático, junto a la cual está el cuarto para las instalaciones de producción de ACS.

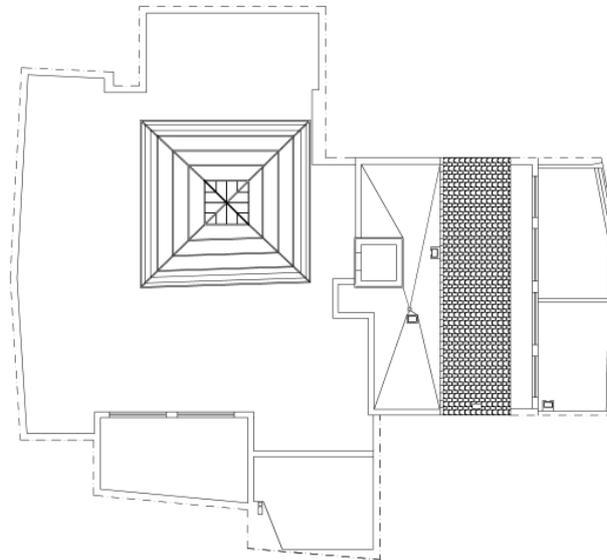


Figura 1.3 Planta ático

En la planta ático nos encontramos con dos tipos de cubierta, una azotea transitable y una cubierta inclinada con teja sobre la cubierta.

1.5 Descripción de la instalación

1.5.1 Principio de funcionamiento

El funcionamiento de la instalación solar de baja temperatura, inferior a 100 °C, se basa en la captación de la radiación solar mediante una serie de captadores, por el interior de los cuales circula un fluido caloportador que la transporta a un sistema de almacenamiento. En nuestro caso el sistema de almacenamiento lo componen un interacumulador, en el interior del cual se dará el intercambio de energía entre el fluido caloportador y el agua de consumo, y un depósito independiente. El interacumulador abastecerá al depósito por su parte inferior.

Además, nuestra instalación cuenta con un sistema auxiliar que proveerá de ACS al depósito cuando la demanda así lo requiera.

Para el correcto funcionamiento de nuestra instalación contaremos con una serie de sensores conectados a un sistema de control que pondrá en marcha el sistema de captación o auxiliar según sea necesario.

Para que la bomba del circuito primario se ponga en funcionamiento la diferencia entre la salida de los captadores y la parte inferior del interacumulador debe ser mayor que 7 °C. La bomba se detendrá cuando esta diferencia sea igual o inferior a 2 °C.

Por otro lado, el sensor a la salida del depósito indicará al sistema auxiliar la necesidad, o no, de su puesta en marcha, siendo la temperatura de consumo más 5°C la mínima por debajo de la cual entrará en funcionamiento el sistema auxiliar.

Los principios básicos por los que se rigen estos sistemas son:

- Aporte de energía no controlable
- La demanda y el aporte de energía están desfasados
- La orientación e inclinación del captador afecta gravemente al rendimiento
- La radiación solar debe ser captada a la mayor temperatura posible

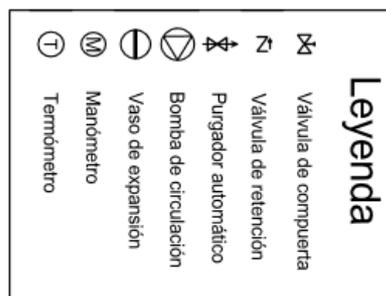
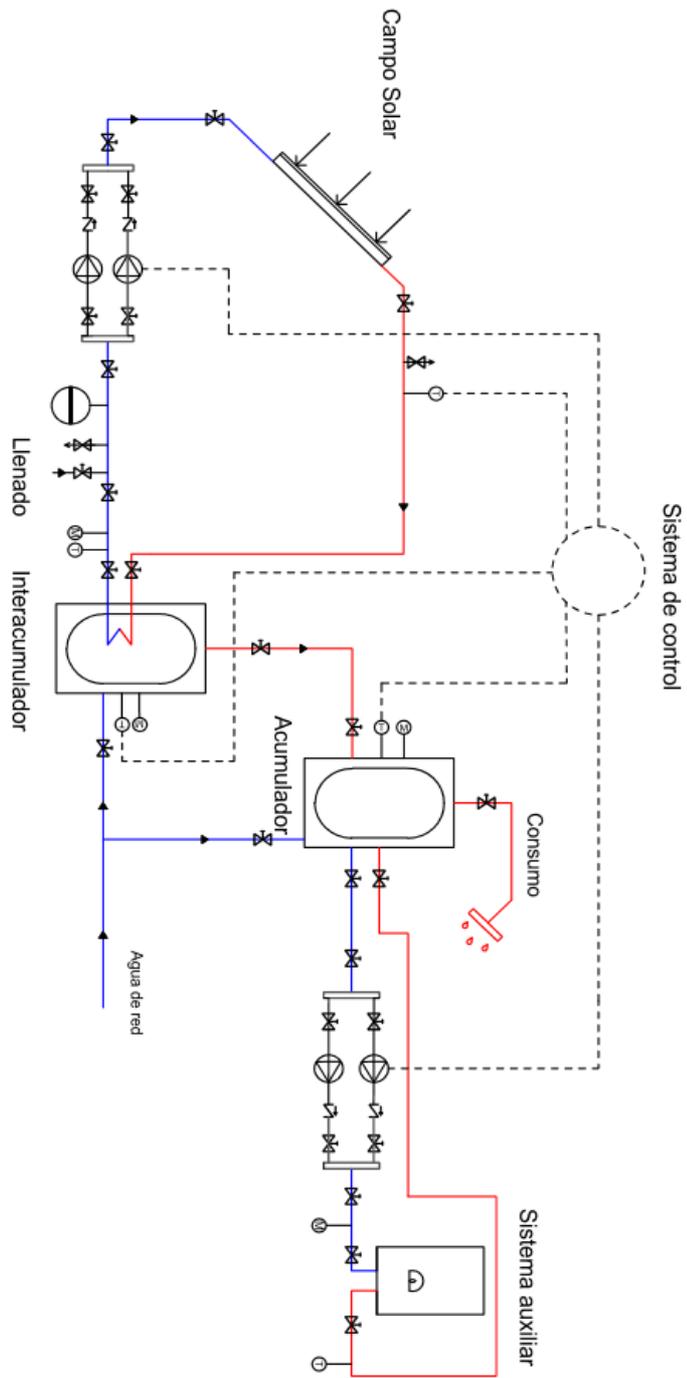


Figura 1.4 Esquema de principio

Por todo ello, la instalación solar cuenta con cuatro subsistemas que se pueden diferenciar claramente:

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

1.5.2 Elementos principales de la instalación

a. Captador solar plano

El captador solar es un dispositivo que transforma la radiación solar en energía térmica. Consiste en una caja aislada, excepto por su parte superior que posee una superficie acristalada, por la que circula un fluido caloportador que es calentado por la radiación solar. Combina el efecto invernadero y el efecto de cuerpo negro para aumentar su rendimiento, obteniendo la mayor radiación posible con las menores pérdidas.

El tipo de superficie absorbente suele ser selectiva, compuesto de un material que conduzca eficazmente la energía como el cobre o el aluminio.

Nuestro sistema contará con una superficie total de captación de 23 m². Con 2 baterías en paralelo, donde cada una de ellas contará con 5 paneles conectados en paralelo entre sí.

Para el retorno de la red se ha optado por la variante *retorno invertido de la alimentación*, la cual consiste en comenzar a retornar el agua de la red desde la primera fila, obteniendo circuitos equivalentes en el de ida y vuelta. Proporcionándonos, de esta forma, un circuito hidráulicamente equilibrado, compensando las pérdidas de carga entre los emisores más alejados y los más próximos.

La orientación e inclinación de los captadores juega un papel fundamental en el rendimiento de nuestro sistema. Utilizaremos, por tanto, los que maximicen el rendimiento, orientación sur. La inclinación será de 45°, puesto que la de máximo rendimiento para una demanda predominante en invierno sería igual a la latitud +10° (47°), puesto que es una zona muy calurosa en verano donde la demanda de acs disminuye drásticamente.

b. Intercambiador de calor y acumulador de calor.

El intercambiador es un dispositivo que transfiere el calor extraído desde el circuito primario al secundario. En nuestro caso, el intercambiador de calor vendrá incorporado en el interior del acumulador, este tipo de dispositivos se llaman interacumuladores.

El interacumulador posee en su interior un serpentín por el cual circula el caudal del circuito primario, calentando de esta forma, el agua almacenada en el interior del tanque. Al aumentar la temperatura del agua su densidad disminuye, lo que provoca que ascienda, creando una circulación natural y estableciendo la estratificación de temperaturas.

El uso de acumuladores es necesario debido al desfase entre la demanda y la radiación solar. Por lo que, un buen dimensionado de este equipo es fundamental para poder abastecer la demanda necesaria que se produce en horas puntas donde la captación es mínima, independizando de esta forma, el circuito de captación del circuito de consumo en la mayor medida posible.

El depósito debe poseer ciertas características, como una superficie exterior mínima para un volumen dado, que favorezcan la estratificación. Por lo que se suele optar por depósitos cilíndricos en posición vertical. El aislamiento también es un factor importante, así como el material de construcción que debe disminuir la corrosión en la mayor medida posible.

Nuestra instalación cuenta con un interacumulador de 2500 litros que almacenará el agua calentada por el sistema solar y un segundo acumulador de 2000 litros abastecido por el sistema de apoyo.

c. Sistema auxiliar

El sistema auxiliar es el encargado de abastecer de ACS al edificio cuando el sistema solar no es capaz, no obstante, la potencia debe ser tal que aporte la totalidad de la demanda de agua caliente sanitaria cuando sea necesaria.

La caldera instalada es del fabricante Viessmann modelo VITOCROSSAL 300 CM3, es una caldera de condensación a gas, con una potencia térmica nominal de 87 hasta 142 kW, capaz de elevar la temperatura hasta la necesaria de utilización. En el presente documento comprobaremos que la caldera que existente cumple con los requisitos del sistema.

d. Sistema hidráulico

Para el circuito hidráulico las tuberías que se utilizarán serán de cobre, debido a su afinidad con las mezclas de glicol y agua, además de por ser resistente a la corrosión, duradero y elástico. Otra ventaja es que permite inhibir el crecimiento de hongos, bacterias y virus.

Además, el cobre se define como material liso, en su comportamiento hidráulico, lo que proporciona una baja pérdida de carga lineal.

El circuito primario, aquel que une los captadores con el interacumulador, estará formado por agua neutra y propilenglicol, con un 40% en peso, aumentando de esta forma la capacidad de transferencia, así como la protección contra la congelación del fluido en épocas de heladas.

Por otro lado, en el circuito secundario, aquél formado por las tuberías que abastecen los distintos puntos de uso desde el interacumulador, fluirá agua potable proveniente de la red de agua municipal.

El dimensionado de la red se obtiene teniendo en cuenta los diferentes tramos del sistema y calculando la pérdida de carga en cada uno de ellos, así como la velocidad, para el diámetro más adecuado que cumpla con las condiciones técnicas impuestas por el reglamento de instalaciones térmicas de la edificación.

Estos cálculos se han obtenido en el apartado 2.6 de la memoria de cálculo.

Una vez se tenga la pérdida de carga total, se instalará el grupo de bombeo con la potencia que más se adecue al sistema. En el circuito primario, la bomba se colocará en el punto más frío del sistema, tubería de retorno a los captadores.

El grupo de bombeo contará con una válvula de retención, que evitará el flujo inverso de la corriente, así como válvulas de corte que posibilitarán el aislamiento del equipo para su posible manipulación.

Se instalarán purgadores en las zonas más altas de la red de circulación, donde se concentran las bolsas de aire que pueden llegar a bloquear el sistema.

El circuito primario es un circuito cerrado donde se producen variaciones del volumen del fluido caloportador debido a la variación de su temperatura, por lo que será necesario instalar un vaso de expansión, en nuestro caso cerrado, que anule este efecto perjudicial para el sistema. El lugar de colocación del vaso será en la aspiración de la bomba.

e. Sistema de regulación y control

Toda instalación solar necesita de un sistema de regulación y control que gestione el intercambio de energía entre captadores, interacumulador y consumo, proporcionando un funcionamiento óptimo del sistema.

El circuito primario se controla mediante la puesta en marcha o parada de la bomba del circuito primario. El uso de la bomba viene determinado por la variación de temperatura del fluido caloportador a la salida de los captadores y la parte baja del interacumulador. La diferencia de temperaturas para que la bomba se ponga en marcha debe ser de 7°C, mientras que si la diferencia es de menos de 2°C la bomba se parará.

Por otro lado, necesitaremos un sensor a la salida del depósito, que indicará al sistema auxiliar la necesidad o no de su puesta en marcha, siendo la temperatura de consumo más 5°C la mínima por debajo de la cual entrará en funcionamiento el sistema auxiliar.

1.6 Características técnicas de los equipos

1.6.1 Captadores solares planos

Los captadores solares planos que se instalarán de la marca Sonnenkraft poseen las siguientes características:

- Nombre: SKR500
- Superficie bruta: 2.57 m²
- Superficie de apertura: 2.26 m²
- Superficie de absorbedor: 2.3 m²
- Altura: 2079 mm
- Ancho: 1240 mm
- Profundidad: 95 mm
- Capacidad del captador: 1.45 l
- Presión máx. de trabajo: 10 bar
- Temperatura de estanqueidad: 174 °C
- Caudal recomendado: 10-35 l/m²·h
- Conexión en serie: Máx. 12 uds en paralelo
- Inclinación mín. y máx. 15-75 °
- Conexiones: 18 m cobre
- Absorbedor: Absorbedor de aluminio de superficie completa; recubrimiento al vacío altamente selectivo
- Rendimiento óptico: 0.82
- Factor de pérdidas: 3.821 / 3.758 W/m²·K

1.6.2 Interacumulador

El interacumulador seleccionado de la marca Lapesa tiene las siguientes características:

- Modelo: MVV2500SB
- Depósito de acero vitrificado con serpentín
- Capacidad de ACS: 2500 l
- Aislamiento: espuma rígida de poliuretano PU inyectada en modo de 80 mm con pieza aislante del mismo material en la BH DN400 lateral
- Temperatura máxima depósito ACS: 90 °C
- Presión máx depósito ACS: 8 bar
- Temperatura máxima circuito de calentamiento: 120 °C
- Presión máxima circuito de calentamiento: 25 bar
- Número de serpentines: 3

- Capacidad de serpentines 28 l
- Superficie de intercambio: 4.8 m²
- Cota A (diámetro exterior) 1360 mm
- Cota B (longitud total): 2015 mm
- Cota C: 195 mm
- Cota D: 800 mm
- Cota E: 910 mm
- Cota F: 400 mm
- Cota G: 1225 mm
- Cota H: 1415 mm
- N° conexiones protección catódica: 2

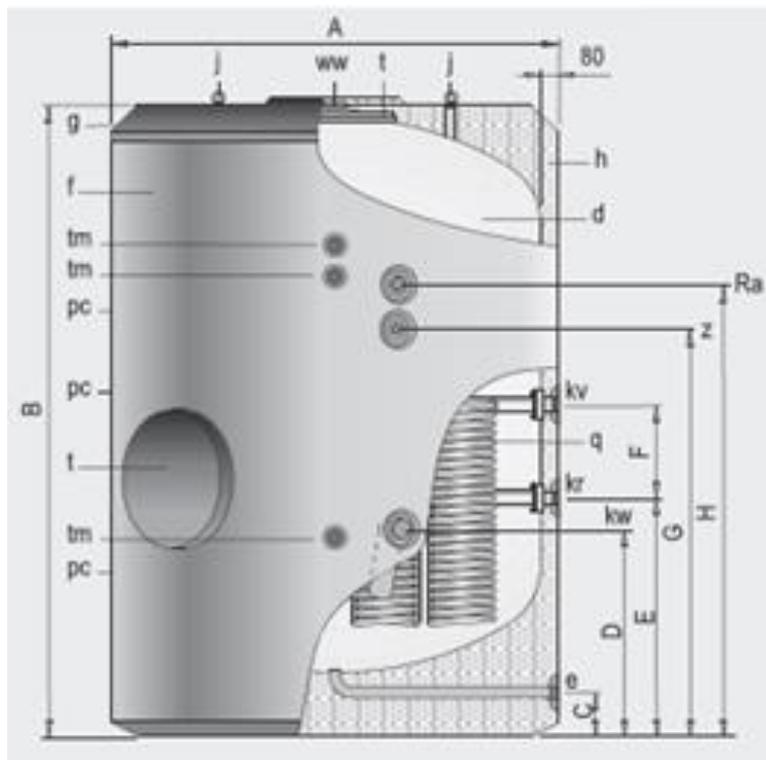


Figura 1.5 Cotas interacumulador solar

1.6.3 Bomba del circuito solar

Para el circuito primario se ha seleccionado una bomba circuladora de la marca Grundfos, con las siguientes características generales:

- Modelo: Alpha1 25-50 180
- Caudal real calculado: 0.1503 l/s
- Altura resultante de la bomba: 4.743 m
- Presión de trabajo máxima: 10 bar
- Potencia nominal: 5-32 W
- Consumo de corriente máximo: 0.27 A

- Peso neto: 2,1 kg
- Rango de temperaturas ambiente: 1-40 °C
- Rango de temperatura del líquido: 2-110 °C
- Alimentación eléctrica: 230 V, 50Hz

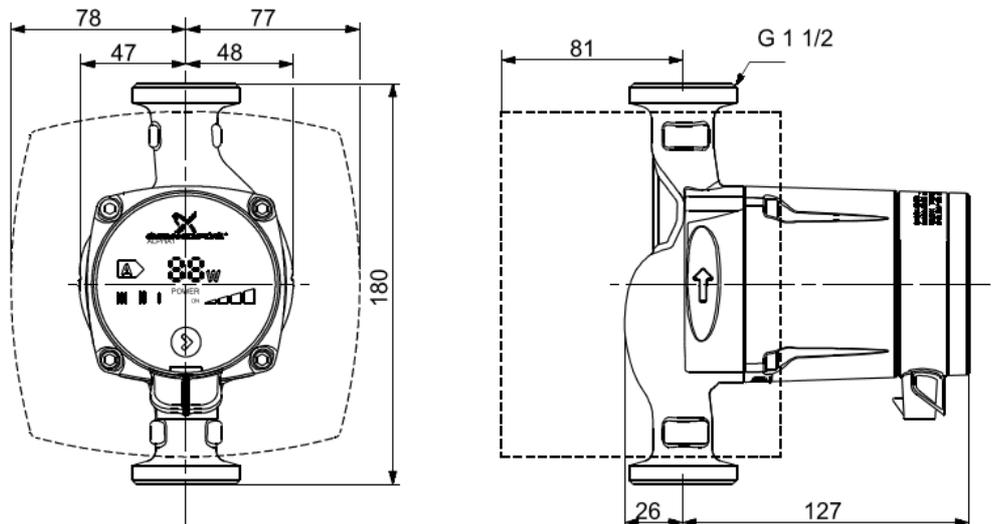


Figura 1.6 Esquema bomba circuito primario.

1.6.4 Vaso de expansion

El vaso de expansión seleccionado pertenece a la marca Thermowave, posee las siguientes características generales:

- Modelo: TWB2LX
- Conexión: Inox 3/4" BSP
- Volumen nominal: 2 l
- Peso embalaje: 1,1 kg
- Dimensiones: A = 20.6 cm, B = 12.6 cm
- Presión máxima de trabajo: 10 bar
- Temperatura máxima de trabajo 90 °C
- Precarga de fábrica 1.9 bar

1.6.5 Caldera auxiliar

La caldera seleccionada es una caldera de condensación del fabricante Viessmann, posee las siguientes características generales;

- Modelo: VITOCROSSAL 300 CM3
- Margen de potencia térmica útil: 47-142 kW
- Presión máx. de alimentación de gas: 50 mbar
- Temperatura de servicio admisible: 95 °C

- Presión de servicio de adm.: 4 bar
- Pérdida de carga en pasos de humos: 150 Pa
- Peso: 261 kg
- Volumen de agua de la caldera: 110 l
- Rendimiento estacional con una temperatura del sistema de calefacción de 75/60 °C: 95 H_s/106 H_i
- Quemador de radiación modelo MatriX VMIII 3
- Tensión y frecuencia: 230 V, 50 Hz

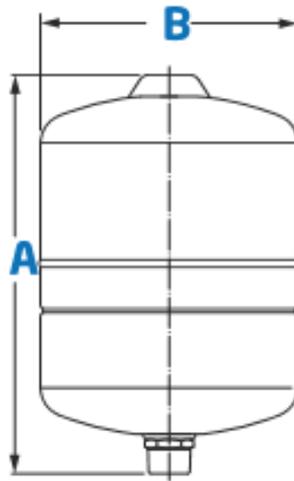


Figura 1.7 Esquema vaso de expansión

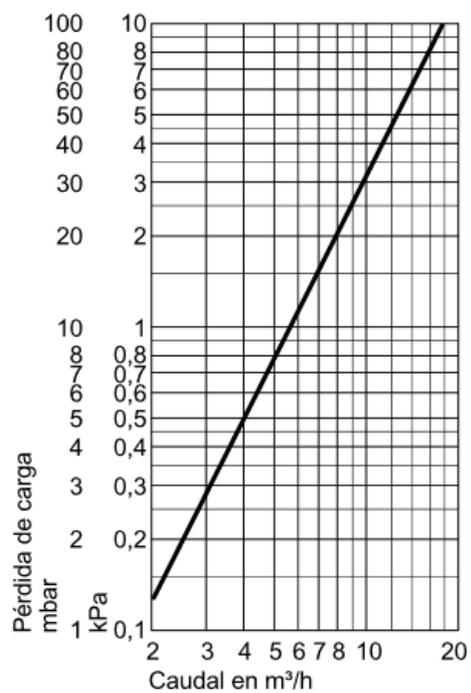
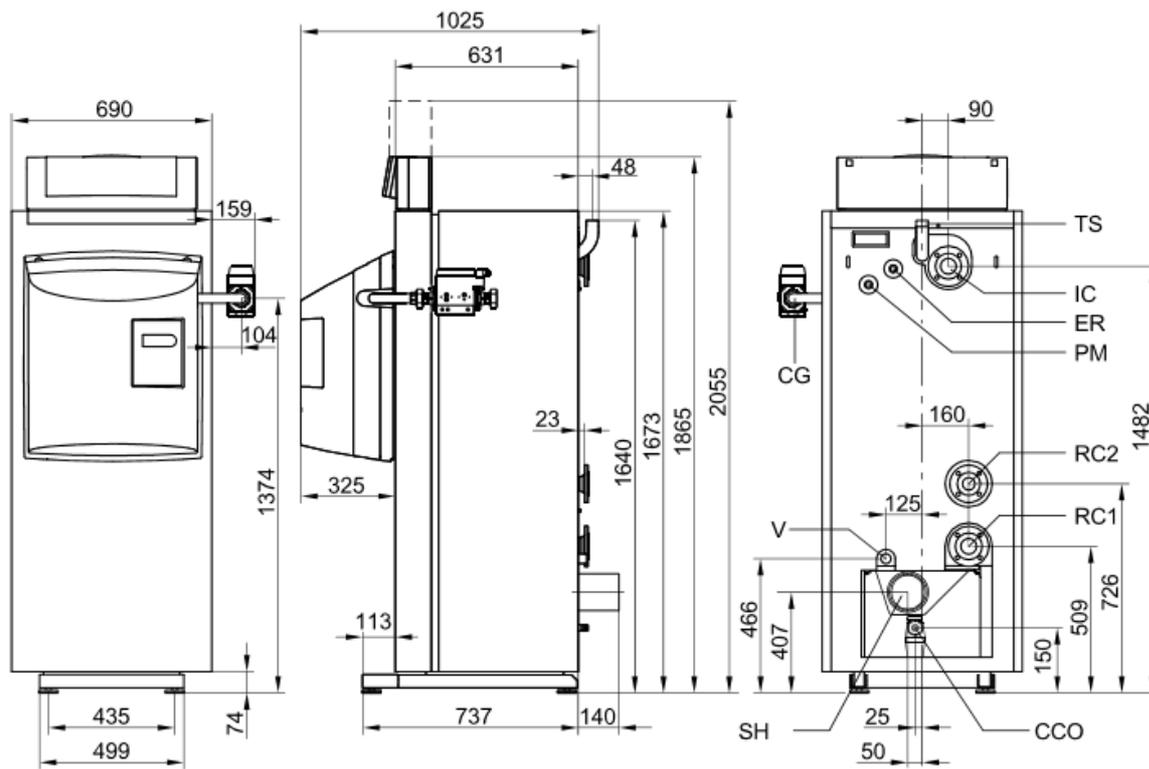


Figura 1.8 Pérdida de carga del circuito primario de la caldera



- | | |
|--|--|
| SH Salida de humos | RC 2 Retorno de caldera 2 |
| PM Manguito para presostato de mínima | IC Impulsión de caldera |
| V Vaciado | ER Manguito para equipos de regulación adicionales |
| CG Conexión de gas | TS Toma de seguridad (Válvula de seguridad) |
| CCO Conducto de vaciado de condensados | |
| RC 1 Retorno de caldera 1 | |

Figura 1.9 Esquema caldera auxiliar

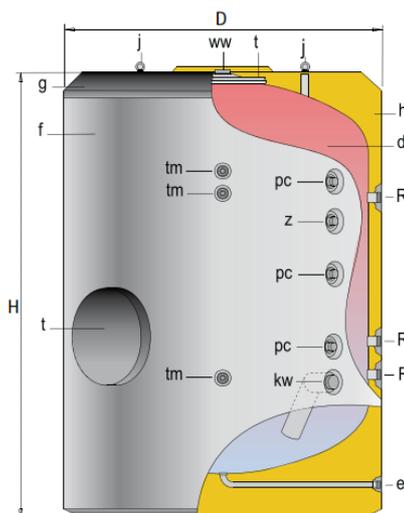


Figura 1.10 Esquema acumulador auxiliar

1.6.6 Acumulador auxiliar

El acumulador de acero vitrificado seleccionado pertenece a la compañía Lapesa, posee las siguientes características generales:

- Modelo: MVV2000RB
- Diámetro exterior: 1360 mm
- Altura total: 2280 mm
- Diagonal: 2655 mm
- Peso en vacío: 460 kg
- Aislamiento: espuma rígida de poliuretano PU inyectada en modo de 80 mm con pieza aislante del mismo material en la BH DN400 lateral
- Equipo de protección catódica: Lapesa correx-up.

1.7 Normativa

A continuación, se describen las normas de obligado cumplimiento para instalaciones solares y que han sido usadas para la redacción de este proyecto:

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

- o La localidad de Sevilla está denominada como zona climática V, por lo tanto, la instalación debe cumplir una fracción solar mínima del 60%. No obstante, nuestros cálculos sitúan una fracción de demanda cubierta de 67%.
- o La fracción de demanda cubierta nunca será mayor del 110%, ni del 100% durante más de tres meses. Nuestra instalación posee una fracción de demanda máxima del 85% por lo que se cumple ambas restricciones.
- o En el caso general, las pérdidas por inclinación y orientación nunca serán superiores al 10%, las pérdidas por sombras serán inferiores al 10% y las pérdidas totales nunca sobrepasarán el 15%.

Para nuestro caso el ángulo de inclinación es de 45° respecto a la horizontal y el ángulo de azimut de 0°, ya que el campo de captadores posee una orientación sur. Siendo las pérdidas por inclinación del 0,77% y no existiendo pérdidas de orientación, ni por sombras, puesto que no existen edificios colindantes de mayor altura al estudiado.

b. Normas UNE

- o UNE 100155
Donde se expone el método de cálculo del vaso de expansión seguido en el presente proyecto.
- o UNE 94002
Suministra los valores de referencia de consumo de agua caliente sanitaria y temperaturas de diseño necesarios para el cálculo de la demanda de energía térmica en las instalaciones de producción de agua caliente sanitaria.
- o UNE 94003
Proporciona los valores climáticos de referencia de irradiación global media mensual sobre superficie horizontal y de temperatura ambiente.

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

- o Preparación de agua caliente para usos sanitarios (IT 1.1.4.3.1)
Aporta las condiciones de obligado cumplimiento para la prevención de la legionelosis en la producción de ACS, puesto que nuestra instalación pertenece al grupo de mayor riesgo.
La preparación de agua caliente sanitaria debe cumplir con la legislación vigente higiénico-

sanitarias para la prevención y control de la legionelosis.

Los sistemas, equipos y componentes de la instalación que deban ser sometidos a tratamientos de choque térmico para la prevención y control de la legionelosis 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.

Además, no se permite la preparación de ACS 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 la pérdida de energía todos los equipos, accesorios y tuberías deben estar aislados térmicamente. El cálculo del espesor mínimo de aislamiento mediante un proceso simplificado viene recogido en esta norma.

Los espesores de aislamiento seleccionados en este documento cumplen todos con la norma.

- Medición (IT 1.3.4.4.5)

En esta instrucción se detallan la instrumentación de medida que deben disponer la instalación térmica para la supervisión de todas las magnitudes y valores de dos parámetros que intervienen de forma fundamental en el funcionamiento de los mismos.

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

El equipamiento mínimo será el siguiente:

- Captadores de impulsión y retorno de un fluido portador: un termómetro.
- Vasos de expansión: un manómetro.
- Circuitos secundarios de tuberías de un fluido portador: un termómetro en el retorno.
- Bombas: un manómetro para la lectura de la diferencia de presión entre aspiración y descarga.
- Chimeneas: un pirómetro o un pirostato con escala indicadora.
- Intercambiadores de calor: termómetro y manómetro a la entrada y salida de los fluidos.

- Sistema de distribución de agua (IT 2.3.3)

La empresa instaladora realizará y documentará el procedimiento de ajuste y equilibrado de los sistemas de distribución de agua.

1.8 Bibliografía

- “Energía solar”. Grupo de Termotecnia, Dpto. Ingeniería Energética, Escuela superior de Ingenieros de Sevilla. 2015
- “Reglamento de instalaciones térmicas en edificios”. IDAE. 2013.
- “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”. Código técnico de la edificación, sección HE 4 (CTE-HE4). 2013.
- “Instalación de energía solar para la producción de acs en una residencia de ancianos”. Francisco Javier Benjumea Trigueros. Universidad de Sevilla. 2015
- “Instalación solar para producción de ACS en un hospital”. Claudia Merin. Universidad de Sevilla. 2015
- “Instalación de energía solar para producción de ACS en una residencia de estudiantes”. A. Berro Ramírez. Universidad de Sevilla.
- “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” AEONOR, Norma UNE 100-155. 2004.
- “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria” AEONOR. 2005.

- “Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones térmicas” AEONOR, Norma UNE 94003. 2007

Referencias web

- <http://www.aenor.es.fama.us.es>
- <http://www.codigotecnico.org/>
- <http://www.salvadorescoda.com>
- <http://www.ree.es/es/nuestra-gestion/principales-indicadores/integracion-de-renovables>
- <http://www.lapesa.es.com>
- <https://www.grundfos.com>
- <http://www.sonnenkraft.es/>

2 MEMORIA DE CÁLCULO

2.1 Introducción

En la memoria de cálculo se detallarán y justificarán todos los resultados numéricos obtenidos para la instalación de un sistema solar térmico de baja temperatura, para un hotel de tres estrellas situado en la ciudad de Sevilla. Además, se dimensionará y seleccionarán todos los elementos que componen el sistema acorde a la normativa española vigente.

2.2 Datos de partida

a. Geográficos

El edificio se encuentra en la ciudad de Sevilla, a una altura de 7 m sobre el nivel del mar, latitud igual a 37.39 grados y orientación de la fachada al este, con una azotea plana transitable que se eleva por encima de los edificios colindantes, con posibilidad de orientar los captadores en dirección sur.

b. Climáticos

La zona climática que nos corresponde es V, según el Documento Básico HE Ahorro de Energía, puesto que la radiación solar diaria media anual es mayor o igual a 18 MJ/m² según la norma 94003:2007, donde la radiación solar diaria media mensual sobre una superficie horizontal y la temperatura ambiente media para cada uno de los meses del año se pueden observar en la Tabla 2-1.

Sin embargo, nuestros captadores solares están inclinados, por lo que habrá que corregir la radiación incidente para superficies horizontales. De esta forma, se descompondrá la radiación en dos componentes, directa y difusa, para después ver su equivalente en una superficie inclinada. Por último, se suman ambas componentes inclinadas para volver a obtener la global.

Mes	Radiación solar diaria media mensual (MJ/m ² ·día)	Temperatura ambiente diaria media mensual (°C)
Enero	9.1	10.7
Febrero	12.2	11.9
Marzo	16.0	14
Abril	19.8	16
Mayo	24.1	19.6
Junio	25.9	23.4
Julio	27.2	26.8
Agosto	24.8	26.8
Septiembre	19.2	24.4
Octubre	14.3	19.5
Noviembre	10.2	14.3
Diciembre	8.3	11.1

Tabla 2-1 Radiación solar y temperatura ambiente diaria media mensual.

Para empezar, se calcula la **declinación solar**, que es el ángulo que forma el plano ecuatorial y la línea que une los centros de la tierra y el sol, para cada uno de los meses del año.

Para ello utilizamos la ecuación de Cooper.

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left(\frac{360}{365} \cdot (n + 284) \right)$$

Siendo **n** el número del día del año

Obteniendo los resultados para cada uno de los meses en la Tabla 2-2

El ángulo horario de la salida del sol, que es el arco en grados descrito por el sol desde el amanecer hasta su culminación será:

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

Siendo **φ** la latitud.

Nótese que el ángulo de la salida del sol es igual al ángulo de la puesta del sol excepto por su signo. Será, por tanto, el ángulo total el valor de dos veces w_s , Tabla 2-3.

El índice de claridad o de transparencia atmosférica se define como:

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

Siendo:

- H_{g0} la irradiación global horizontal.
- H_0 la irradiación extraterrestre horizontal para la latitud correspondiente a la ciudad de Sevilla.

Mes	Día del año	Declinación (°)
Enero	17	-20.92
Febrero	47	-12.95
Marzo	75	-2.42
Abril	105	9.41
Mayo	135	18.79
Junio	162	23.09
Julio	198	21.18
Agosto	228	13.45
Septiembre	258	2.22
Octubre	288	-9.6
Noviembre	318	-18.91
Diciembre	344	-23.05

Tabla 2-2 Declinación solar

Mes	Ángulo solar de la salida del sol (°)	Ángulo solar total (°)
Enero	73.02	146.03
Febrero	79.87	159.75
Marzo	88.15	176.30
Abril	97.28	194.56
Mayo	105.07	210.15
Junio	109.01	218.02
Julio	107.23	214.46
Agosto	100.54	201.072
Septiembre	91.70	183.39
Octubre	82.57	165.15
Noviembre	74.82	149.64
Diciembre	70.96	141.91

Tabla 2-3 Ángulo solar

Para hallar la irradiación difusa, I_d , a partir de la irradiación global media mensual sobre una superficie horizontal, I_h , usamos la correlación de Ersb, Klein y Duffie (1982):

$$\frac{I_d}{I_h} = 1.39 - 4.03 \cdot k_t + 5.53 \cdot k_t^2 - 3.11 \cdot k_t^3$$

Entendiendo que la irradiación global, I_h , es la suma de la difusa, I_d , y la directa, I_D , ya se tienen descompuestas la irradiación en sus dos componentes. Obteniendo para cada mes los resultados de la Tabla 2-4.

A continuación, se calcula la relación entre la radiación directa sobre una superficie inclinada y la radiación directa sobre una superficie horizontal:

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

Donde:

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

Mes	Irradiación extraterrestre horizontal (MJ/m ² ·día)	Índice de claridad	Irradiación difusa superficie horizontal (MJ/m ² ·día)	Irradiación directa superficie horizontal (MJ/m ² ·día)
Enero	16.8	0.542	3.052	6.048
Febrero	22.3	0.547	4.040	8.160
Marzo	28.8	0.556	5.194	10.806
Abril	35.4	0.559	6.371	13.429
Mayo	39.8	0.606	6.914	17.186
Junio	41.7	0.621	7.125	18.775
Julio	40.9	0.665	6.553	20.647
Agosto	37.5	0.661	6.049	18.751
Septiembre	31.7	0.606	5.506	13.694
Octubre	25	0.572	4.464	9.836
Noviembre	18.7	0.545	3.391	6.809
Diciembre	15.5	0.535	2.823	5.477

Tabla 2-4 Irradiación directa y difusa sobre superficie horizontal e índice de claridad

Calculando el ángulo solar sobre la superficie inclinada como:

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

Obteniendo de esta forma los valores de la Tabla 2-5.

Finalmente, se define la irradiación global en una superficie inclinada como:

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

Obteniendo, en la tabla Tabla 2-6 los valores de la irradiación solar global media sobre una superficie inclinada, así como de sus dos componentes, directa y difusa, para cada mes.

En la Figura 2.1 podemos comprobar cómo varía la irradiación recibida para una superficie inclinada y horizontal, observando cómo en los meses más desfavorables la superficie inclinada recibe una mayor irradiación solar

Mes	w'_s	R_D
Enero	73.02	2.182
Febrero	79.87	1.733
Marzo	88.15	1.324
Abril	88.66	0.998
Mayo	87.26	0.804
Junio	86.57	0.727
Julio	86.88	0.760
Agosto	88.07	0.909
Septiembre	89.69	1.182
Octubre	82.57	1.587
Noviembre	74.82	2.052
Diciembre	71.02	2.337

Tabla 2-5 Ángulo solar sobre superficie inclinada y relación entre la radiación directa sobre superficie inclinada y horizontal

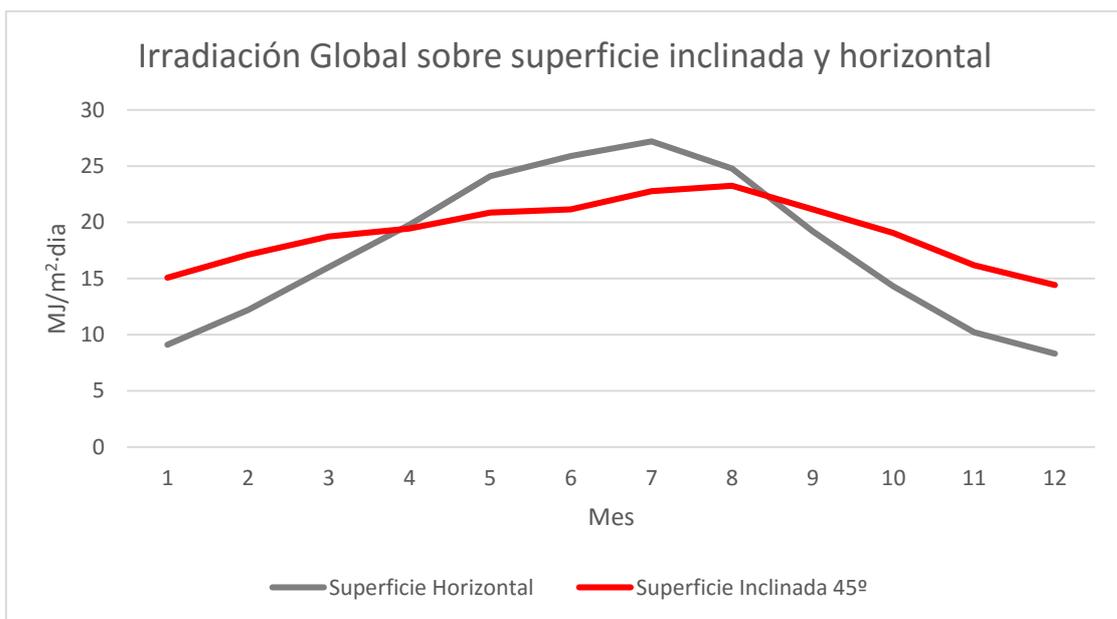


Figura 2.1 Irradiación global sobre superficie inclinada y horizontal

Mes	Irradiación global sobre superficie inclinada (MJ/m ² ·día)	Irradiación difusa sobre superficie horizontal (MJ/m ² ·día)	Irradiación directa sobre superficie horizontal (MJ/m ² ·día)
Enero	15.80	2.60	13.19
Febrero	17.59	3.44	14.14
Marzo	18.74	4.43	14.30
Abril	18.83	5.43	13.39
Mayo	19.71	5.90	13.81
Junio	19.73	6.08	13.65
Julio	21.29	5.59	15.69
Agosto	22.21	5.16	17.04
Septiembre	20.88	4.70	16.18
Octubre	19.41	3.81	15.60
Noviembre	16.86	2.89	13.97
Diciembre	15.20	2.41	12.79

Tabla 2-6 Irradiaciones sobre superficie horizontal.

2.3 Cálculo de la demanda

a. Cálculo del consumo

Según el código técnico de edificación apartado HE4, para un hotel de tres estrellas le corresponde un consumo de 41 l/día·persona, Para una temperatura en el acumulador final de 60°C. Él consumo se calcula bajo la máxima demanda posible por lo que cada habitación contará con dos personas puesto que son habitaciones dobles:

$$Q_{ACS} = 41 \text{ l/persona} \cdot \text{día} \cdot 50 \text{ personas} = 2050 \text{ litros/día}$$

b. Demanda energética

La demanda de energía térmica mensual se calcula mediante:

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

Donde:

- L_{ACS} demanda de energía (J/mes)
- Q_{ACS} consumo unitario diario medio (l/día)
- ρ_{agua} densidad del agua 1kg/l.

- C_p calor específico del agua, 4190 J/kg·K
- T_{ac} temperatura de referencia del agua caliente, 60°C
- T_{af} temperatura del agua de red, tabulados por la UNE94002:2005, °C
- Δt número de días del mes correspondiente.

Obteniendo en la Tabla 2-7 los valores para cada uno de los meses del año.

Mes	Temperatura del agua fría de red para Sevilla (°C)	Demanda de energía (MJ/mes)
Enero	11.00	13047.45
febrero	11.00	11784.79
Marzo	13.00	12514.90
Abril	14.00	11853.51
Mayo	16.00	11716.07
Junio	19.00	10565.08
Julio	21.00	10384.70
Agosto	21.00	10384.70
Septiembre	20.00	10307.40
Octubre	16.00	11716.07
Noviembre	13.00	12111.19
Diciembre	11.00	13047.45

Tabla 2-7 Demanda de energía

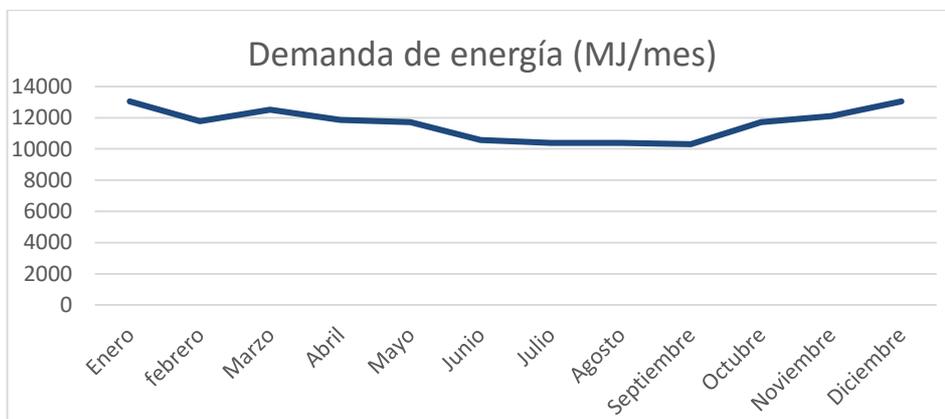


Figura 2.2 Demanda de energía

En la Figura 2.2 vemos cómo varía la demanda para cada mes. Si, además, por experiencia se sabe que en los meses de más radiación se consume menos ACS, se ratifica la decisión de elevar la inclinación de los paneles solares a 45°.

2.4 Cálculo de la superficie de captación

a. Determinación de la fracción de demanda cubierta

La fracción de demanda cubierta exigida por el CTE nos proporcionará la superficie de captación requerida, definiendo dicha fracción como:

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

Siendo:

- Q_{solar} energía útil solar captada, MJ/año
- L demanda de energía anual, MJ/año

Según la zona climática que nos corresponda la fracción de demanda cubierta exigida es diferente, para nuestro caso, zona V, y un consumo de entre 50-50.000 l/día nos corresponde un porcentaje del 60%, siempre que las fuentes de energía auxiliares provengan de fuentes no renovables fósiles.

Tomando como datos de partida los siguientes datos:

- Inclinación de los captadores respecto a la horizontal: 45°
- Acimut: 0°
- Numero de captadores en serie: 1
- Coeficiente característico del captador seleccionado: $F_R(\tau\alpha)_n = 0.82$; $F_R \cdot U_L = 3.82 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Caudal de ensayo del captador: 0.008 kg/s m²
- Caudal específico del captador: 0.006 kg/s m². El fabricante del panel recomienda un valor entre 0.0027 y 0.0097 kg/s m².

Área total (m ²)	Número de captadores	Fracción de demanda cubierta
4.6	2	16.25
9.2	4	31.04
13.8	6	44.44
18.4	8	56.53
20.7	9	62.11
23	10	67.39
27.6	12	77.10
32.2	14	85.73

Tabla 2-8 Fracción de demanda cubierta

Aplicando el método de cálculo expuesto en el apartado 1.3 se obtiene para distintas áreas las fracciones de demanda cubierta, Tabla 2-8.

La demanda mínima impuesta por el CTE del 60% se cumple a partir de la instalación del noveno captador. Sin embargo, la solución finalmente adoptada será 10 captadores para guardar la simetría de la instalación de cara al equilibrado hidráulico.

Se debe comprobar que la relación de el volumen del depósito de acumulación y la suma de las áreas de los captadores esté comprendida entre 50 y 180. En nuestro caso, para un acumulador de 2500 litros, la relación V/A es de 108.7, valor obtenido en el apartado 2.5.

En la Figura 2.3 se puede observar la demanda cubierta por nuestro sistema solar para cada uno de los meses del año sobre la cantidad de energía total demandada. Cuyos valores numéricos son los expuestos en la Tabla 2-9.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
f	50.06	56.24	63.03	66.2	72.84	77.75	85.47	86.76	79.25	67.57	55.4	48.1

Tabla 2-9 Fracción de demanda cubierta mensual

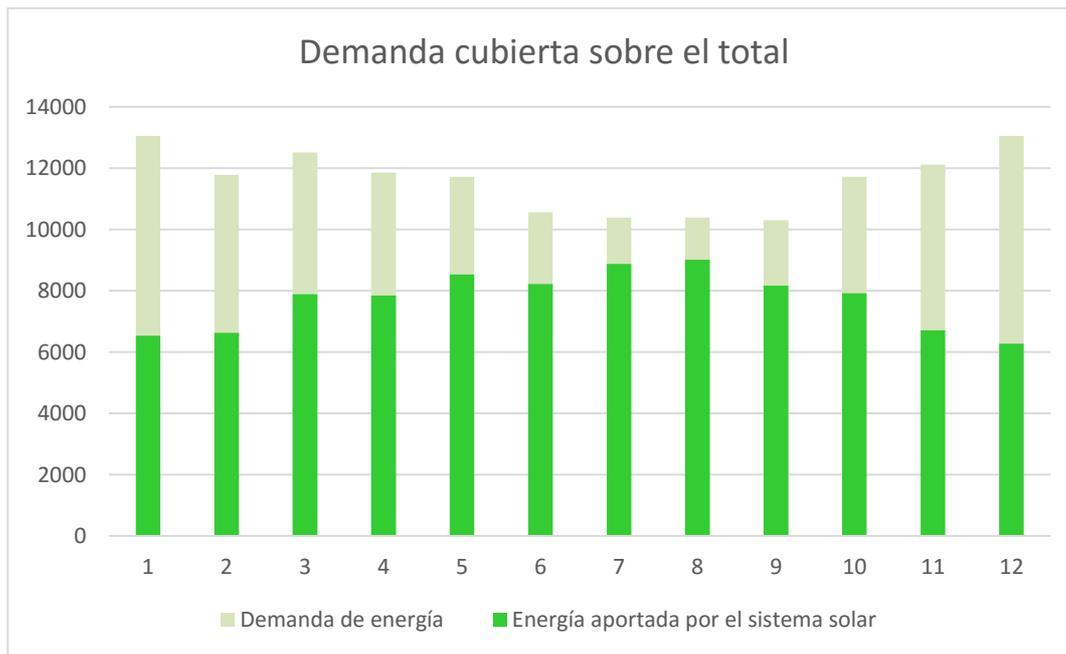


Figura 2.3 Demanda cubierta sobre el total

Disposición de los captadores

El campo de captadores estará compuesto por 10 captadores distribuidos en 2 baterías conectadas en paralelo. Cada batería, a su vez, contarán con 5 paneles conectados en paralelo entre sí.

El fluido será suministrado por la parte inferior del primer captador y retornará por la parte superior del último.

Para minimizar las pérdidas hidráulicas el circuito se instalará con retorno invertido, el cual consiste en retornar el agua de la red desde la primera fila, obteniendo circuitos equivalentes en el de ida y vuelta.

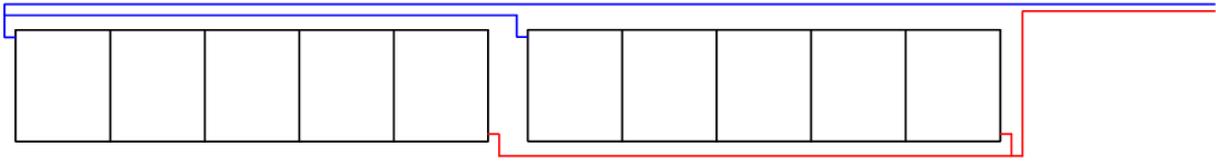


Figura 2.4 Circuitos hidráulicos

b. Pérdidas por orientación, inclinación y sombra

Estas pérdidas se expresan como el porcentaje de la radiación solar que incidiría sobre la superficie de captación orientada al sur, a la inclinación óptima y sin sombras.

Puesto que la orientación de los paneles solares es sur, no existen pérdidas por orientación.

Para las pérdidas por inclinación, el CTE propone como óptimo una inclinación igual a la latitud para una demanda constante durante el año, y una inclinación igual a la latitud +10° para dar preferencia la demanda en invierno. En este proyecto se ha seleccionado una inclinación de 45° respecto a la horizontal, puesto que se acerca más a las necesidades de nuestro edificio por encontrarse en una zona de alta irradiación en verano.

El cálculo de las pérdidas se calcula para una latitud de 41°. Conocido el acimut que nos corresponde, 0°, y para unas pérdidas máximas permitidas por el CTE del 10%, la Figura 2.5 nos proporciona los valores de inclinación máxima y mínima. Estos valores son la intercepción de la línea radial (correspondiente a nuestro acimut) con el porcentaje de energía permitido respecto al máximo (zona rayada como 90-95%). En nuestro caso corresponden con aproximadamente 7° y 60°.

Como nuestra latitud es de 37° debemos corregir estos valores usando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Inclinación máxima} = \text{inclinación} (\phi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}) = 60 - 4 = 56$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{inclinación} (\phi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}) = 7 - 4 = 3 \rightarrow 5$$

Siendo el valor mínimo 5° según el CTE.

Por lo que se comprueba que nuestra inclinación de 45° permanece dentro de los márgenes que garantizan una pérdida inferior al 10%. No obstante, podemos cuantificar las pérdidas usando la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot \left(1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2 \right) = 0,77\%$$

Donde:

- β inclinación de los captadores, 45°
- β_{opt} inclinación igual a la latitud, 37°
- α azimut, 0°.

En cuanto a las pérdidas por sombra son nulas al ser el edificio el más alto de su alrededor. No obstante, debemos de cuidar la distancia entre las distintas hileras de captadores para que no proyecten sombra unos sobre otros. Para ello, el instituto para la diversificación y ahorro de la energía recomienda que la distancia sea tal que garantice al menos cuatro horas de sol entorno al solsticio de invierno.

Según el CTE la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no debe ser inferior a 0,15. Por lo que la superficie mínima de intercambio para nuestro caso será de al menos 3,45 m².

Para la selección de nuestro interacumulador necesitaremos saber la potencia necesaria, así como la temperatura de entrada y salida de los fluidos del circuito primario y secundario.

Para ello, primero calculamos la potencia cedida por el fluido del circuito primario en el acumulador, para una variación de temperatura supuesta de 30°C:

$$P = M_{Bp} \cdot C_{pp} \cdot \Delta T = 0.138 \cdot 3.83 \cdot 30 = 15.8562 \text{ kJ/s}$$

Donde:

- P potencia del interacumulador, kJ/s.
- M_{Bp} caudal del circuito primario, kg/s.
- C_{pp} capacidad térmica del fluido caloportador en el circuito primario, kJ/kg·K.
- ΔT variación de temperatura, °C.

La capacidad térmica específica ha sido obtenida del anexo 6.2 y el caudal del circuito primario ha sido calculada en el apartado 2.6.

Puesto que el calor cedido por el fluido del circuito primario es el calor obtenido por el secundario, si suponemos nulas las pérdidas en el serpentín:

$$15.8562 = M_{Bs} \cdot C_{ps} \cdot \Delta T = 0.8 \cdot 0.138 \cdot 4.19 \cdot \Delta T_d$$

Se puede despejar de la ecuación anterior la variación que sufre el agua de distribución, ΔT_d , para un caudal igual al 80% del primario y una capacidad térmica del agua igual a 4.19 kJ/kg·K. Resultando:

$$\Delta T_d = 34.29 \text{ °C}$$

Si el agua de red entra a una temperatura de red media anual de 15,5°C, es inmediato la obtención de la temperatura de distribución a la salida del interacumulador: 49.78°C.

Una vez obtenidos todos estos datos se selecciona el depósito de los catálogos de los fabricantes. En nuestro caso el depósito obtenido pertenece a la empresa Lapesa, modelo MVV2500SB, con las características mostradas en la Figura 2.6.

2.6 Dimensionado del vaso de expansion

El vaso de expansión es un elemento utilizado para absorber el aumento de volumen del fluido caloportador que se produce al calentarlo.

Para el dimensionado del vaso de expansión seguiremos la norma UNE 100155:2004 que nos aconseja el RITE en su apartado IT 1.3.4.2.4.

En primer lugar, se calculará el volumen total de fluido caloportador en el circuito primario siendo este la suma del fluido contenido en las tuberías y captadores, más un 10 % adicional de seguridad:

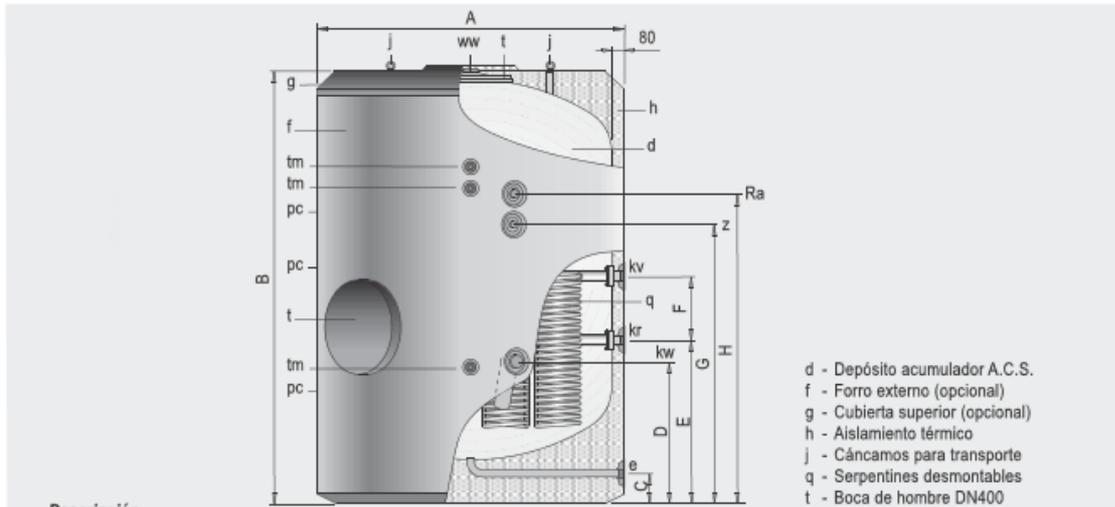
$$V_{total} = V_{captadores} + V_{tuberias} + V_{serpentin} + V_{adicional} = 14.5 + 9.1 + 28 + 2.36 = 56.76 \text{ l}$$

El coeficiente de expansión del agua entre la temperatura de 4 °C, a la que corresponde el volumen específico mínimo y la temperatura de funcionamiento del sistema, puede expresarse mediante la siguiente relación (válida para temperaturas desde 30 °C hasta 70 °C), en nuestro caso suponemos una temperatura máxima de 60 °C:

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

Depósitos de acero vitrificado, de 1500 a 5000 litros **lapesa**

Con serpentines



Descripción

Depósitos de gran capacidad para producción y acumulación de agua caliente sanitaria. Fabricados en acero vitrificado s/DIN 4753 y capacidades de 1500 a 5000 litros.

Incorporan un sistema de serpentines desmontable, fabricado en acero inoxidable, como sistema de producción propia de ACS a través de una fuente calórica externa que puede ser un circuito de caldera o paneles solares. Los modelos MVV-...-SSB tienen la superficie de intercambio del conjunto de serpentines aumentada para un mejor aprovechamiento de la energía procedente de paneles solares (ver tabla).

Aislados térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectada en molde, libre de CFC.

Todos los modelos disponen de conexiones para la incorporación de resistencias eléctricas de calentamiento como sistema de apoyo.

Incorporan de serie equipo de protección catódica permanente "Lapesa Correx-up" (ver pag. 42).

Características técnicas /Conexiones /Dimensiones		MVV1500 SB/SSB	MVV2000 SB/SSB	MVV2500 SB/SSB	MVV3000 SB/SSB	MVV3500 SB/SSB	MVV4000 SB/SSB	MVV5000 SB/SSB
Capacidad de A.C.S	l	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000
Temperatura máx.* depósito de A.C.S	°C	90	90	90	90	90	90	90
Presión máx. depósito de A.C.S. (*)	bar	8	8	8	8	8	8	8
Temperatura máx. circuito de calentamiento (**)	°C	120	120	120	120	120	120	120
Presión máx. circuito de calentamiento	bar	25	25	25	25	25	25	25
Número de serpentines -SB/-SSB	und	2 / 3	2 / 3	3 / 4	3 / 5	4 / 5	4 / 5	5 / 6
Capacidad de serpentines -SB/-SSB	l.	17 / 25	19 / 29	28 / 35	29 / 48	38 / 48	38 / 48	48 / 56
Superficie de intercambio -SB/-SSB	m ²	2.8 / 4.2	3.4 / 5.0	4.8 / 6.1	5.0 / 8.4	6.7 / 8.4	6.7 / 8.4	8.4 / 10.0
Peso en vacío aprox. -SB/-SSB	Kg	430 / 445	495 / 510	675 / 685	740 / 765	810 / 825	980 / 995	1110 / 1120
Cota A: diámetro exterior	mm	1360	1360	1660	1660	1660	1910	1910
Cota B: longitud total	mm	1830	2280	2015	2305	2580	2310	2710
Cota C:	mm	160	160	195	195	195	190	190
Cota D:	mm	680	680	800	800	800	880	880
Cota E:	mm	760	920	910	1015	1015	1055	1055
Cota F:	mm	400	400	400	400	400	400	400
Cota G:	mm	1095	1470	1225	1410	1545	1400	1580
Cota H:	mm	1285	1660	1415	1600	1735	1590	1770
kw: entrada agua fría	*GAS/M	2	2	3	3	3	3	3
e: desagüe	*GAS/M	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2
ww: salida agua caliente	*GAS/M	2	2	3	3	3	3	3
z: recirculación	*GAS/M	1-1/2	1-1/2	2	2	2	2	2
kv: avance caldera	*GAS/M	2	2	2	2	2	2	2
kr: retorno caldera	*GAS/M	2	2	2	2	2	2	2
Ra: conexión resistencia de apoyo	*GAS/M	2	2	2	2	2	2	2
tm: conexión sensores laterales	*GAS/M	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
pc: conexión protección catódica	*GAS/M	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2
nº conexiones protección catódica	und.	2	2	2	3	3	3	3
* en continuo								
(*) Otras presiones, consultar. (**) Temperatura estándar. Otras temperaturas, consultar.								
ErP		MVV1500 SB/SSB	MVV2000 SB/SSB	MVV2500 SB/SSB	MVV3000 SB/SSB	MVV3500 SB/SSB	MVV4000 SB/SSB	MVV5000 SB/SSB
Pérdidas estáticas	W	154	174	194	215	232	245	266
Clase de eficiencia energética	C	C	C	C	C	C	C	C
Volumen	l.	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000

Figura 2.6 Depósitos de acero vitrificados

Puesto que el fluido caloportador es una solución de glicol etilénico en agua el coeficiente de expansión debe multiplicarse por el siguiente factor corrector:

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

Donde

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

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

Donde G es el porcentaje en volumen del glicol etilénico en agua, en nuestro caso 40%.

Obteniendo:

$$C_{e,correctado} = 0.0245 \quad C_e = 0.01505 \quad f_c = 1.629 \quad a = 29.93292 \quad b = -0.58898$$

El próximo cálculo es el del coeficiente de presión, partiendo de la ecuación de los gases perfectos, considerando que la variación de volumen tenga lugar a temperatura constante (ley de Boyle y Mariotte). Este coeficiente representa la relación entre el volumen total y el volumen útil del vaso de expansión.

$$C_p = \frac{V_t}{V_u}$$

MODELOS Y ESPECIFICACIONES

MODELOS E ESPECIFICAÇÕES

Código / Modelo Código / Modelo	Versión / Versão	Conexión Conexão	Volumen nominal (litros) Volume nominal (litros)	Volumen embalaje (m³) Volume embalagem (m³)	Peso embalaje (kg) Peso embalagem (kg)	Dimensiones (cm) Dimensões (cm)		
						A	B	C
TWB 2LX		Inox 3/4" BSP	2	0,004	1,10	20,60	12,60	-
TWB 4LX		Inox 3/4" BSP	4	0,008	1,60	25,80	16,20	-
TWB 8LX		Inox 3/4" BSP	8	0,014	2,20	31,00	33,60	-
TWB 12LX	en línea / em linha	Inox 3/4" BSP	12	0,023	2,90	36,20	23,00	-
TWB 18LX		Inox 3/4" BSP	18	0,029	3,84	36,40	27,90	-
TWB 24LX		Inox 3/4" BSP	24	0,042	4,90	44,40	29,00	-
TWB 35LX		Inox 3/4" BSP	35	0,058	6,70	47,80	31,80	-
TWB 60LV	vertical	Inox 1" BSP	60	0,080	10,80	62,00	38,90	12,70

Presión máxima de trabajo: 10 bar
 Temperatura máxima de trabajo: 90°C
 Precarga de fábrica: 1,9 bar
 Todas las conexiones son en acero inoxidable
 Para volúmenes superiores pueden utilizar los depósitos PressureWave™
 o Challenger™

Pressão máxima de trabalho: 10 bar
 Temperatura máxima de trabalho: 90°C
 Pré-carga de fábrica: 1,9 bar
 Todas as conexões são em aço inoxidável
 Para volumes superiores podem ser utilizados os depósitos PressureWave™
 ou Challenger™

Figura 2.7 Característica vaso de expansión

Escribiendo dos veces la ecuación de estado, con agua a los niveles mínimos y máximos respectivamente se obtiene, después de simplificar, en el caso de vaso de expansión con diafragma:

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} = 1.17$$

siendo

- P_M la presión máxima del vaso, inferior a la máxima de la válvula de seguridad, P_{vs} , que en nuestro caso es 8 bar, puesto que debe ser menor que la máxima de los equipos de trabajo, 10 bar.

Se elegirá el menor entre los siguientes valores:

$$P_M = 0.9 \cdot P_{vs} + 1$$

$$P_M = P_{vs} + 0.65$$

Resultando finalmente $P_M = 8,2$ bar

- P_m la presión mínima del vaso, 1,2 bar. Debe elegirse de tal forma que, en cualquier régimen de funcionamiento y lugar, sea mayor que la atmosférica o la tensión de saturación del vapor de agua a la máxima temperatura de funcionamiento. Tomando un margen de seguridad de 0,2 para temperaturas inferiores a 90 °C.

Usando estos coeficientes podemos calcular el volumen mínimo del vaso de expansión mediante la siguiente ecuación:

$$V_{min} = V_{total} \cdot C_{e,corregido} \cdot C_p = 1.63 \text{ l}$$

Por lo que usaremos el vaso de expansión de capacidad inmediatamente superior, 2 litros, de la marca Thermowave, modelo TWB2LX. Dicho modelo posee las siguientes características:

2.7 Cálculo de la red de tuberías

a. Fluido del circuito primario

Para la selección del fluido de trabajo se tendrá en cuenta la imposición del CTE de protección contra heladas donde nos obliga a usar un fluido cuyo calor específico no sea inferior a 3 kJ/kg K, en 5°C por debajo de la mínima histórica registrada con objeto de no producir daños en el circuito primario de captadores por heladas.

La mínima histórica en la ciudad de Sevilla se dio en 1956 y alcanzó los -5.5°C. Por lo que se estudiarán las propiedades del fluido a -10.5°C.

El fluido caloportador será una mezcla de propilenglicol, TYFOCOR-L, y agua neutra (calidad del agua potable con máx. 100 mg/kg de cloruro) o agua desmineralizada con un porcentaje del volumen mínimo de 25 % a un máximo de 75 % vol.

Para una mezcla del 30% en volumen de tyfocor-L su punto de congelación alcanza los -14°C. Suficiente para nuestra instalación.

No obstante, el fabricante nos recomienda por motivos de protección contra la corrosión que usemos un porcentaje en peso mínimo para instalaciones solares del **40%**. Obteniendo las siguientes propiedades de la mezcla a 60°C:

- Densidad 1012 g/cm³.
- Capacidad térmica específica 3,83 J/g·K
- Viscosidad cinemática 1,8·10⁻⁶ m²/s

Datos obtenidos de los gráficos del anejo 1 y 2

Para obtener el caudal másico total que circula por el circuito primario usamos 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 ($\text{kg/s} \cdot \text{m}^2$)
- N_C número de captadores.
- N número de captadores en serie.
- A_T área total de captadores solares (m^2).
- A área de un captador solar (m^2).

Resultando para nuestro sistema:

$$M_B = \frac{G \cdot N_C \cdot A}{N} = \frac{0.006 \cdot 10 \cdot 2.3}{1} = 0.138 \text{ kg/s}$$

b. Pérdida de carga en los captadores

La pérdida de carga asociada a los captadores nos la proporciona la Figura 2.8 para el modelo seleccionado, obtenida del catálogo del fabricante. Con la superficie del captador y el caudal másico que nos corresponde se halla la pérdida de carga.

De esta forma se estima una pérdida de carga en nuestros captadores de **100 mbar**, equivalente a 1,02 m.c.a.

c. Pérdida de carga en el interacumulador

El proveedor de nuestro interacumulador nos proporciona la Figura 2.9 para el modelo MVV2500SB

Para el caudal que nos ocupa, $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$, y haciendo una extrapolación de la recta, la pérdida de carga en el interacumulador es de **2,5 mbar**, equivalentes a 2.55m.c.a.

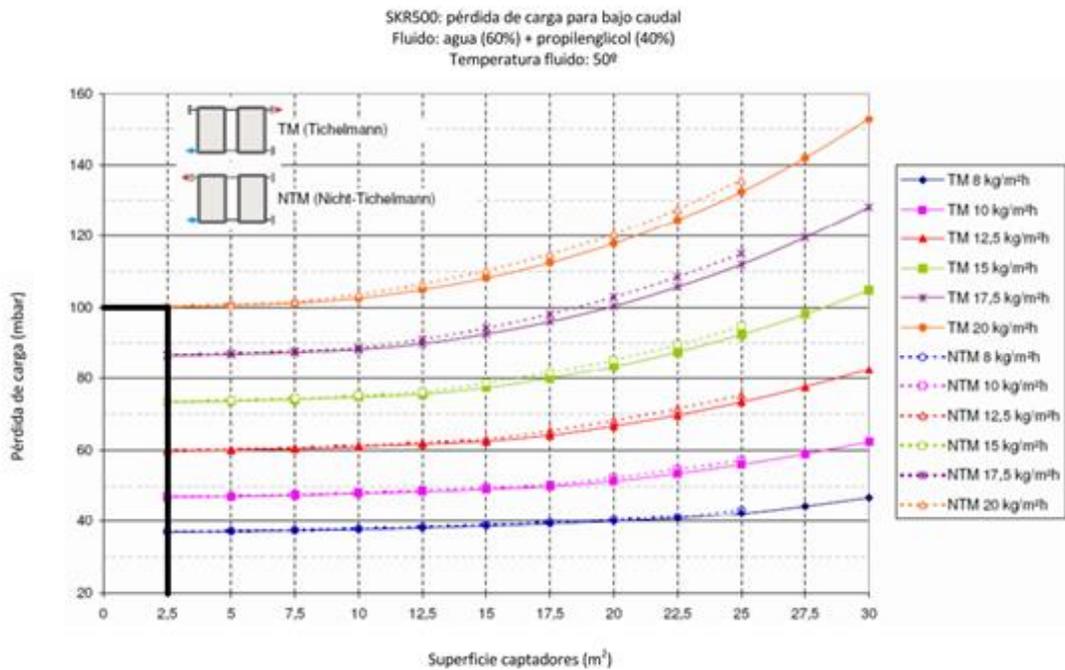


Figura 2.8 Pérdida de carga en captadores

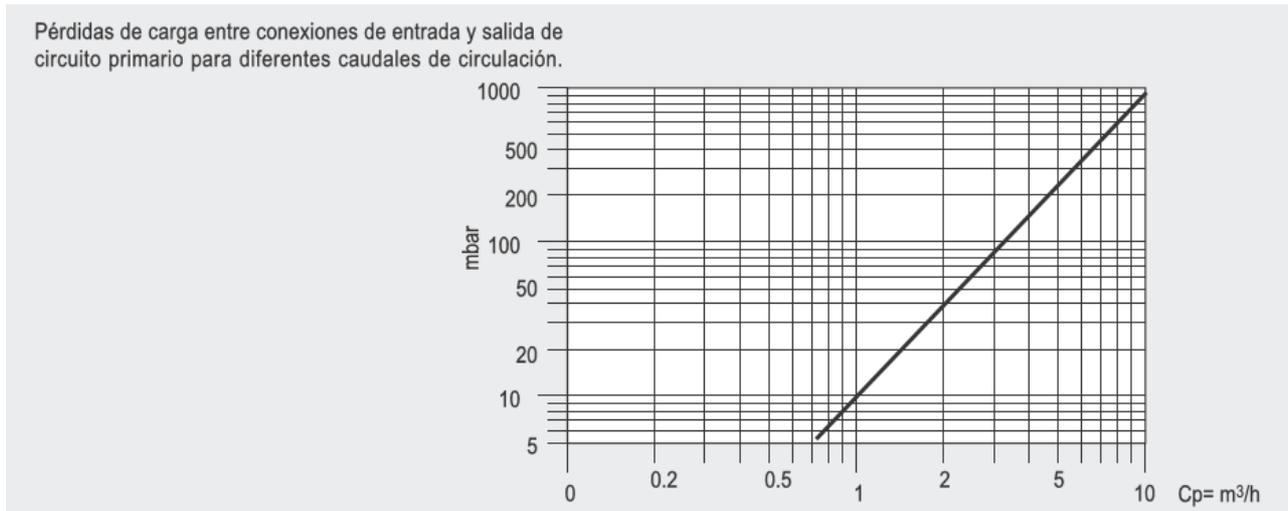


Figura 2.9 Pérdida de carga interacumulador

d. Pérdida de carga en la red de tuberías

Según el CTE el diámetro de las tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discorra por locales habitados y a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados. Puesto que nuestro sistema es exterior la velocidad máxima será de 3m/s.

El dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal cuando sea agua.

El método que se seguirá será:

Dividir la red en distintos tramos, en nuestro caso como se muestra en Figura 2.10 y partiendo del caudal en cada tramo, se seleccionará un diámetro, con el cual se obtendrá la velocidad 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.

Una vez veamos que cumple con la restricción de la velocidad, se comprobará mediante la ecuación de FLAMANT, que cumple, además, con la restricción de la pérdida de carga. En nuestro caso, al no usar agua sino una mezcla de agua y anticongelante será necesario usar un factor corrector de 1.3.

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

Donde:

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

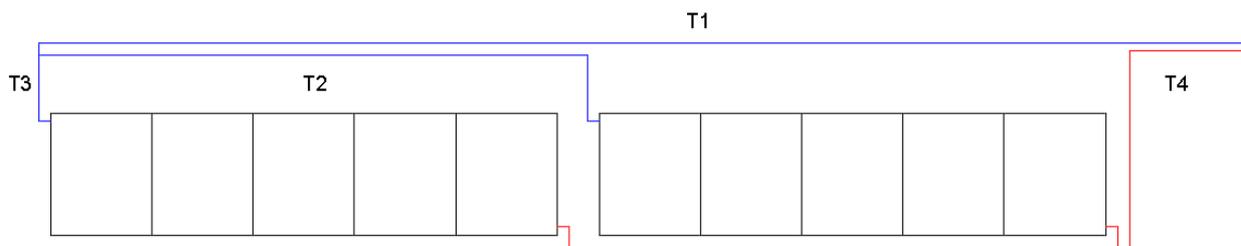


Figura 2.10 División tramos red de tuberías

Obteniendo de esta forma la Tabla 2-10:

TRAMOS	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Velocidad (m/s)	Dint (mm)	AP/m (mm.c.a/m)
1	15.9058	502.7616	0.4445	20	17.3350998
2	6.7230	251.3808	0.3473	16	14.8746384
3	6.8688	251.3808	0.3473	16	14.8746384
4	4.3513	502.7616	0.4445	20	17.3350998

Tabla 2-10 Tramos red de tuberías

Una vez calculado la pérdida de carga de cada tramo se debe calcular la pérdida de carga para cada accesorio de cada tramo usando la Tabla 2-11, obteniendo de esta forma la pérdida de carga equivalencia a un tramo recto.

En la Tabla 2-12 podemos ver los resultados de cada tramo.

Diámetro nominal (")	Codo 90°	Curva 90°	Curva 45°	Codo doble 180°	Curva doble 180°	Tiembras alineadas	Tiembras 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 Longitud equivalente accesorios

Tra mos	Long (m)	Caudal (l/h)	Velocidad (m/s)	Dint (mm)	AP/m (mm.c.a/m)	Leqacc (m)	APacc (m.c.a)	APtub (m.c.a)	APequi (m.c.a)	APtotal (m.c.a)
1	15.91	502.76	0.44	20.00	17.34	0.29	0.01	0.28	0.00	0.28
2	6.72	251.38	0.35	16.00	14.87	1.88	0.03	0.10	1.02	1.15
3	6.87	251.38	0.35	16.00	14.87	1.59	0.02	0.10	1.02	1.15
4	4.35	502.76	0.44	20.00	17.34	0.75	0.01	0.08	2.55	2.64

Tabla 2-12 Pérdida de carga en cada tramo de tubería

Los accesorios en cada tramo son:

Tramo 1: Un codo.

Tramo 2: T en rama derivada, 3 codos, válvula de compuerta y válvula de retención.

Tramo 3: T en rama alineada, 3 codos, válvula de compuerta y válvula de retención.

Tramo 4: T en rama alineada, 2 codos.

2.8 Dimensionado del grupo de bombeo

Para la selección de la bomba primero se debe conocer la pérdida de carga que debe vencer y el caudal con el que trabajará, y se elegirá aquella que trabaje en la zona de rendimiento óptimo con estas características.

Para ello, se calcula la pérdida de carga en cada uno de los circuitos del sistema, Tabla 2-13, la bomba debe ser capaz de vencer el circuito más desfavorable, en nuestro caso será el **circuito 1-2-4**, nótese que en ambos circuitos la pérdida es similar debido al diseño con retorno invertido.

Circuitos	AP (m.c.a)
1-2-4	4.067
1-3-4	4.065

Tabla 2-13 Pérdida de carga en circuitos

El caudal que debe hacer circular la bomba es de 0,5 m³/h.

La marca seleccionada para nuestra bomba será GRUNDFOS, en cuya página web dispone de un buscador de bombas. Introduciendo los siguientes de caudal y altura para el tipo de instalación que tenemos, nos proporciona una lista de las bombas más acorde a nuestras necesidades.

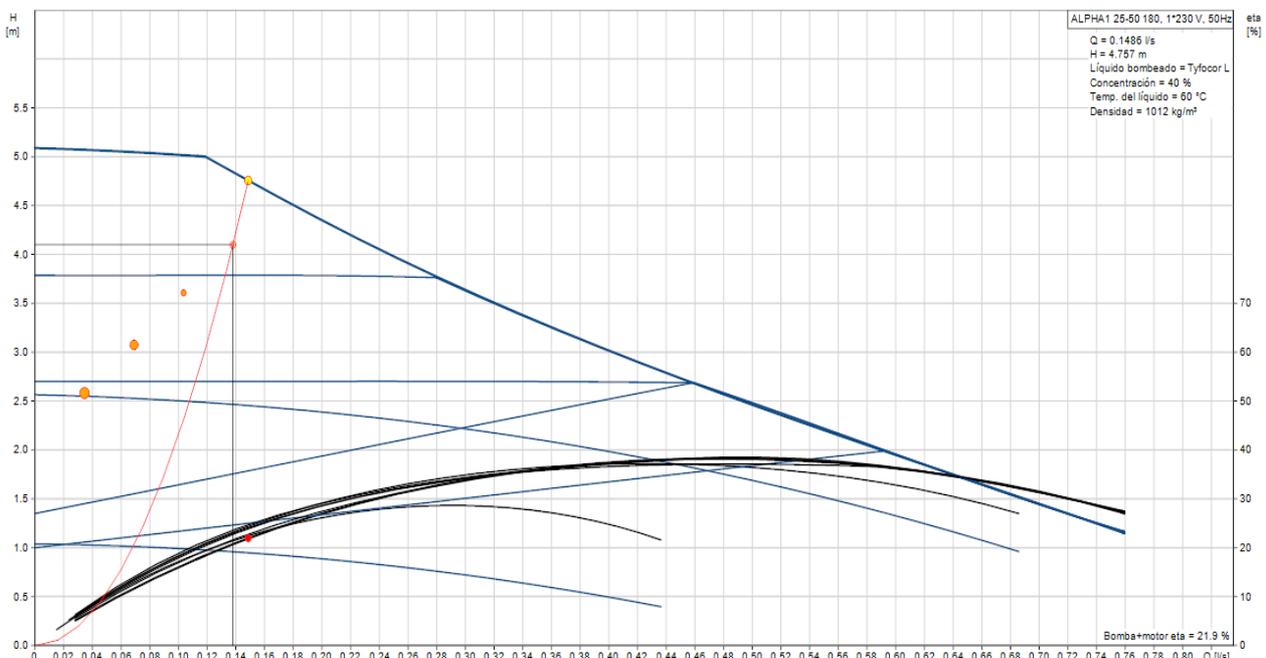


Figura 2.11 Gráfico de funcionamiento de la bomba ALPHA1 25-50 180

En nuestro caso la seleccionada es el modelo ALPHA1 25-50 180, con las siguientes características generales:

- Caudal 0.1487 l/s (+8%)
- Alt. 4.757 m (+16%)
- Entrad presión mín 0.2 bar (60 °C, contra la atmosfera)
- Pot. Pl 0.032 kW
- Bomb+motor Eta 21.9 % =Bomba Eta *motor Eta
- Total Eta 21.9 % =Eta relativa punto de trabajo

2.9 Cálculo del equipo auxiliar

El Sistema solar no aporta el 100% de la demanda por lo que será necesario contar con un sistema de apoyo que aporte la energía restante. Sin embargo, es requisito indispensable dimensionar el subsistema de apoyo para que pueda abastecer la totalidad del consumo de agua caliente sanitaria.

El subsistema de apoyo contará con un interacumulador, una caldera y una bomba. Puesto que no se permite la conexión del sistema auxiliar al interacumulador solar. La norma tampoco nos permite disponer de un sistema de calentamiento eléctrico en el interacumulador, por lo que si nuestro interacumulador dispone de uno deberá ser anulado de forma permanente.

2.9.1 Acumulador auxiliar

Para dimensionar el interacumulador primero calculamos el caudal instantáneo mínimo total instalado, Q_t , recurriendo a la Tabla 2-15 suministrada por el CTE.

Obteniendo para nuestro edificio un total de **8.845 l/s** según los resultados de la Tabla 2-14.

Una vez calculado los caudales instantáneos mínimos se deberá hallar el caudal simultáneo o caudal de cálculo, Q_c , mediante la siguiente expresión, particular para nuestro caso:

$$Q_c = 0.682 \cdot Q_t^{0.45} - 0.14 = 1.679 \text{ l/s}$$

Finalmente, el volumen mínimo de nuestro interacumulador será:

$$V = Q_c \cdot t \cdot 60 = 1.679 \cdot 17 \cdot 60 = 1712.4 \text{ l}$$

siendo t el tiempo estimado entre 15 y 20 min, en nuestro caso hemos seleccionado 17 min.

Tipo de aparato	Número	Caudal mínimo ACS (l/s)	Total (l/s)
Lavabo	29	0.065	1.885
Bidé	24	0.065	1.56
Bañera	20	0.2	4
Ducha	6	0.1	0.6
Lavavajillas industrial	1	0.2	0.2
Fregadero no doméstico	1	0.2	0.2
Lavadora industrial	1	0.4	0.4
Total			8.845

Tabla 2-14 Consumo total

Por lo que el interacumulador seleccionado será de 2000 litros. El acumulador seleccionado pertenece a la compañía Lapesa, modelo MVV-2000RB.

Tipo de Aparato	Caudal Instantáneo mínimo de agua fría		Caudal instantáneo mínimo de ACS	
	[l/s]	[m ³ /h]	[l/s]	[m ³ /h]
Lavamanos	0,05	0,18	0,03	0,108
Lavabo	0,10	0,36	0,065	0,234
Ducha	0,20	0,72	0,10	0,360
Bañera ≥ 1,40 m	0,30	1,08	0,20	0,720
Bañera < 1,40 m	0,20	0,72	0,15	0,540
Bidé	0,10	0,36	0,065	0,234
Inodoro con cisterna	0,10	0,47	–	–
Inodoro con fluxor	1,25	4,50	–	–
Urinarios con grifo temporizado	0,15	0,54	–	–
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	0,14	–	–
Fregadero doméstico	0,20	0,72	0,10	0,360
Fregadero no doméstico	0,30	1,08	0,20	0,720
Lavavajillas doméstico	0,15	0,54	0,10	0,360
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,90	0,20	0,720
Lavadero	0,20	0,72	0,10	0,360
Lavadora doméstica	0,20	0,72	0,15	0,540
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	2,16	0,40	1,440
Grifo aislado	0,15	0,54	0,10	0,360
Grifo garaje	0,20	0,72	–	–
Vertedero	0,20	0,72	–	–

Tabla 2-15 Caudal instantáneo mínimo para diferentes aparatos (Q_{\min})

2.9.2 Caldera auxiliar

Para dimensionar la caldera auxiliar primero debemos calcular su potencia nominal mediante la siguiente ecuación:

$$P_{\text{útil}} = C_p \cdot V \cdot \frac{T_{\text{ACS}} - T_{\text{AF}}}{t_{\text{preparación}}} = 4.187 \cdot 2000 \cdot \frac{50 - 11}{3600} = 90.7 \text{ kW}$$

Siendo

- C_p calor específico del agua, kJ/kg·K

- V volumen de acumulación, l
- T_{ACS} temperatura de preparación del ACS, °C.
- T_{AF} temperatura del agua fría o de red, °C
- $t_{preparación}$ tiempo de preparación, 1 hora aproximadamente, 3600 segundos.

Se tomará el caso más desfavorable para estos cálculos, la temperatura de red correspondiente a los meses de enero y diciembre, 11 °C, siendo la temperatura de consumo de 50 °C.

Puesto que se estima que las pérdidas de calor en los distintos componentes son del 25%, se usará un factor corrector de 1,25, resultando:

$$P_{nominal} = 1.25 \cdot P_{\acute{u}til} = 113.4 \text{ kW}$$

La caldera seleccionada es del fabricante Viessmann modelo VITOCROSSAL 300 CM3, es una caldera de condensación a gas, con una potencia térmica nominal de 87 hasta 142 kW.

2.10 Cálculo del espesor de aislamiento

Puesto que nuestras tuberías contendrán un fluido con temperatura mayor de 40 °C, el RITE nos obliga a aislar todas las tuberías que lo contengan, así como equipos depósitos y aparatos. Además, las tuberías de exterior deberán poseer un aislamiento donde la terminación final deberá tener la protección suficiente contra la intemperie.

Los equipos elegidos en el presente documento cumplen con la normativa específica en materia de aislamiento.

Además, el reglamento nos obliga a tener unas pérdidas térmicas globales en toda la instalación térmica menores al 4% de la potencia máxima que transporta.

Para el cálculo del espesor mínimo hemos optado por el siguiente procedimiento simplificado:

a. Aislamiento en tuberías

Los espesores mínimos de las tuberías y accesorios serán los correspondientes a la Tabla 2-16 y Tabla 2-17 para interior y exterior de edificios respectivamente, correspondiente a un material de conductividad térmica de referencia a 10 °C de 0.04 W/m·K.

Por lo que, para nuestro caso, con una conductividad térmica del material igual y una temperatura máxima del fluido de 60 °C, nos corresponde un espesor mínimo de 25 y 35 mm respectivamente.

La marca seleccionada es Rockwool, se trata de un aislamiento de lana mineral con capa externa resistente a la intemperie, sus espesores son de 25 y 35 mm como exige la norma y su conductividad 0.04 W/m·K.

Los espesores de los accesorios de la red como válvulas, filtros, etc. serán los mismos que los de las tuberías en que estén instalados.

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 2-16 Espesores mínimos de aislamiento (mm) en tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior 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 2-17 Espesores mínimos de aislamiento (mm) en tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios según el RITE

2.11 Selección de accesorios

Según la normativa vigente los accesorios necesarios para el circuito vigente son:

- Válvula de retención: situada en el grupo de bombeo
- Válvula de compuerta:
 - Entrada y salida del campo solar y de cada batería
 - Entrada y salida del grupo de bombeo
 - Entradas y salidas del acumulador e interacumulador
- Purgador automático: a la salida del campo solar y vaso de expansión
- Purgador de aire: a la 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 hotel de tres estrellas sito en la ciudad de Sevilla.

Se definirán las especificaciones de los equipos y materiales utilizados, así como las especificaciones de ejecución de los mismos.

3.2 Normativa aplicable

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

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

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 realizará soldadura fuerte cuando la temperatura del circuito pueda superar en algún momento los 125°C.

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

Todos los elementos metálicos no galvanizados, ya sean tuberías, soportes, o bien accesorios, o que no estén

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

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

Los extremos del compensador serán de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chaflán de 37o 30' y un talón de 1,6 mm cuando el diámetro nominal de la tubería sea de hasta 2" inclusive. Para tuberías de diámetro superior, las conexiones serán por medio de bridas en acero al carbono s/normas DIN 2502 o 2503, según las presiones sean de 6 y 10 o 16 Kg/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 utilizará 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 instalarán nuevos empalmes, purgadores, válvulas según se considere necesario y sin costes extra. Si se deben realizar trabajos que requieran rotura, y reposición de acabados, el contratista se hará cargo de los gastos generados.

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

m) Vaciados

Los vaciados, purgadores, válvulas de seguridad, reboses, se dirigirán al sumidero o desagüe más cercano. En cualquier caso, se adoptarán las medidas oportunas para evitar que una descarga accidental produzca 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 realizará de tal modo que no se transmitan esfuerzos de las redes de tuberías a los equipos.

3.3.2 Válvulas

3.3.2.1 Generalidades

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

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

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

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

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

3.3.2.2 Materiales

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

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 clapeta de bronce.
- Conexiones roscas hembra.

Válvulas de retención de muelle:

- Cuerpo y tapa de bronce o latón.
- Asiento y clapeta de bronce.
- Conexiones roscas 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.
- Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.
- Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto.
- Motor de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220V/1~ o 220/380V/ 3~, 50 Hz, IP.44 clase F.
- Presión de aspiración 2 maca. para 82°C.
- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, numero de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

3.3.6 Captadores

3.3.6.1 Generalidades

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

- Nombre del fabricante.
- Tipo
- Número de serie.
- Año de fabricación.
- Superficie total del captador.
- Dimensiones del captador.
- Presión máxima de trabajo.
- Temperatura de estancamiento a 1000 W/m² y 30°C.
- Volumen del fluido de transferencia de calor
- Peso del captador vacío
- Lugar de fabricación.

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

- Material de la cubierta transparente: vidrio templado de espesor no inferior a 3 mm y transividad 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 captadores 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.

Las diferencias 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 multiplicara la diferencia de ambas temperaturas por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionara 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 esté 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

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 realizará teniendo en cuenta la práctica normal conducente a obtener un buen funcionamiento durante el periodo de vida que se le puede atribuir.

3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción.

3.6.1 General

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

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

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

mínimo las pruebas parciales incluidas en el presente capítulo.

3.6.2 Pruebas parciales

Todas las pruebas estarán precedidas de una comprobación de los materiales al momento de su recepción a obra. Durante la ejecución de obra, todos los tramos de tubería, uniones o elementos que vayan a quedar ocultos, deberían ser expuestos para su inspección y debería quedar expresamente aprobado su montaje antes de quedar ocultos. Adicionalmente, se inspeccionarán los soportes de tubería utilizados, los diámetros, trazados y pendientes de tuberías, la continuidad de los aislamientos, etc.

3.6.2.1 Pruebas de equipos

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

3.6.2.2 Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas

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

3.6.2.3 Pruebas de libre dilatación

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

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

3.6.3 Pruebas finales

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

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

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

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

3.6.4 Ajustes y equilibrado

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

3.6.4.1 Sistemas de distribución de agua

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

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

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

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

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

Cuando exista más de un grupo de captadores solares en el circuito primario del subsistema de energía solar, se debería probar el correcto 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 ajustarán todos los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño especificados en el proyecto y se comprobará el funcionamiento de todos los componentes que configuran el sistema de control.

3.6.5 Recepción

3.6.5.1 Recepción provisional

El objeto de la recepción es comprobar que la instalación está de acuerdo con los servicios contratados y que se ajusta, por separado cada uno de sus elementos y globalmente, a lo especificado en el proyecto. Una vez realizadas las pruebas funcionales con resultados satisfactorios, se procederá al acto de Recepción Provisional de la instalación por parte de la propiedad, con lo que se da por finalizado el montaje de la instalación.

El acto de recepción provisional quedará formalizado por un acta donde figuren todos los intervinientes y en la que se formalice la entrega conforme de la documentación referida.

La documentación disponible y entregada debería ser, al menos, la siguiente:

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

3.6.5.2 Recepción definitiva

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

Transcurrido el plazo estipulado desde el acta de recepción, la Recepción Provisional se transformará en

Recepción Definitiva. A partir de la Recepción Definitiva entrara en vigor la garantía.

3.7 Mantenimiento

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

- Vigilancia.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

3.7.1 Vigilancia

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

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

Puede ser llevado a cabo por el usuario.

3.7.2 Mantenimiento preventivo

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

El mantenimiento preventivo 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

Concepto	cantidad	unidad	precio unitario (€)	Total (€)
Ud. Captador solar SKR500 marca Sonnenkraft o similar, características: - Superficie absorbedor 2.3 m - Dimensiones: 2079x1240x95 mm - Peso del captador: 38 kg - Presión máxima de trabajo:10 bar - Rendimiento óptico: 0.82 - Factor de pérdidas: 3.821	10	Ud	830	8,300.00
sistema de fijación QUICK&EASY Soporte SSA45 o similar	10	Ud	321	3,210.00
Purgador de aire de 18 mm	2	Ud	80	160.00
Anticongelante Tyfocor-L 100 litros o similar	1	Ud	768.9	768.90
Conexión hidráulica easy-click entre captadores SKR-HV	5	Ud	22.2	111.00
			Total	12,549.90

4.2 Sistema de acumulación

Concepto	cantidad	unidad	precio unitario (€)	Total (€)
Depósito de acero vitrificado de 2500 l con serpentín marca Lapesa modelo MVV2500SB o similar	1	Ud	11896	11,96.00
Depósito de acero vitrificado de 2000 l marca Lapesa modelo MVV2000RB o similar	1	Ud	6771	6,771.00
			Total	18,667.00

4.3 Sistema hidráulico

Concepto	cantidad	unidad	precio unitario (€)	Total (€)
Bomba circuladora de rotor húmedo marca Grundfos modelo ALPHA1 25-50 180 o similar Caudal 0.1487 l/s Alt. 4.757 m	2	Ud	654	1,308.00
Vaso de expansion 2 l marca Thermowave, modelo TWB2LX o similar Presion máxima de trabajo 10 bar	1	Ud	45.5	45.50
Tubería de cobre de 3/4" con 1 mm de espesor.	25	m	7.79	194.75
Tubería de cobre de 1/2" con 1 mm de espesor.	20	m	5.65	113.00
Bifurcacion en T de cobre 3/4"-1/2"-1/2"	2	Ud	6.15	12.30
Aislamiento tubería 25 mm espesor ROCKWOOL 133 o similar	25	m	7.79	194.75
Aislamiento tubería 35 mm espesor ROCKWOOL 133 o similar	20	m	10.77	215.40

Codo 90º de cobre 1/2"	6	Ud	12.55	75.3
Válvula de compuerta de 1/2"	18	ud	4.79	86.22
Concepto	cantidad	unidad	precio unitario (€)	Total (€)
Válvula de compuerta de 3/4"	4	Ud	5.84	23.36
Válvula de retención de acero inoxidable de 3/4"	2	Ud	54.8	109.60
Purgador automático	3	Ud	58.5	175.5
			Total	2,553.68

4.4 Sistema de control

Concepto	cantidad	unidad	precio unitario (€)	Total (€)
Termómetro con vaina con escala de 0 a 120ºC	5	Ud	23.97	119.85
Manómetro de esfera de 40 mm y con escala de regulación de 0 a 12 bar	3	Ud	3.6	10.8
Centralita solar Sonnenkraft Modelo: SKSC3 o similar	1	Ud	514	514.00
			Total	644.65

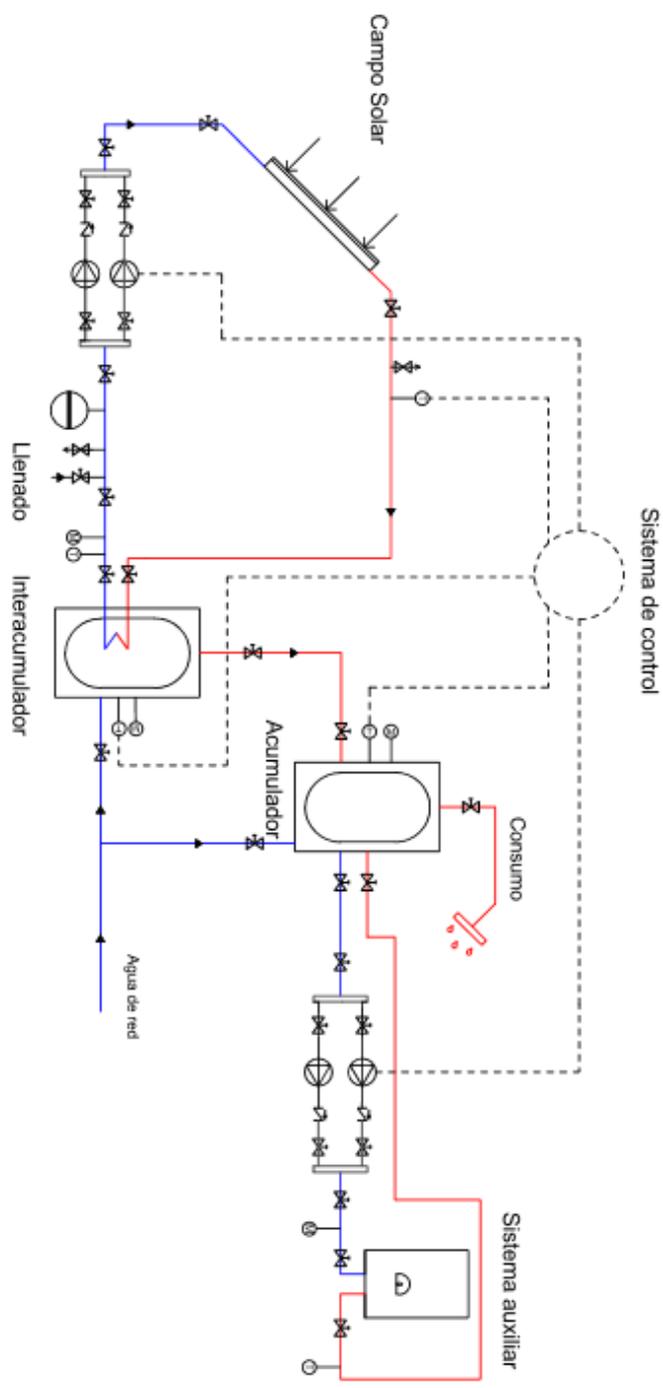
4.5 Presupuesto total

Sistema de captación	12,549.90
Sistema de acumulación	18,667.00
Sistema hidráulico	2,553.68
Sistema de control	644.65
TOTAL	34,415.23
Beneficio Industrial (11%)	3,785.68
Total sin IVA	38,200.91
I.V.A (21%)	8,022.19
Presupuesto Total	46,223.10
Presupuesto por m ²	2,009.70

5 PLANOS



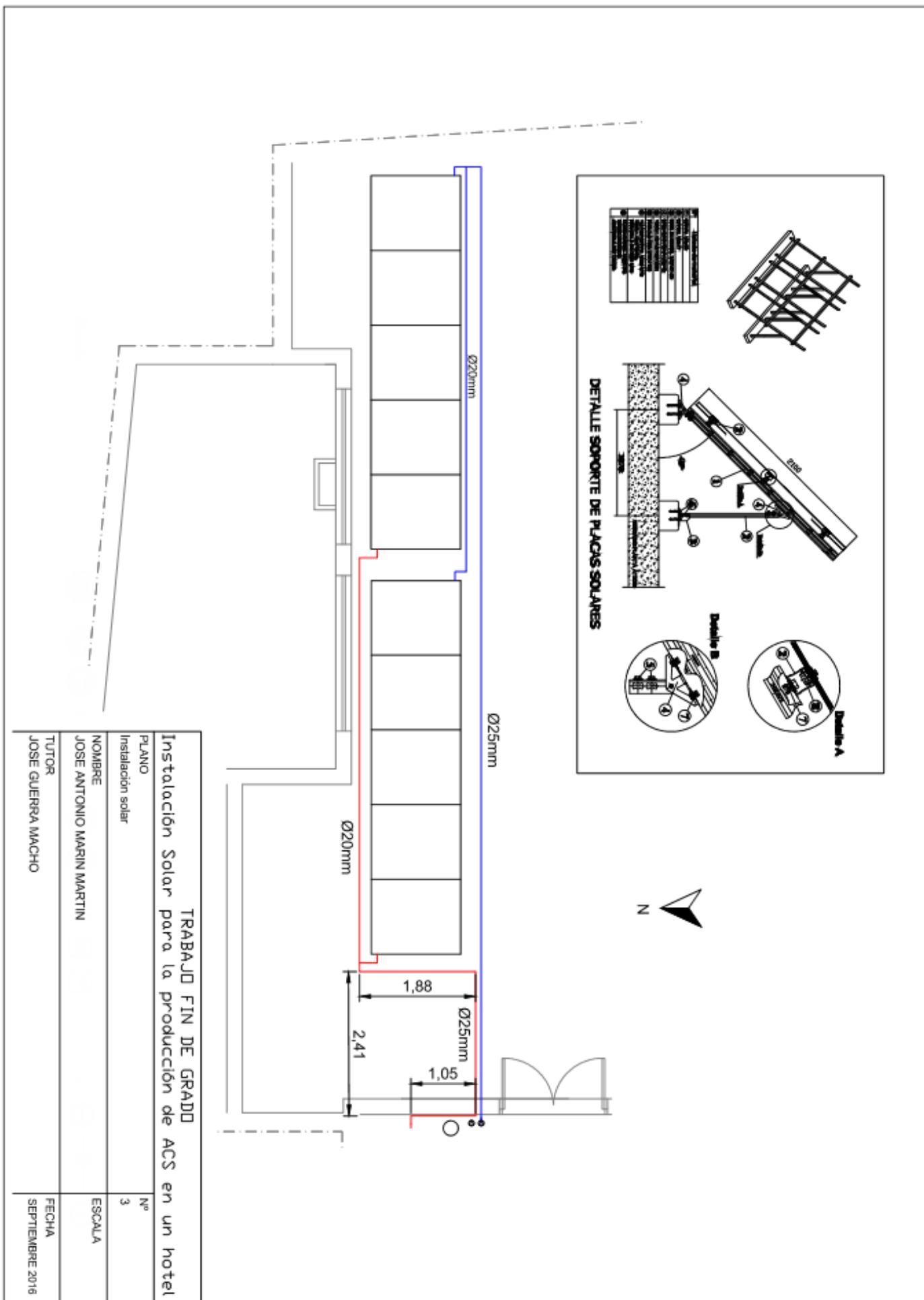
TRABAJO FIN DE GRADO	
Instalación Solar para la producción de ACS en un hotel	
PLANO	Nº
EMPLAZAMIENTO	2
NOMBRE	ESCALA
JOSE ANTONIO MARIN MARTIN	
TUTOR	FECHA
JOSE GUERRA MACHO	SEPTIEMBRE 2016

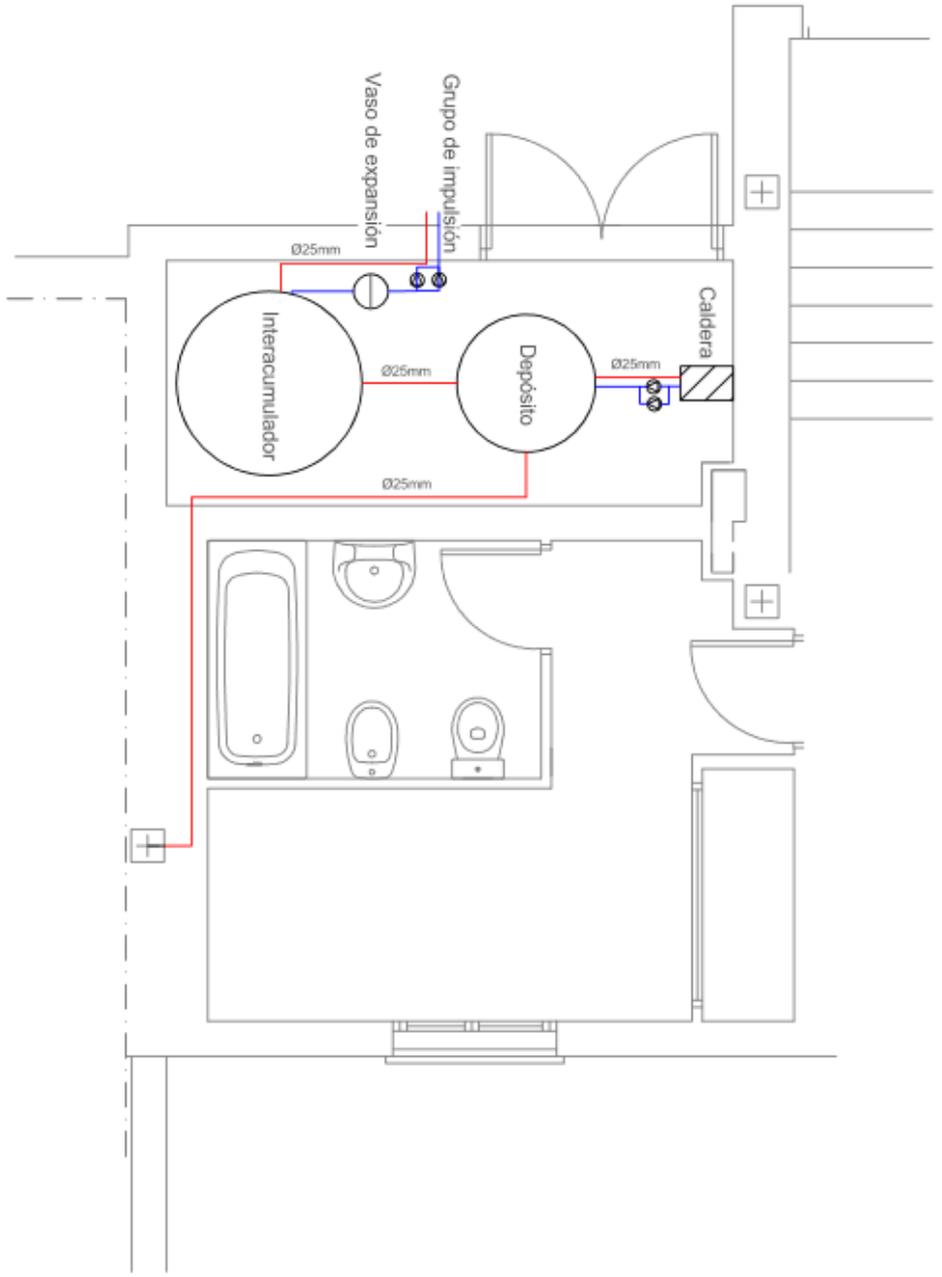


Leyenda

	Válvula de compuerta
	Válvula de retención
	Purgador automático
	Bomba de circulación
	Vaso de expansión
	Manómetro
	Termómetro

TRABAJO FIN DE GRADO	
Instalación Solar para la producción de ACS en un hotel	
PLANO	Nº
ESQUEMA DE PRINCIPIO	2
NOMBRE	ESCALA
JOSE ANTONIO MARIN MARTIN	
TUTOR	FECHA
JOSE GUERRA MACHO	SEPTIEMBRE 2016

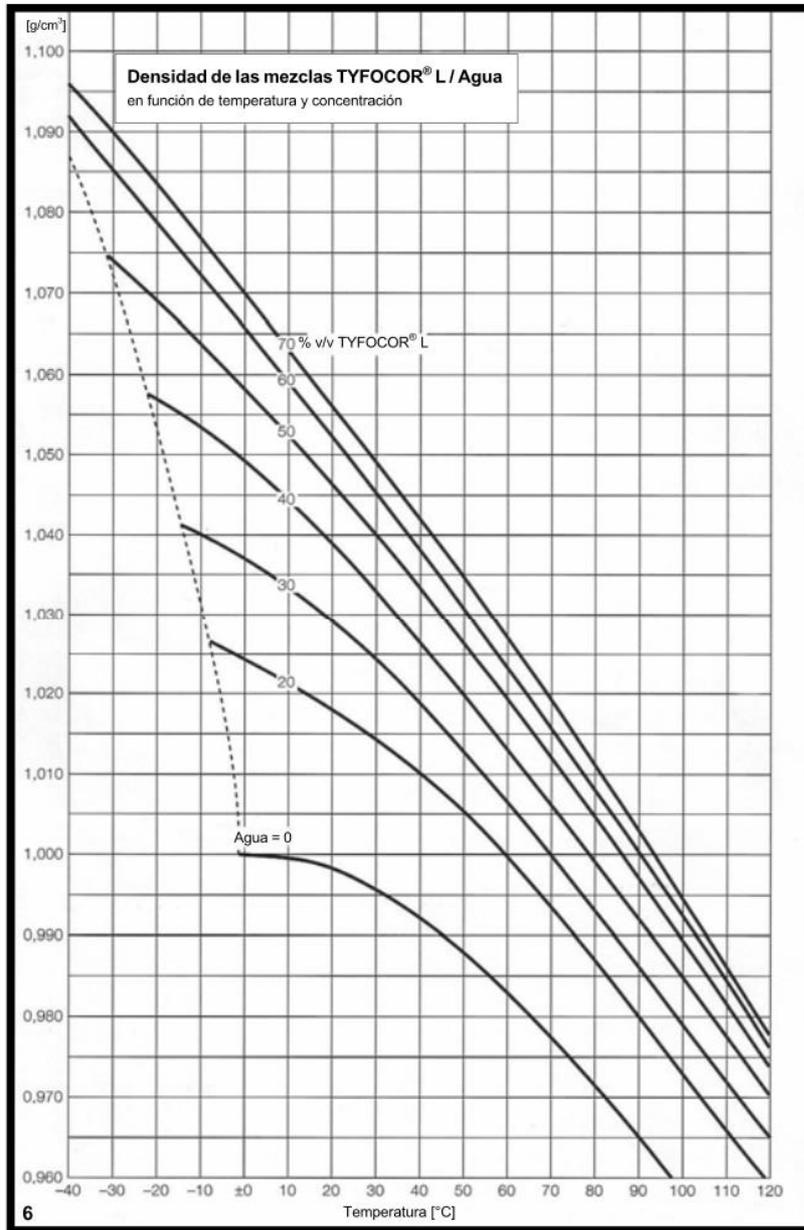




TRABAJO FIN DE GRADO	
Instalación Solar para la producción de ACS en un hotel	
PLANO	Nº
Sala de máquinas	4
NOMBRE	ESCALA
JOSE ANTONIO MARIN MARTIN	
TUTOR	FECHA
JOSE GUERRA MACHO	SEPTIEMBRE 2016

6 ANEJOS

6.1 Densidadde las mezclas TYFOCOR L/AGUA



6.2 Capacidad térmica específica de las mezclas TYFOCOR L/AGUA

