

Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Instalación solar para producción de ACS en una
residencia de estudiantes

Autor: Alberto Bermudo García

Tutor: D. José Guerra Macho

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

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Instalación solar para producción de ACS en una residencia de estudiantes

Autor:

Alberto Bermudo García

Tutor:

D. José Guerra Macho

Catedrático de Universidad

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

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Carrera: Instalación solar para producción de ACS en una residencia de
estudiantes

Autor: Alberto Bermudo García

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, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Índice

1.	Memoria descriptiva	13
1.1.	Objeto del proyecto	13
1.2.	Antecedentes	13
1.3.	Método de cálculo	13
1.4.	Descripción del edificio	18
1.5.	Descripción de la instalación	21
1.5.1.	Descripción del funcionamiento de la instalación	21
1.5.2.	Elementos principales de la instalación	24
1.6.	Características técnicas de los equipos	27
1.7.	Normativa	31
1.8.	Bibliografía	34
2.	Memoria de cálculo	35
2.1.	Introducción	35
2.2.	Datos de partida	35
2.3.	Cálculo de la demanda	42
2.4.	Cálculo de la superficie de captación	44
2.5.	Cálculo del volumen de acumulación	46
2.6.	Cálculo de la red de tuberías	47
2.7.	Dimensionado del grupo de bombeo	51
2.8.	Dimensionado del vaso de expansión	52
2.9.	Cálculo del espesor de aislamiento	53
2.10.	Selección de accesorios	54
3.	Pliego de condiciones técnicas	55
3.1.	Objeto	55
3.2.	Normativa aplicable	55
3.3.	Condiciones de materiales y equipos	55
3.3.1.	Tuberías	55
3.3.2.	Accesorios	56
3.3.3.	Válvulas	57
3.3.4.	Aislamiento	58
3.3.5.	Vasos de expansión	59
3.3.6.	Bombas	59
3.3.7.	Captadores	60
3.3.8.	Sistema eléctrico y de control	61
3.3.9.	Aparatos de medida	61

3.3.10.	Acumuladores	62
3.3.11.	Intercambiadores de calor	63
3.4.	Provisión del material	64
3.5.	Condiciones de montaje	64
3.6.	Pruebas, puesta en marcha y recepción	64
3.6.1.	General	64
3.6.2.	Pruebas Parciales	64
3.6.3.	Pruebas de equipos	65
3.6.4.	Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas	65
3.6.5.	Pruebas de libre dilatación	65
3.6.6.	Pruebas Finales	65
3.6.7.	Ajuste y equilibrado	65
3.6.8.	Sistemas de distribución de agua	65
3.6.9.	Control automático	66
3.6.10.	Recepción	66
3.7.	Mantenimiento	67
3.7.1.	Vigilancia	67
3.7.2.	Mantenimiento preventivo.	67
3.7.3.	Mantenimiento correctivo.	67
4.	Presupuesto	68
4.1.	Sistema de captación	68
4.2.	Sistema de acumulación e intercambio	69
4.3.	Sistema hidráulico	69
4.4.	Sistema de control	70
4.5.	Presupuesto total de la instalación	70
5.	Planos	72

Índice de Figuras

Figura 1. Curvas de fracción de cubierta.....	15
Figura 2. Radiación global media mensual y temperatura ambiente media exterior.	15
Figura 3. Corrección de caudal.	16
Figura 4. Corrección por agrupación de captadores en serie.....	17
Figura 5. Corrección por la capacidad de almacenamiento.	18
Figura 6. Temperatura de agua fría.....	18
Figura 7. Colegio César Carlos Madrid “edificio dos torres”.	19
Figura 8. Vista de superficie disponible en panta.	20
Figura 9. Niveles de altura de edificio comunitario.....	20
Figura 10. Generadores de vapor de la sala de máquinas.....	21
Figura 11. Sistema de energía solar térmica de baja temperatura.....	22
Figura 12. Esquema de principio.	23
Figura 13. Esquema captador solar plano.....	24
Figura 14. Captador solar plano TS8.	27
Figura 15. Interacumulador LAPESA modelo SB4000.	29
Figura 16. Dimensionado de bomba circuito primario Grundfos, modelo UP 25-15 N.	30
Figura 17. Curva altura frente a caudal de diseño de la bomba del circuito primario.	30
Figura 18. Curva de potencia de la bomba del circuito primario.	30
Figura 19. Vaso de expansión IBAIONDO, modelo 2-CMR.	31
Figura 20. Zonas climáticas según CTE.....	32
Figura 21. Esquema para cálculo de la radiación solar global media diaria sobre superficie inclinada.	36
Figura 22. Caída presión [mm c.a] frente caudal [l/min] según factor cuadrático.	48
Figura 23. Pérdida presión interacumulador frente caudal.....	49
Figura 24. Elección bomba dado caudal y pérdida presión.	52

Índice de Tablas

Tabla 1. CTE sobre contribución solar mínima (%) de ACS por zonas geográficas.	32
Tabla 2. Límites de pérdidas (%) de orientación, inclinación y sombras.	33
Tabla 3. Irradiación global y temperatura ambiente en Madrid.	35
Tabla 4. Declinación mensual según ecuación de Cooper.	37
Tabla 5. Ángulo solar horario mensual.	37
Tabla 6. Datos irradiación extraterrestre horizontal para una latitud dada.	38
Tabla 7. Radiación Extraterrestre horizontal e índice de claridad media mensuales.	39
Tabla 8. Ángulo solar en superficie inclinada y RD.	39
Tabla 9. Fracción de radiación difusa según modelo ETSI.	40
Tabla 10. Componentes de la radiación sobre superficie horizontal.	41
Tabla 11. Componentes de la radiación sobre superficie inclinada.	41
Tabla 12. Valores mensuales de temperatura de agua fría y demanda energética.	43
Tabla 13. Factor de demanda cubierta para un área de captación determinada.	45
Tabla 14. Energía ahorrada, apoyo y demanda total mensual.	45
Tabla 15. Fracción de demanda cubierta mensual para 24 captadores.	46
Tabla 16. Accesorios circuito primario.	50
Tabla 17. Longitudes equivalentes para accesorios en metros para tuberías de cobre.	50
Tabla 18. Metros tubería circuito primario.	50
Tabla 19. Resultados pérdida carga lineal.	51
Tabla 20. Espesor de aislamiento en tuberías dada temperatura fluido y diámetro para interiores.	54

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Representación radiación global, directa y difusa mensuales.	42
Gráfica 2. Demanda energética mensual.	43

1. Memoria descriptiva

1.1. Objeto del proyecto

Este proyecto tiene como objetivo la adaptación de una instalación de energía solar térmica de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria a una residencia de estudiantes situada en la ciudad de Madrid. Para ello, se debe realizar en primer lugar una previsión de la radiación solar incidente en la zona y una previsión de la demanda del edificio para así conocer las necesidades del mismo.

1.2. Antecedentes

El uso de la tecnología solar posee ventajas tanto medioambientales como económicas. Cada vez es más frecuente el abastecimiento de agua caliente sanitaria en los edificios convencionales, como son los bloques de viviendas, hospitales, fábricas, etc.

Emplear la energía solar para dicha producción provoca una notable reducción de los costes tras superar la amortización de la inversión. Es por este motivo que deben elegirse materiales y tecnologías con la mayor vida útil posible.

Del lado del medio ambiente, es evidente el impacto que produce el empleo de combustibles fósiles sobre el mismo. Por ello resulta fundamental reducir con el paso de los años el uso de estas fuentes de energía para poder sustituirlas por energías renovables, ya que se tratan de recursos limpios e inagotables, proporcionando un impacto medioambiental insignificante.

Dentro del grupo de energías renovables el presente proyecto apuesta por la conocida como energía solar térmica basada en el aprovechamiento de la radiación solar para calentar un fluido que, por lo general, suele ser agua o aire. La capacidad de transformar la energía de los rayos solares en energía térmica es, precisamente, el principio elemental en el que se basa esta fuente de energía renovable.

Es fundamental comprender la independencia energética que supone la implantación de la tecnología termosolar para el país, pues España goza de los mayores niveles de irradiación de Europa, con una media de 2500 horas de sol al año. Así, esta fuente de energía nos garantiza un suministro autónomo que no se encuentra sujeto a variaciones del mercado.

1.3. Método de cálculo

El objetivo es obtener la demanda de fracción solar, para lo que existen dos métodos de cálculo. El primero de ellos, conocido como CHEK4, es un sistema informático de diseño basado en simulaciones horarias. En segundo lugar, el método f-Chart, basado en correlaciones entre números adimensionales que permiten trabajar en una base de cálculo mensual. Por este motivo se empleará el método f-Chart como base de cálculo de este proyecto.

El método f-Chart resulta bastante preciso cuando se trabaja con datos en base mensual, ya que fue desarrollado a partir de una serie de correlaciones obtenidas de un gran número de simulaciones. Se basa en comprobar para una determinada superficie de captación solar, con

un volumen de acumulación determinado, que se cumpla la contribución solar mínima anual exigida en el Documento Básico HE Ahorro de Energía, más concretamente en la sección HE 4.

Esta contribución solar mínima anual es el porcentaje que representa la producción de energía anual del sistema termosolar sobre la demanda anual del edificio, es decir, de toda la energía que demanda el edificio, que parte proporciona el equipo que se desea instalar.

El alcance de dicho método se encuentra limitado por estas tres condiciones:

- Datos de partida según valores diarios medios mensuales meteorológicos y de demanda.
- Considera un sistema base de energía solar sin intercambiador de calor en el circuito de captación y con una acumulación de 75 l/m^2 de superficie de captación.
- Aplicable a sistema de calefacción y producción de ACS, con una demanda de ACS inferior al 20% de la demanda de calefacción.

El rendimiento del sistema se define como la fracción de demanda cubierta (f) y es función de los parámetros adimensionales X e Y , factor de pérdidas y factor de ganancias respectivamente.

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

Donde se debe cumplir:

$$0 < Y < 3 \quad \text{y} \quad 0 < X < 18$$

En la Figura 1 se puede observar la relación entre ambos factores y la fracción de demanda cubierta.

Se procede a definir cada uno de los términos que intervienen en el cálculo del factor de demanda.

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

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

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

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

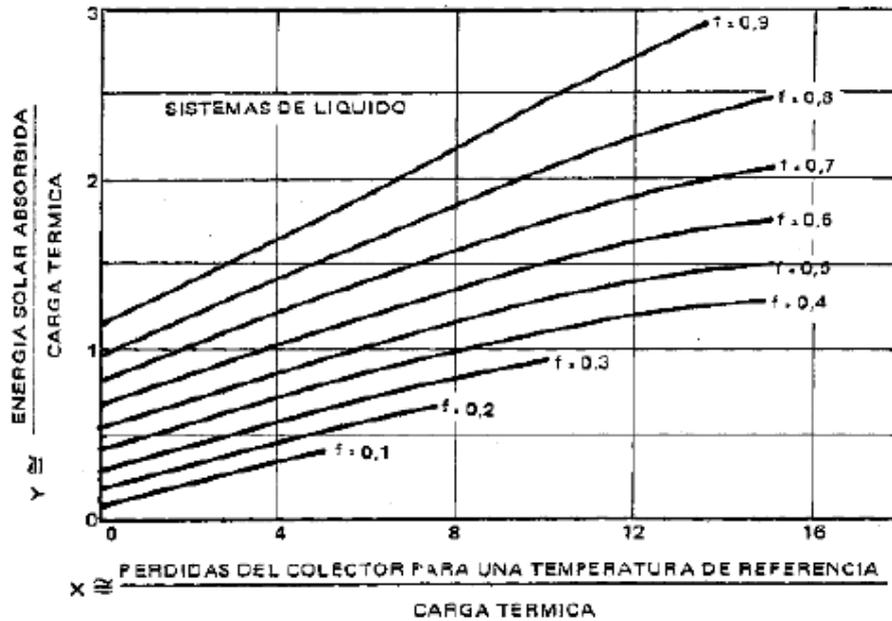


Figura 1. Curvas de fracción de cubierta.

$(\tau\alpha)_m$: Producto $(\tau\alpha)$ medio mensual del captador, que puede aproximarse $\approx 0.96 (\tau\alpha)_n$.

\bar{H} : Radiación global media mensual en base diaria sobre superficie horizontal $[MJ/m^2 \text{ día}]$. Se obtiene según la localidad y el mes en tablas como las de la Figura 2 estipuladas por la norma UNE 94003:2007 de datos meteorológicos.

Donde:

- L : Demanda de agua caliente.
- N : Número de días del mes (día/mes).

Localidad		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic
Almería	H_n (MJ/m ² día)	9,7	12,6	15,9	20,0	24,1	26,1	26,5	23,7	19,1	14,3	10,5	8,8
	$T_{a,m}$ (°C)	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
Cádiz	H_n (MJ/m ² día)	9,3	12,3	16,4	20,4	24,6	26,3	27,2	25,2	19,4	14,8	10,4	8,5
	$T_{a,m}$ (°C)	12,8	13,5	14,7	16,2	18,7	21,5	24,0	24,5	23,5	20,1	16,1	13,3
Córdoba	H_n (MJ/m ² día)	8,8	11,6	15,1	18,2	23,1	25,5	27,2	24,9	18,7	13,5	10,1	8,0
	$T_{a,m}$ (°C)	9,5	10,9	13,1	15,2	19,2	23,1	26,9	26,7	23,7	18,4	12,9	9,7
Granada	H_n (MJ/m ² día)	9,0	11,7	15,9	19,2	24,0	26,7	27,8	25,1	19,1	13,9	9,9	8,0
	$T_{a,m}$ (°C)	6,5	8,4	10,5	12,4	16,3	21,1	24,3	24,1	21,1	15,4	10,6	7,4
Huelva	H_n (MJ/m ² día)	8,5	11,7	15,5	19,9	24,0	25,6	27,1	24,8	19,4	13,7	9,6	7,5
	$T_{a,m}$ (°C)	12,2	12,8	14,4	16,5	19,2	22,2	25,3	25,7	23,7	20,0	15,4	12,5
Jaén	H_n (MJ/m ² día)	8,7	11,6	15,7	19,3	24,0	26,1	27,9	24,6	18,8	13,7	10,4	7,4
	$T_{a,m}$ (°C)	8,7	9,9	12,0	14,3	18,5	23,1	27,2	27,1	23,6	17,6	12,2	8,7
Málaga	H_n (MJ/m ² día)	9,4	12,0	16,1	19,3	23,9	25,9	26,5	24,1	18,9	14,1	10,2	8,4
	$T_{a,m}$ (°C)	12,2	12,8	14,0	15,8	18,7	22,1	24,7	25,3	23,1	19,1	15,1	12,6
Sevilla	H_n (MJ/m ² día)	9,1	12,2	16,0	19,8	24,1	25,9	27,2	24,8	19,2	14,3	10,2	8,3
	$T_{a,m}$ (°C)	10,7	11,9	14,0	16,0	19,6	23,4	26,8	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1

Figura 2. Radiación global media mensual y temperatura ambiente media exterior.

Como se mencionó anteriormente, el método f-Chart se encuentra limitado por tres restricciones o condiciones. En el caso de que alguna de estas restricciones no sean las condiciones de trabajo a la hora del cálculo del factor de demanda, resulta necesario aplicar una corrección específica para cada una de las condiciones no respetadas. Los parámetros que se recalcularán tras cada corrección añadida serán los de $F_R U_L$ y $F_R (\tau\alpha)_m$.

Es relevante comentar que es necesario ir corrigiendo los factores en el orden en el que se nombran a continuación.

Dichos criterios de corrección son los siguientes:

- Corrección por caudal (C_D): Se aplicará siempre que el caudal de ensayo del captador sea diferente del caudal real. Se consigue el factor corrector entrando en Figura 3 con el cociente entre el caudal real y el de ensayo hasta la curva correspondiente al caudal de ensayo que se posea.

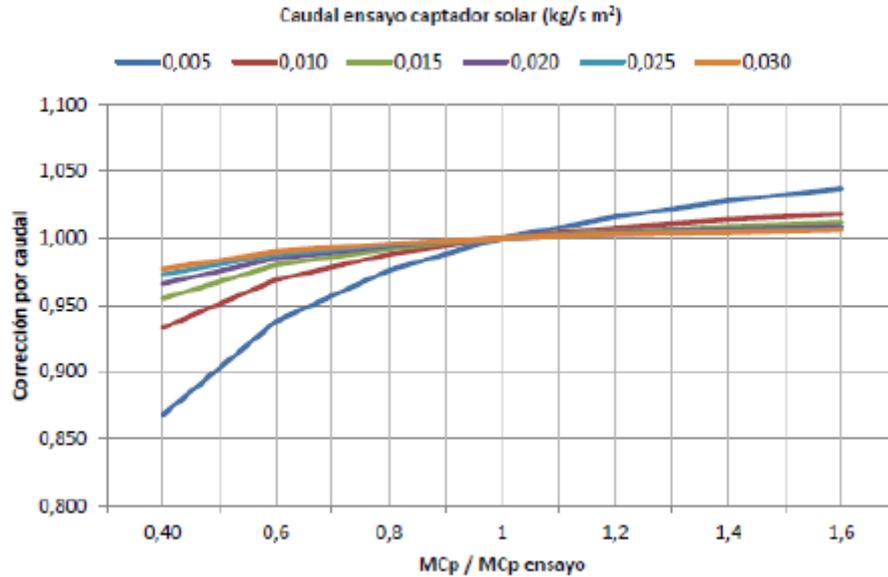


Figura 3. Corrección de caudal.

- Corrección por agrupación de captadores (C_A): Esta corrección se emplea cuando se colocan una serie de captadores en serie. Definir el área y los parámetros de la recta de rendimiento de un único captador equivale a la agrupación de captadores. La expresión generalizada para N captadores en serie definiendo un captador solar de área NA, donde A es el área efectiva de un solo captador, es la siguiente.

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

También puede obtenerse el factor corrector por agrupación de captadores gráficamente según la Figura 4, siendo tan solo necesario conocer el número de captadores en serie.

- Corrección por adición de intercambiador de calor (C_{INT}): Se define un captador solar equivalente que incorpora un intercambiador de calor, afectado así a los factores de pérdida y ganancia.

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

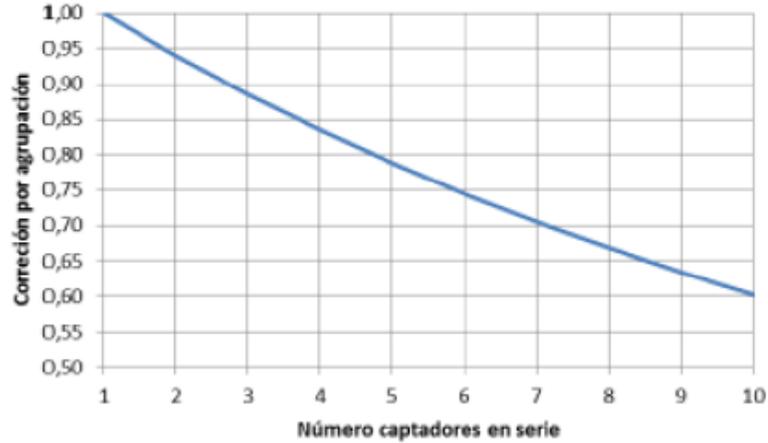


Figura 4. Corrección por agrupación de captadores en serie.

Dónde:

- $F_R U_L$: Factor de pérdidas del captador solar $[W/m^2K]$.
- A : Área de un solo captador solar $[m^2]$.
- $M C p_p$: Capacidad calorífica del fluido del circuito primario $[W/K]$.
- $M C p_{min}$: Capacidad calorífica mínima de los fluidos en el intercambiador $[W/K]$.

- Corrección por la capacidad de almacenamiento (C_C): El método f-Chart se desarrolló para una capacidad de acumulación de $75 l/m^2$ de superficie de captación. Si la acumulación es diferente se corregirá el factor de pérdidas X para obtener X_C mediante el siguiente ajuste y condición. Para ello es necesario conocer el volumen de acumulación (V) que se impondrá en el sistema. En la Figura 5 se muestra gráficamente la relación entre el factor corrector y el volumen de acumulación.

$$\frac{X_C}{X} = \left(\frac{V}{75}\right)^{-1} \quad \text{si } 37.5 < V < 300$$

- Corrección por consumo de ACS: Como se comentó anteriormente, el método se desarrolló con el límite de una demanda de ACS inferior al 20% de la demanda de calefacción. Si se supera este límite, es necesario aplicar esta corrección, nuevamente sobre el factor de pérdidas X para obtener X_C .

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

Donde:

- T_{ac} : Temperatura de preparación del agua caliente $[^\circ C]$.
- T_{af} : Temperatura del agua fría $[^\circ C]$.
- T_{am} : Temperatura ambiente media exterior $[^\circ C]$.

La temperatura de agua fría depende de la localidad y del mes como se observa en la Figura 6 estipulada en la norma UNE 94002:2005 de instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica. Y en

cuanto a la temperatura ambiente media exterior, depende de la localidad y del mes como se aprecia en el ejemplo de la comunidad de Andalucía de la Figura 2.

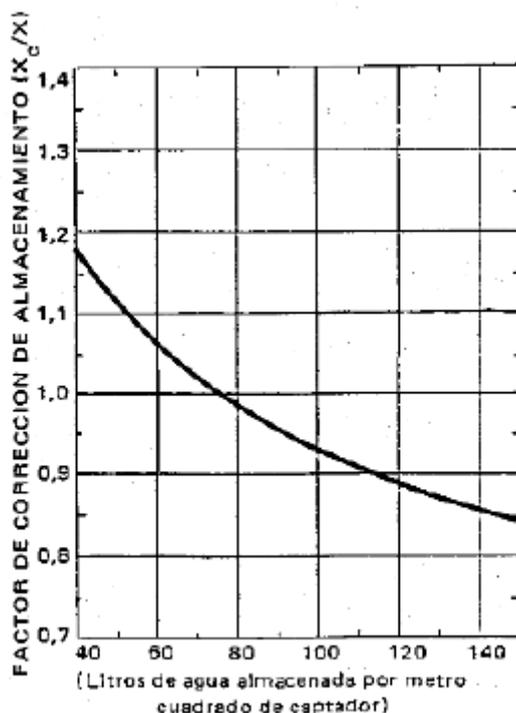


Figura 5. Corrección por la capacidad de almacenamiento.

Localidad	Altura (m)	Temperatura media mensual agua de red (°C)											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic
Almería	16	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Cádiz	4	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Córdoba	123	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Granada	685	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Huelva	56	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Jaén	574	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Málaga	8	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Sevilla	12	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11

Figura 6. Temperatura de agua fría.

1.4. Descripción del edificio

La edificación que ocupa el presente proyecto es el colegio mayor César Carlos, situado en la comunidad de Madrid. Enfrentada a la prestigiosa escuela de ingeniería Politécnica de Madrid.

Este colegio presenta una innovadora solución, dos edificios exentos unidos por un pasillo subterráneo, que facilita la independencia de uso de los mismos: uno público, de relación, y otro privado, de descanso y estudio. El carácter de ambos además, es antagónico. El bloque de residencia, compuesto de dos torres en altura con los dormitorios, exento prácticamente de pasillos, unidas por dos espacios comunes: la biblioteca y el gimnasio. Dicho gimnasio se encuentra en la planta superior, a modo de arco de triunfo y con un complejo juego de

simetrías. En la Figura 7 se observa el frontal del edificio de residencias.



Figura 7. Colegio César Carlos Madrid “edificio dos torres”.

El colegio dispone de 98 habitaciones, todas individuales y repartidas por los diferentes edificios que componen el conjunto colegial. Las dos torres, edificio residencial, donde se ubican la mayor parte de las habitaciones, están compuestas por seis pisos cada una, con seis (en las plantas inferiores) y ocho (en el resto) habitaciones en cada una de las plantas. Cada planta posee un baño externo para compartir entre los vecinos de la planta.

Con respecto al edificio residencial, la superficie disponible en la zona exterior en un único nivel de altura, siendo desaprovechada por imposibilidad arquitectónica la parte superior de las torres. La zona de dormitorios termina en la sexta planta, zona sobre la que se soporta el gimnasio entre las dos torres. En el séptimo nivel, sobre el gimnasio, encontramos la zona disponible con unos $240 m^2$ de superficie, tal y como se observa en la zona izquierda rayada de la Figura 8.

El edificio común, de carácter doméstico, horizontal y con pequeños patios que se extienden por el jardín, se identifican tres pisos de altura diferentes. Alberga una sala de estudios, un comedor y un salón. Dos salas de TV, una sala de informática, una serie de despachos y dormitorios y la sala de máquinas.

Se cuenta con un área disponible de unos $790 m^2$ en la azotea dispuesta en dos niveles de altura diferentes como se observa en la Figura 9. La parte rayada en color cian muestra la zona más elevada, perteneciente a una tercera planta. En cambio, la zona amarilla representa la azotea de una segunda planta. Cada una de ellas aporta alrededor de 490 y $300 m^2$, respectivamente.

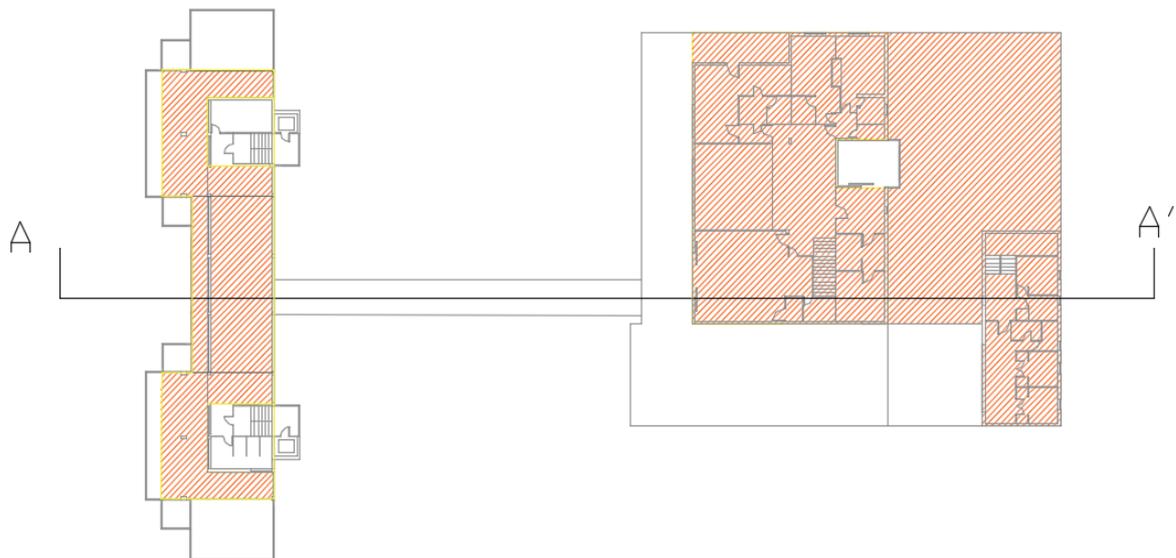


Figura 8. Vista de superficie disponible en panta.

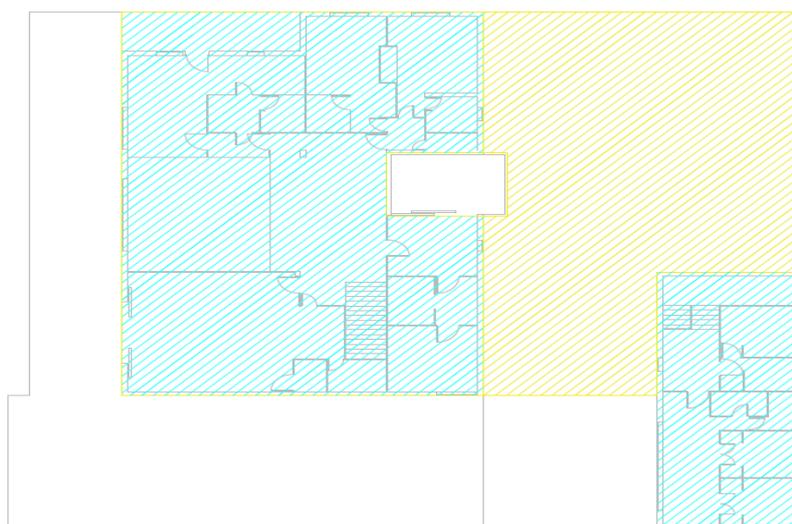


Figura 9. Niveles de altura de edificio comunitario.

En cuanto a la instalación actual, el colegio cuenta con una sala de máquinas situada en el edificio común, que alberga en su circuito primario con:

- Generador de vapor nº1 de la marca ADISA, modelo ADI-CD 450, con una potencia de 450 kW. Se muestra en la parte izquierda de la Figura 10.
- Generador de vapor nº2 de la marca ADISA, modelo ADI-CD 175, con una potencia de 175 kW. Se muestra en la parte derecha de la Figura 10.

En su circuito secundario se encuentra:

- Depósito de acumulador de ACS con una capacidad de 2500 litros. Fabricado con acero al carbono vitrificado.



Figura 10. Generadores de vapor de la sala de máquinas.

1.5. Descripción de la instalación

1.5.1. Descripción del funcionamiento de la instalación

Toda instalación solar térmica de baja temperatura tiene como objetivo la implantación de una serie de captadores que aprovechen la energía solar para poder transferirla posteriormente a un sistema de almacenamiento. Este sistema de almacenamiento será el encargado de abastecer la demanda energética de la estructura cuando sea necesario. Cuando se habla de baja temperatura se especifica que la temperatura del fluido caloportador no supere los 100°C.

Los subsistemas que componen la instalación solar térmica son los siguientes:

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

Estos subsistemas pueden ser nombrados según otra terminología. Se conoce como circuito primario al formado por el conjunto de captadores o subsistema de captación, y circuito secundario a aquel que posee el conjunto de acumulación o subsistema de acumulación. Ambos entrelazados por el subsistema de intercambio, que no es más que uno o varios intercambiadores de calor que se encargan de transferir la energía del fluido que circula por los captadores hacia el fluido que llega al acumulador y que posteriormente es distribuido.

En el presente proyecto, lo que se hará es añadir una instalación formada por el sistema de captación, intercambiador y acumulador a la instalación que ya se encuentra en funcionamiento en el edificio. De esta manera el nuevo sistema estará diseñado para cubrir la demanda del edificio y al estar integrada en la instalación antigua, ésta servirá como subsistema de apoyo para cuando la instalación solar de ACS instalada no sea capaz de satisfacer por completo la demanda. Al conjunto de acumulación y subsistema de apoyo se le conoce como circuito de consumo.

Para tener un esquema de la instalación que se llevará a cabo, en la Figura 11 se observa una simplificación de los subsistemas de captación, intercambio y acumulación, que posteriormente irán conectados al subsistema de apoyo con el que ya parte el proyecto.

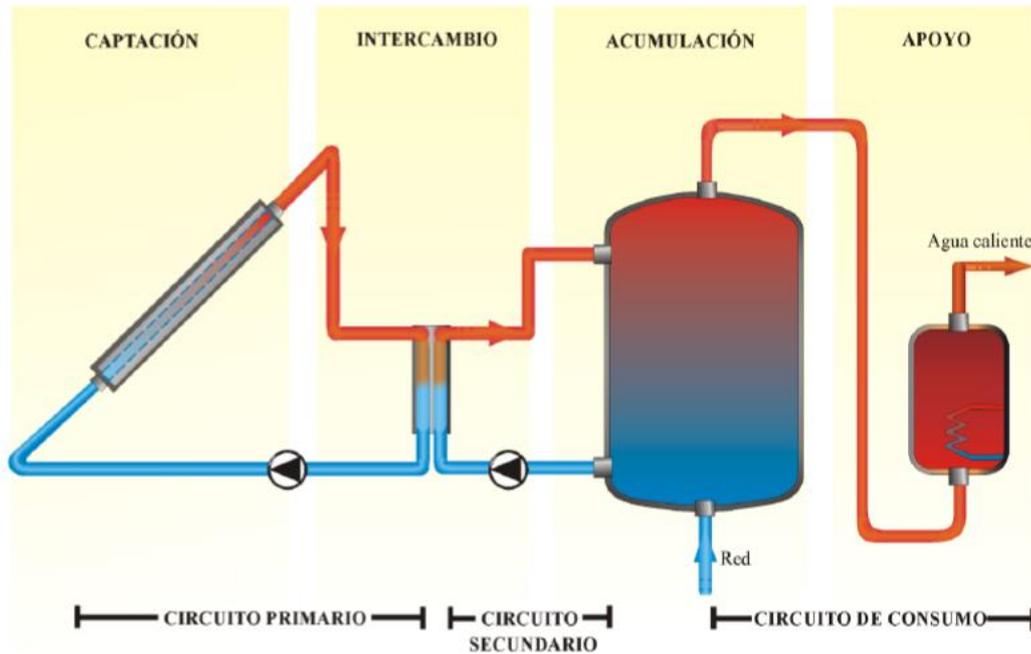


Figura 11. Sistema de energía solar térmica de baja temperatura.

Para justificar la necesidad del circuito secundario, es preciso saber qué hace unos años se permitía tratar directamente el agua de red en el circuito primario abierto, es decir, el fluido de red pasaba directamente por los captadores para ser calentada. De esta forma, el agua era enviada directamente a los usuarios.

Con el paso de los años, los inconvenientes de esta técnica fueron haciendo que se abandonara, pues presentaba problemas de higiene, funcionamiento y durabilidad. Actualmente ninguna legislación española permite su utilización.

Lo más común, de acuerdo con la legislación, es el empleo del sistema presentado anteriormente en la Figura 11. De esta manera, el agua no pasa directamente por los captadores, sino que por el circuito primario circula un fluido caloportador anticongelante que se calienta a medida que pasa por los captadores gracias a la radiación solar. Este fluido llega a un intercambiador de calor, donde transfiere la energía al agua de red que pasará al acumulador.

El agua caliente del acumulador pasará al circuito secundario, que mediante la instalación interior de la vivienda se distribuirá a cada punto de consumo mediante una red de distribución. Si la temperatura del agua que se encuentra en el acumulador no es la deseada, sino que es inferior, sea por falta de radiación solar por ejemplo, se encuentra el sistema de apoyo de la instalación. Este sistema, formado por las calderas ya mencionadas en apartados anteriores, se encargará de satisfacer la demanda cuando el sistema solar no sea capaz de cubrirla. Todo este proceso es automático y se encuentra intervenido por un sistema de control específico. En la Figura 12 se aprecia el esquema de principio de la instalación para servir de soporte a la explicación de su funcionamiento.

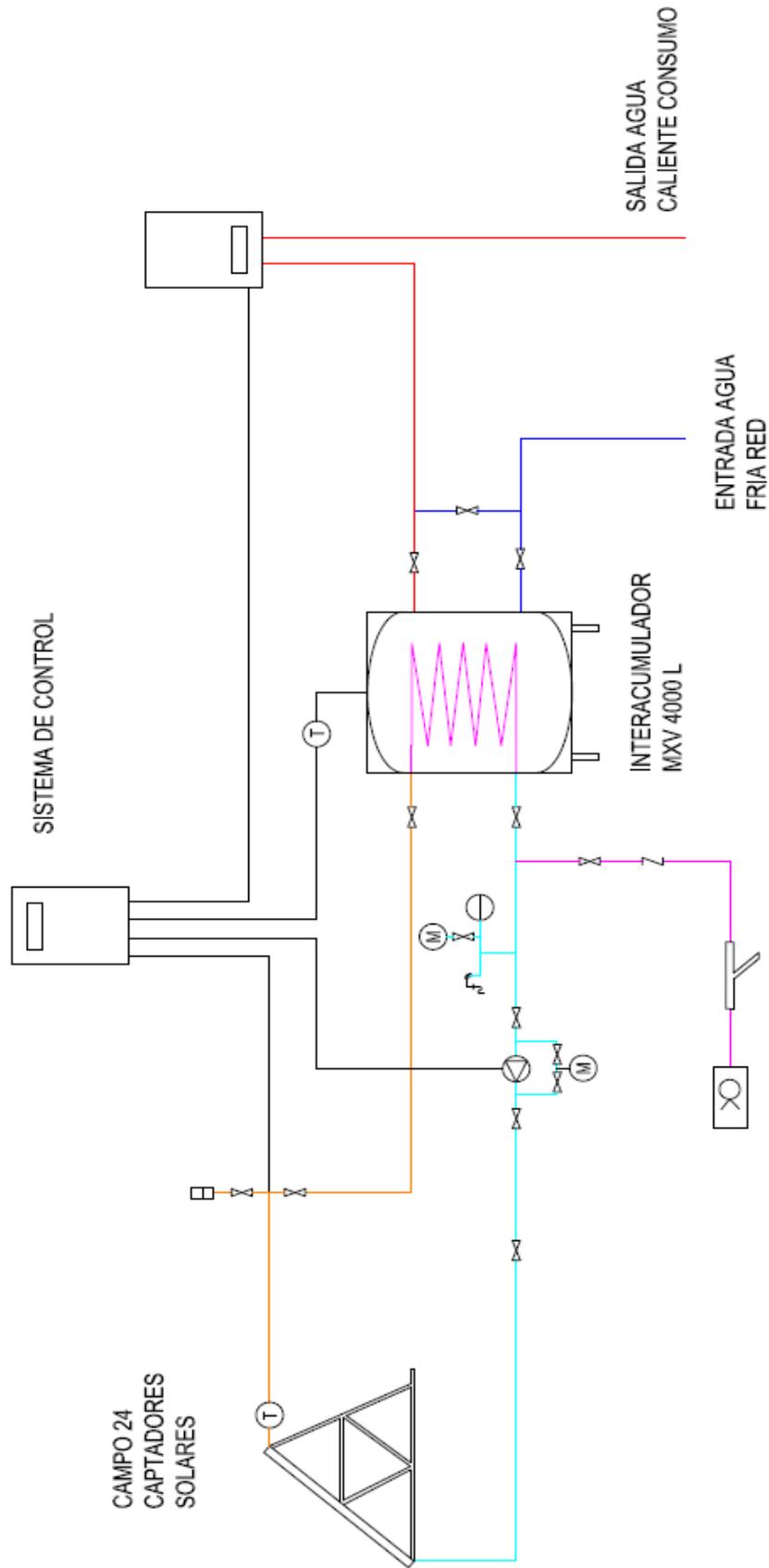


Figura 12. Esquema de principio.

1.5.2. Elementos principales de la instalación

• Captador solar

El captador solar plano es un intercambiador de calor que transforma energía radiante (Radiación Solar) en energía térmica que aumenta la temperatura de un fluido de trabajo contenido en el interior del captador.

El funcionamiento del captador solar plano está regido por los siguientes principios básicos:

- 1) El aporte de energía solar no es “controlable”.
- 2) La demanda y el aporte de energía solar están desfasados.
- 3) La orientación e inclinación del captador influyen fuertemente en el rendimiento.
- 4) El rendimiento de captación aumenta al disminuir la temperatura del fluido a la entrada.
- 5) Interesa captar la energía solar a la mayor temperatura posible.
- 6) Hay que dar preferencia al consumo de la energía solar frente a la convencional.

Existen dos tipos fundamentales de captadores solares; protegidos y no protegidos con una película de vidrio superficial que aporta un aislamiento hacia el exterior.

Se emplearán captadores protegidos, ya que son los que poseen la relación coste-producción más deseable. En ellos, el captador se ubica en una caja rectangular como se observa en la Figura 13. La cara expuesta al sol se encuentra cubierta por un vidrio (habitualmente templado), mientras que las cinco caras restantes son opacas y están aisladas térmicamente. Dentro de la caja, expuesta al sol, se sitúa una placa metálica. Esta placa está unida o soldada a una serie de conductos por lo que circula el fluido caloportador (generalmente agua, glicol o una mezcla de ambos). A dicha placa se le aplica un tratamiento selectivo para que aumente su absorción de calor, o simplemente se le pinta en color negra.

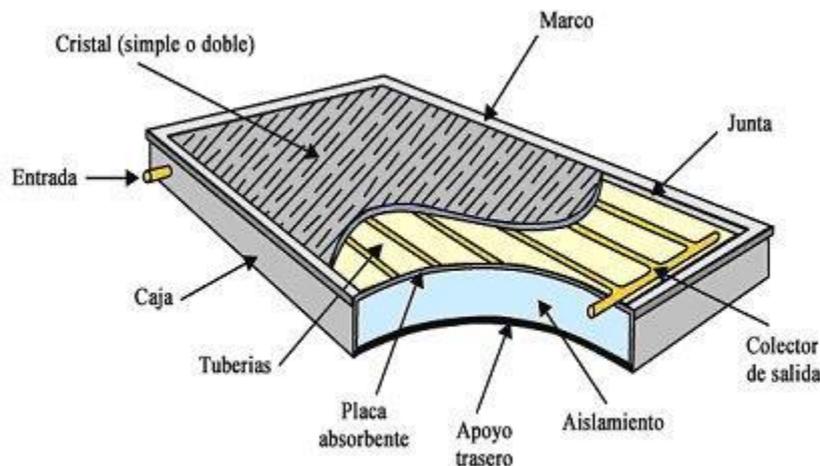


Figura 13. Esquema captador solar plano.

Los captadores o colectores solares planos funcionan aprovechando el efecto invernadero. El vidrio actúa como filtro para una serie de longitudes de onda de la luz solar. Permite el paso prácticamente de la luz visible, y es menos transparente con las ondas infrarrojas de menor nivel de energía.

El sol incide sobre el vidrio del colector, que es transparente a la longitud de onda de la radiación visible, dejando pasar la mayor parte de la energía. Ésta calienta entonces la placa colectora, que a su vez, se convierte en emisora de radiación de onda larga (infrarrojos). Pero como el vidrio es muy opaco para esas longitudes de onda, entra más energía de la que sale, y el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior.

La placa colectora tiene unos conductos por los que circula un fluido caloportador que se calienta, y transporta esa energía térmica a donde sea necesario.

El rendimiento de los colectores depende de varios factores. Aunque la caja está aislada térmicamente, tiene pérdidas hacia el ambiente exterior, pérdidas que aumentan conforme más frío se encuentra el aire ambiente y cuanto mayor sea la temperatura del fluido caloportador, por lo que el rendimiento mejora cuanto menor sea la temperatura de trabajo. También es significativo señalar que a mayor temperatura de la placa captadora, más energética será su radiación, y más transparencia poseerá el vidrio frente a ella, disminuyendo por tanto la eficiencia del colector.

- **Intercambiador de calor**

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir el calor entre dos medios, haciendo que entren en contacto directo o separados a través de alguna otra superficie. Forman una parte fundamental de las instalaciones de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico.

Su clasificación atiende a diferentes factores, pero lo más relevante en este caso es la construcción del mismo, pues se debe diferenciar entre si existe contacto directo o no entre los fluidos implicados:

- 1) Intercambiadores de contacto directo. En este tipo de intercambiador ambos fluidos implicados se mezcla físicamente al entrar en contacto directo.
- 2) Intercambiadores de contacto indirecto. En este caso los fluidos no se encuentran en contacto directo entre ellos, sino que se produce el intercambio energético de uno a otro por medio de una superficie de contacto. Es decir, por cada uno de los circuitos se encuentra circulando un fluido diferente.

Para poder elegir uno de los dos tipos, es necesario conocer las propiedades físicas y químicas de los fluidos como son; densidad, viscosidad, conductividad térmica o el tipo de fluido. Pero en este caso se empleará un intercambiador de placas de contacto indirecto, pues como se comentó anteriormente, desde hace algunos años se encuentra bajo prohibición el empleo de fluido caloportador a través del sistema de captación para posterior uso directo del usuario.

Por ello, se tendrá un fluido caloportador circulando por el circuito de captación que entrará en contacto indirecto con un agua de red que fluirá por el circuito secundario, a la que transferirá la energía absorbida por la radiación solar a su paso por el colector. El intercambiador que se empleará estará formado por un conjunto de placas metálicas.

- **Depósito de acumulación**

En una instalación de energía solar térmica, la acumulación de energía es necesaria debido al desfase que existe entre la radiación solar y el consumo.

La función del depósito de acumulación es independizar en la medida de lo posible, el circuito de captación (oferta) del circuito de consumo (demanda). La acumulación desempeña el papel de un volante de inercia en un sistema mecánico.

El objetivo de la acumulación es almacenar la energía solar captada para poder suministrarla posteriormente cuando existe demanda (configuración en serie).

Sería posible prescindir de la acumulación si se adoptase como criterio de diseño aportar la energía solar captada sólo cuando esté disponible en el subsistema de captación. Este criterio se aplica en determinadas circunstancias cuando la demanda de energía de la instalación es prácticamente constante durante las horas de disponibilidad del recurso renovable.

La introducción del subsistema de acumulación en una instalación de energía solar conlleva que se puede satisfacer una determinada fracción de la demanda con diferentes tamaños de la instalación (superficie de captación y volumen de acumulación). El tamaño de la instalación por tanto no es único y el dimensionado final es el resultado de un proceso de optimización.

Los requisitos que demanda el depósito de acumulación son:

- 1) Calor específico elevado del medio de acumulación.
- 2) Pérdidas térmicas bajas (superficie exterior reducida y buen nivel de aislamiento).
- 3) Buena estratificación de temperaturas en el acumulador.
- 4) Vida útil al menos equivalente al del captador solar.
- 5) Bajo coste y disponibilidad del medio de acumulación.
- 6) Buenas propiedades medioambientales y de higiene del medio de acumulación y del acumulador.
- 7) Capacidad de soportar las temperaturas y presiones de trabajo.

- **Sistema hidráulico**

El sistema hidráulico de la instalación está formado por el conjunto de tuberías y por una serie de equipos como son: válvulas, vaso de expansión, bombas, etc.

Con respecto al sistema de tuberías se debe diferenciar entre las que pertenecer al circuito primario, es decir, las que transportan el fluido caloportador desde los paneles solares hasta el interacumulador, y las tuberías del circuito secundario, que son aquellas que distribuyen el ACS por toda la edificación según la demanda de los ocupantes en determinados momentos.

Para realizar el dimensionado de tuberías del circuito, parte de los objetivos del presente proyecto, se dividirá en tramos independientes y se realizarán los cálculos pertinentes con el objetivo de obtener el diámetro de tubería adecuado en los tramos. Se comprobará si cumplen con las especificaciones recogidas en el pliego de condiciones técnicas del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDEA).

En cuando a la bomba de circulación, se debe saber que es el elemento encargado de impulsar el fluido a través del circuito hidráulico en una instalación de circulación forzada como es este caso. Es decir, producen un movimiento del fluido desde la salida del depósito interacumulador hasta los colectores solares. Suelen ser de tipo centrífugas.

Por último, se presenta un elemento fundamental en el circuito hidráulico, el vaso de expansión. Este elemento tiene como misión absorber las dilataciones del fluido caloportador de tal manera que el fluido sobrante, que no tiene espacio suficiente, se aloje en el vaso de expansión en lugar de colapsar el sistema. Para el diseño del mismo se ha seguido la norma UNE 1001155:2004, y como se trata de un circuito cerrado, se montara en la zona de aspiración de la bomba.

- **Sistema de regulación y control**

En toda instalación resulta fundamental poseer un sistema de regulación y control automático para tener bajo control todos los equipos de la misma.

El control del circuito primario se lleva a cabo por medio de la bomba de impulsión primaria, cuyo sistema de control se basa en la diferencia de temperaturas del fluido caloportador entre la salida de los captadores solares y la salida del interacumulador.

La sistema de control interviene cuando dicha diferencia de temperaturas mencionada en el párrafo anterior es superior a 7°C, para así poner en marcha la bomba para conseguir que se restablezca en equilibrio deseado de temperaturas reduciendo la diferencia de la mismas.

Aunque por otro lado, si la diferencia de temperaturas es inferior a 2°C, el sistema de control hará que la bomba se detenga de inmediato.

Otra aplicación importante del sistema de control es con respecto al sistema de apoyo. Se colocará una sonda de temperatura a la salida del interacumulador que almacenará los datos de temperatura del agua sanitaria, haciendo que el sistema auxiliar entre o no en funcionamiento dependiendo de si el sistema solar es capaz de abastecer correctamente la demanda requerida del edificio.

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

Las sondas de temperatura empleadas estarán colocadas en los diferentes puntos estratégicos del circuito y estarán aisladas de las condiciones ambientales exterior para procurar su correcto funcionamiento.

1.6. Características técnicas de los equipos

• Captadores solares

Se instalarán los captadores solares planos de la marca *Termicol*. El modelo empleado será el T8S, que se trata de un captador selectivo como se aprecia en la Figura 14. Posee las siguientes características técnicas:



Figura 14. Captador solar plano TS8.

- Dimensiones externas: 2130 x 970 x 100 mm.
- Área bruta: 2 m².
- Área neta: 1.9 m².
- $F_R U_L$: 3.61 W/m²K.
- $F_R (\tau\alpha)_n$: 0.95.
- Cubierta fabricada de vidrio templado con bajo contenido de hierro.

- Aislamiento tipo manta de lana de vidrio con gran espesor (50mm).
- Dimensiones del absorbedor: 2057 x 925 mm.
- Área del absorbedor 1.9 m².
- El absorbedor es de tipo multibanda, fabricado de una aleación de Cu-Al.
- Recubrimiento tipo selectivo de material CERMET, con absorptividad 95% y emisividad 5%.
- Peso de 38 kg en vacío.
- Presión máxima de trabajo: 10 bar.
- Rendimiento óptico: 80.3%.
- Coeficiente de pérdidas k1: 3.61.
- Coeficiente de pérdidas k2: 0.014.
- Temperatura media de los captadores: 50 °C.
- El sistema de fijación no está incluido y es necesario adquirirlo por otra fuente.

- **Interacumulador**

Para el sistema de acumulación se empleará un depósito del fabricante LAPESA. Se usará un depósito de acumulación de acero inoxidable, procedente de la serie MXV, modelo SB con una capacidad de 4000 l.

Se trata de un depósito con alta variedad de capacidades (1500 – 6000 l), fabricados en su mayor parte de acero inoxidable, decapados químicamente y pasivado después de ensamblar. Se observa un esquema del interacumulador en la Figura 15. Estos modelos se encuentran aislados térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectada en molde. Además, todos los modelos disponen de conexiones para la incorporación de resistencias eléctricas de calentamiento como sistema de apoyo.

Los diferentes modelos dan la posibilidad de incorporar en su interior un intercambiador de placas o de serpentín. En este caso, incorporan un sistema de serpentines desmontables, fabricados de acero inoxidable, como sistema de producción de ACS a través de una fuente calórica externa que puede ser un circuito de caldera o paneles solares, es decir, el campo solar que se dispondrá o el sistema auxiliar de apoyo que se encuentre en el edificio.

El volumen de acumulación ha sido seleccionado teniendo en cuenta la recomendación del IDAE, la cual enuncia que el volumen de acumulación debe ser próximo al volumen total del consumo diario.

El interacumulador posee las siguientes características:

- Capacidad de ACS: 4000 l.
- Materiales fabricación: Acero inoxidable.
- Temperatura máxima en continuo: 90°C.
- Presión máxima depósito de ACS: 8 bar.
- Superficie de intercambio del circuito de calentamiento: 3.3 m².
- Temperatura máxima del circuito de calentamiento: 120°C.
- Presión máxima del circuito de calentamiento: 25 bar.
- Peso en vacío aproximado: 650 kg.
- Pérdidas estáticas: 245 W.

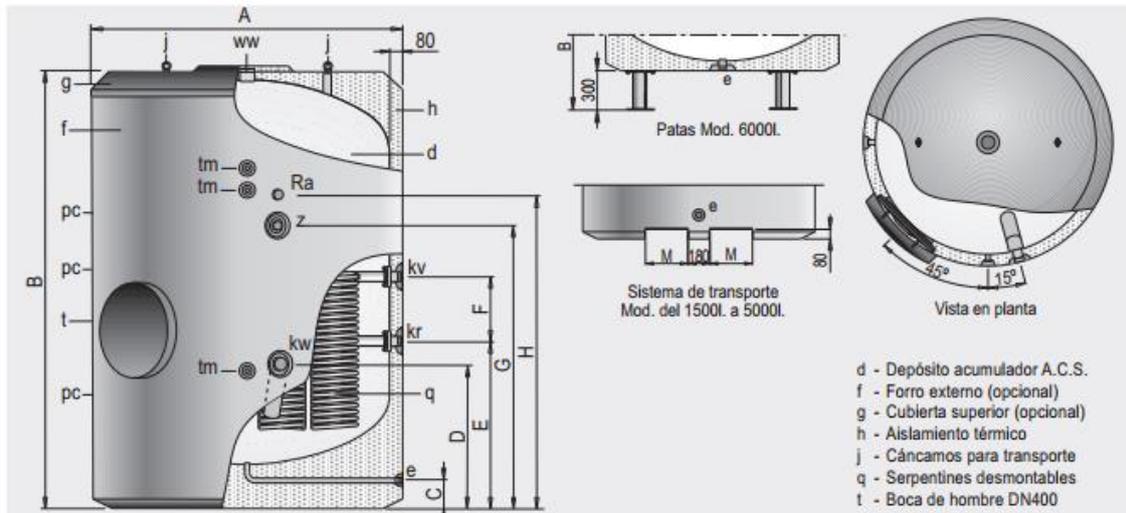


Figura 15. Intercumulador LAPESA modelo SB4000.

• Intercambiador

El intercambiador que se empleará es el que incorpora el depósito de acumulación anteriormente nombrado, ya que los intercambiadores de placas externos convencionales poseen una mayor cantidad de pérdidas que los integrados en el interior del interacumulador. Dicho intercambiador será de tipo serpentin y poseerá las siguientes características.

Es significativo señalar, que el empleo de un intercambiador integrado dentro del acumulador posee la ventaja del ahorro de otra bomba de circulación como la que se debe emplear en el circuito primario, lo que a la hora de la inversión, nos proporcionará un menor coste.

• Bomba de circulación

Como se ha señalado anteriormente, sólo es necesaria una bomba para el circuito primario. Para este circuito, al no ser de grandes dimensiones pues la instalación es más bien pequeña, se empleará una bomba del fabricante Grundfos, modelo UP 20-15 N, tal y como se observa en la Figura 16.

Velocidades: Fija (1-3).

Presión máxima trabajo: 10 bar.

Este modelo de bomba posee un rotor húmedo que no requiere mantenimiento. Sus conexiones pueden ser roscada o embridada, con diferentes posibilidades de velocidades para la adaptación a la potencia de red. Sus características principales son las siguientes:

- Máxima presión de trabajo: 16 bar.
- Temperatura máxima: 80°C.
- Temperatura ambiente máxima: 40°C.
- Frecuencia: 50 Hz.
- Demanda eléctrica: 230 V.
- Intensidad nominal: 1.62 A.
- Potencia nominal: 180 W.
- Peso: 7 kg.

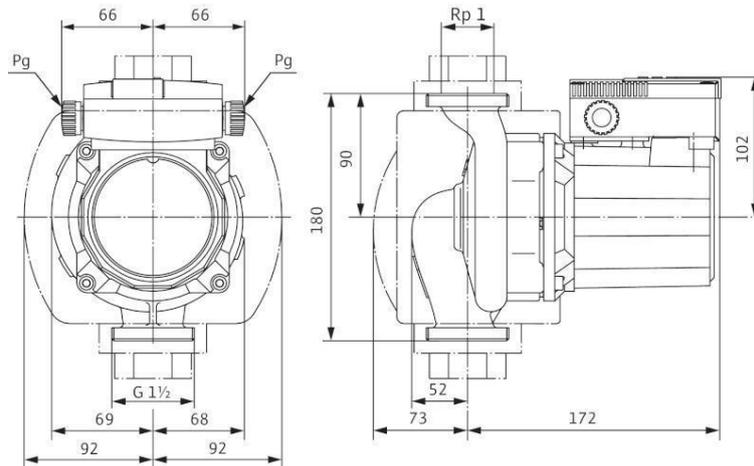


Figura 16. Dimensionado de bomba circuito primario Grundfos, modelo UP 25-15 N.

En la Figura 17 y Figura 18, se observan las gráficas que representan la relación entre la altura y el caudal de diseño de la bomba del circuito primario, y la curva de potencia de la bomba de dicho circuito, respectivamente.

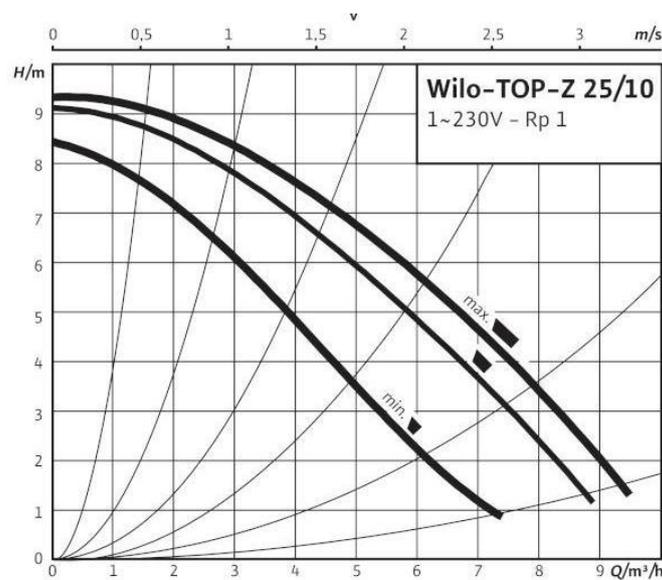


Figura 17. Curva altura frente a caudal de diseño de la bomba del circuito primario.

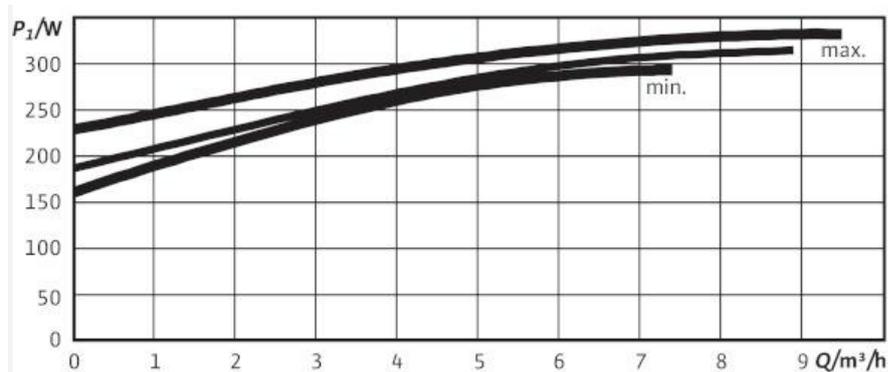


Figura 18. Curva de potencia de la bomba del circuito primario.

- **Vaso de expansión**

Se empleará el vaso de expansión perteneciente al fabricante IBAIONDO, cuyo modelo será el 2-CMR como aparece en la Figura 18 con las siguientes características:



Figura 19. Vaso de expansión IBAIONDO, modelo 2-CMR.

- Presión máxima de trabajo: 10 bar.
- Temperatura mínima: -10°C.
- Temperatura máxima: 100°C.
- Capacidad disponible: 2 l.
- Precarga: 3 bar.
- Conexiones: 3/4".
- Dimensiones: 110 x 245 mm.
- Peso: 0.8 kg.

1.7. Normativa

Dado que la construcción real de una instalación solar térmica como la que se presenta en el presente proyecto se encuentra regulada según una serie de entidades competentes, se procede a exponer los requisitos que debe cumplir la instalación para poder ser llevada a cabo.

Los organismos que regularán la construcción de la instalación serán el Código Técnico de la Edificación (CTE), una serie de normas UNE y por último el Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE).

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

Dentro del CTE, el caso que ocupa este proyecto son los requisitos que debe cumplir una instalación térmica solar para el abastecimiento de agua caliente sanitaria, por lo que el apartado al que se debe acudir es al HE-4 (Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria).

- Contribución solar mínima (%) de ACS

Como el colegio mayor se encuentra en la comunidad de Madrid, se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que pertenece a la zona climática 4. Y por consiguiente, haciendo uso de la Tabla 1 y conociendo la demanda aproximada de ACS

diaria, la contribución solar mínima debe ser del 50%.

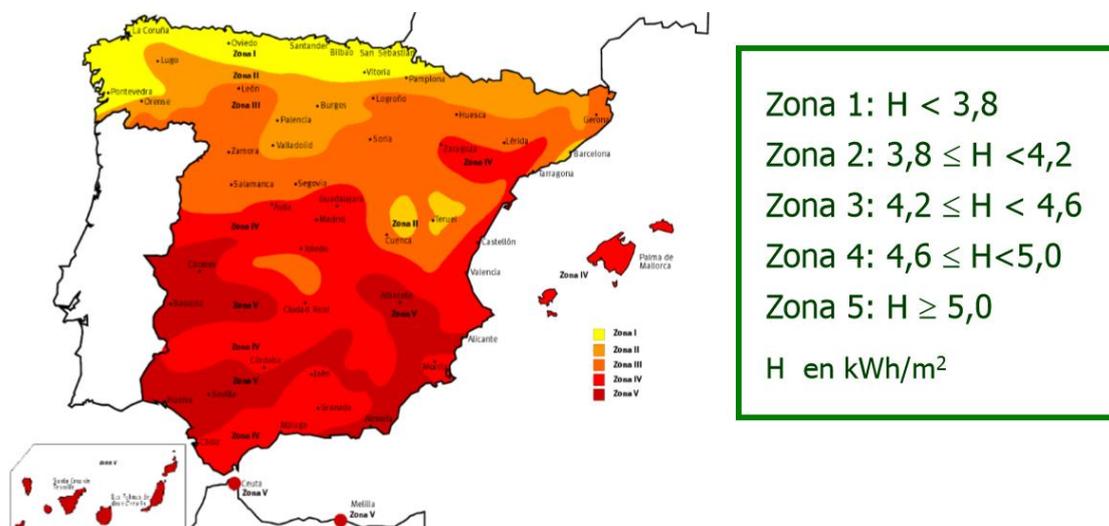


Figura 20. Zonas climáticas según CTE.

Demanda total de ACS del edificio (l/d) a 60 °C	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 -5.000	30	30	40	50	60
5.000 -10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Tabla 1. CTE sobre contribución solar mínima (%) de ACS por zonas geográficas.

- Contribución solar máxima (%)

La cota superior viene impuesta por la condición de que en ningún mes del año, la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y no más de tres meses el 100%. Por ello, no se tomarán en consideración aquellos periodos en los que la demanda se sitúe un 50% por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose las medidas de protección adecuadas.

- Límite de pérdidas por orientación, inclinación y sombras.

Atendiendo a que la orientación óptima es la Sur y que la inclinación óptima depende del periodo de utilización, se han de cumplir las tres condiciones con respecto a estos límites de pérdidas de orientación, inclinación y sombras. En la Tabla 2 aparecen los límites que deben ser respetados a la hora del dimensionado de la instalación solar.

Hay que señalar que en cuanto a las pérdidas de radiación solar por sombras de edificio cercanos no se tendrán en cuenta, pues en la periferia del colegio mayor no existen edificaciones de una altura superior que puedan interferir en la captación de radiación.

	Orientación e inclinación OI	Sombras S	Total OI+S
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Tabla 2. Límites de pérdidas (%) de orientación, inclinación y sombras.

En cuanto a la inclinación óptima, el reglamento expone que, dependiendo del periodo de utilización, se debe usar uno de valores siguientes:

- Demanda constante anual: la latitud geográfica.
- Demanda preferente en invierno: la latitud geográfica + 10°.
- Demanda preferente en verano: la latitud geográfica – 10°.

2) Normas UNE

Las normas UNE que se encuentran íntimamente relacionadas con el propósito de este proyecto son: UNE 100155, UNE 94002 y UNE 94003.

- UNE 100155

Recoge el método para el diseño del vaso de expansión.

- UNE 94002

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

- UNE 94003

La presente norma trata de homogeneizar los datos de partida necesarios para llevar a cabo el dimensionado de una instalación solar para producción de agua caliente. Así, los datos de partida meteorológicos serán siempre los mismos y no variarán ante la posibilidad de encontrar otras fuentes alternativas de información. Los datos que pueden ser extraídos son los valores de irradiación global sobre superficie horizontal y los de temperatura media ambiente en cada provincia.

3) Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE)

Las secciones del RITE que afectan a la instalación de este proyecto son la de preparación de agua caliente para usos sanitarios, el aislamiento térmico, la correcta medición de las magnitudes, el sistema de distribución de agua y, por último, el sistema de control automático.

- Preparación de agua caliente para usos sanitarios (IT 1.1.4.3.1)
- Aislamiento térmico (IT 1.2.4.2.1)
- Medición (IT 1.3.4.4.5)
- Sistema de distribución de agua (IT 2.3.3)
- Control automático (IT 2.3.4)

1.8. Bibliografía

- 1) Código Técnico de la Edificación (CTE), apartado HE 4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.” 2013.
- 2) AENOR, Norma UNE 100-155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” 2004.
- 3) AENOR, Norma UNE 94002 “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria” 2005.
- 4) AENOR, Norma UNE 94003 “Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones térmicas” 2007.

2. Memoria de cálculo

2.1. Introducción

En este documento, se desarrollarán y justificarán los cálculos necesarios para llevar a cabo el dimensionado del diseño de una instalación térmica solar de baja temperatura. Con el objetivo de abastecer la demanda de agua caliente del colegio mayor César Carlos, situado en la localidad de Madrid, durante todo un año.

De acuerdo con el cumplimiento del código técnico correspondiente, se procederá a dimensionar todos los elementos relevantes necesarios para la implementación del sistema solar a la edificación señalada.

2.2. Datos de partida

- **Parámetros geográficos**

El colegio mayor César Carlos se encuentra en la localidad de Madrid, a 659 metros de altitud sobre el nivel del mar, con una latitud de 40°26'52.7" dirección Norte y una longitud de 3°43'11.4 dirección Oeste.

- **Parámetros climáticos**

Mediante el seguimiento de la norma UNE 94003, se observa que el colegio mayor de Madrid pertenece a la zona climática 4 (Figura 20). También se han recogido en la Tabla 3 los datos de radiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal en $[kJ/m^2]$ y la temperatura ambiente en $[^{\circ}C]$ de la comunidad de Madrid.

Mes	Irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal $[kJ/m^2]$	Temperatura ambiente $[^{\circ}C]$
Enero	6800	6.2
Febrero	9600	7.4
Marzo	13600	9.9
Abril	17400	12.2
Mayo	21400	16
Junio	2900	20.7
Julio	25900	24.4
Agosto	23100	23.9
Septiembre	17200	20.5
Octubre	11800	14.7
Noviembre	7700	9.4
Diciembre	6000	6.4

Tabla 3. Irradiación global y temperatura ambiente en Madrid.

El siguiente paso será convertir el dato de irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal en la irradiación sobre la superficie inclinada. Para ello se dividirá la

horizontal en sus dos componentes, radiación directa y difusa, respectivamente. Y estas dos componentes a inclinada para así sumarlas y obtener la global. Ésta estrategia se encuentra simplificada para su mejor comprensión en la Figura 21.

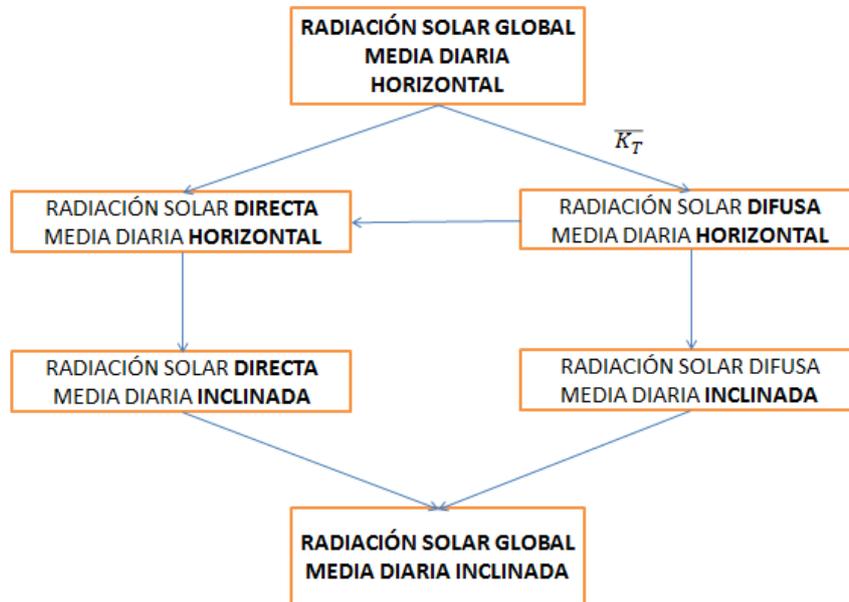


Figura 21. Esquema para cálculo de la radiación solar global media diaria sobre superficie inclinada.

En primer lugar se debe calcular la declinación δ a partir de la ecuación de Cooper, la cual, aparece a continuación:

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

Donde:

- n: Día del año correspondiente.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se encuentran los valores calculados de la declinación mensual, que serán necesarios posteriormente.

Mes	Día del año	Declinación [°]
Enero	17	-20,84
Febrero	45	-13,32
Marzo	74	-2,4
Abril	105	9,46
Mayo	135	18,72
Junio	161	23,04
Julio	199	21,11
Agosto	230	13,28
Septiembre	261	1,97
Octubre	292	-9,84
Noviembre	322	-19,02
Diciembre	347	-23,12

Tabla 4. Declinación mensual según ecuación de Cooper.

En segundo lugar se necesita calcular el ángulo horario solar w_s . Para lo cual se debe conocer la latitud de la ubicación del edificio, en este caso 40° . El ángulo solar se define según la ecuación:

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

Donde:

- ϕ : Latitud [$^\circ$].
- w_s : Ángulo solar horario [$^\circ$].

En la

Tabla 5 se muestran los valores mensuales del ángulo horario.

Mes	Ángulo solar horario [$^\circ$]
Enero	71,37
Febrero	78,54
Marzo	87,98
Abril	98,04
Mayo	106,52
Junio	110,91
Julio	108,90
Agosto	101,42
Septiembre	91,65
Octubre	81,63
Noviembre	73,19
Diciembre	69,01

Tabla 5. Ángulo solar horario mensual.

A continuación se calcula el índice de claridad k_t mensual, que es el cociente entre la irradiación global horizontal y el dato de irradiación extraterrestre horizontal dada para la latitud correspondiente del edificio.

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

Donde:

- k_t : Índice de claridad [Adim].
- H_{g0} : Irradiación global horizontal [$\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$].
- H_0 : Irradiación extraterrestre horizontal para una latitud dada [$\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$].

El dato de irradiación extraterrestre horizontal viene dado por tablas como la Tabla 6, donde aparece como dato mensual, teniendo como único dato de entrada la latitud deseada.

Lat °	HEMISFERIO NORTE Ra en MJ · m ⁻² · día ⁻¹											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Norte												
0.0	36.1	37.6	38.0	36.8	34.8	33.4	33.8	35.5	37.1	37.4	36.5	35.7
2.0	35.3	37.1	37.9	37.1	35.4	34.2	34.5	36.0	37.2	37.1	35.8	34.8
4.0	34.5	36.6	37.7	37.4	36.0	34.9	35.2	36.4	37.3	36.8	35.1	33.9
6.0	33.6	36.0	37.5	37.6	36.6	35.6	35.8	36.8	37.3	36.4	34.3	33.0
8.0	32.7	35.4	37.3	37.8	37.1	36.3	36.4	37.2	37.2	35.9	33.5	32.1
10.0	31.8	34.7	37.0	38.0	37.5	36.9	37.0	37.5	37.1	35.4	32.7	31.1
12.0	30.9	34.0	36.7	38.0	38.0	37.5	37.6	37.8	37.0	34.9	31.8	30.1
14.0	29.9	33.3	36.3	38.1	38.4	38.1	38.0	38.0	36.8	34.3	30.9	29.0
16.0	28.9	32.5	35.8	38.1	38.7	38.6	38.5	38.2	36.6	33.7	30.0	27.9
18.0	27.8	31.7	35.4	38.1	39.0	39.1	38.9	38.3	36.4	33.0	29.1	26.9
20.0	26.7	30.8	34.8	38.0	39.3	39.5	39.3	38.4	36.0	32.3	28.1	25.7
22.0	25.6	29.9	34.3	37.8	39.5	39.9	39.6	38.4	35.7	31.6	27.0	24.6
24.0	24.5	29.0	33.7	37.7	39.7	40.3	39.9	38.5	35.3	30.8	26.0	23.4
26.0	23.4	28.1	33.0	37.4	39.8	40.6	40.2	38.4	34.9	30.0	24.9	22.3
28.0	22.2	27.1	32.4	37.2	39.9	40.9	40.4	38.3	34.4	29.2	23.8	21.1
30.0	21.1	26.1	31.6	36.9	40.0	41.1	40.6	38.2	33.9	28.3	22.7	19.8
32.0	19.9	25.0	30.9	36.5	40.0	41.3	40.7	38.1	33.3	27.4	21.6	18.6
34.0	18.7	24.0	30.1	36.1	39.9	41.5	40.8	37.9	32.7	26.4	20.4	17.4
36.0	17.4	22.9	29.3	35.7	39.9	41.7	40.9	37.6	32.0	25.5	19.2	16.2
37.0	16.8	22.3	28.8	35.4	39.8	41.7	40.9	37.5	31.7	25.0	18.7	15.5
38.0	16.2	21.7	28.4	35.2	39.8	41.7	40.9	37.3	31.4	24.5	18.1	14.9
39.0	15.6	21.2	27.9	34.9	39.7	41.8	40.9	37.2	31.0	24.0	17.5	14.3
40.0	15.0	20.6	27.5	34.7	39.6	41.8	40.9	37.0	30.6	23.4	16.9	13.7
41.0	14.4	20.0	27.0	34.4	39.5	41.8	40.9	36.8	30.3	22.9	16.3	13.1
42.0	13.8	19.5	26.6	34.1	39.4	41.8	40.8	36.6	29.9	22.4	15.7	12.4
43.0	13.2	18.9	26.1	33.8	39.3	41.8	40.8	36.4	29.5	21.9	15.1	11.8
45.0	11.9	17.7	25.1	33.2	39.1	41.8	40.7	36.0	28.7	20.8	13.8	10.6
46.0	11.3	17.1	24.6	32.9	39.0	41.8	40.6	35.8	28.3	20.2	13.2	10.0
47.0	10.7	16.5	24.1	32.6	38.8	41.8	40.6	35.6	27.8	19.6	12.6	9.4
48.0	10.1	15.9	23.6	32.2	38.7	41.8	40.5	35.3	27.4	19.1	12.0	8.8
49.0	9.5	15.3	23.0	31.9	38.5	41.7	40.4	35.1	27.0	18.5	11.4	8.2
50.0	8.9	14.7	22.5	31.5	38.4	41.7	40.3	34.8	26.5	17.9	10.8	7.6
60.0	3.3	8.5	16.8	27.5	36.5	41.2	39.3	31.9	21.6	12.0	4.9	2.2

Tabla 6. Datos irradiación extraterrestre horizontal para una latitud dada.

Con esto, en la

Tabla 7, se representan los datos de partida de la radiación extraterrestre y los resultados del cálculo del índice de claridad media. Ambos datos en base mensual, tal y como se están calculando toda la información anterior.

El siguiente paso es el cálculo de la relación entre la radiación directa sobre una superficie inclinada y la radiación directa sobre una superficie horizontal. Esta relación se conoce como R_D , y se calcula según la ecuación que aparece a continuación:

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

Mes	Irradiación Extraterrestre Horizontal [kJ/m ² día]	Índice de claridad media mensual kt
Enero	15000	0,45
Febrero	20600	0,47
Marzo	27500	0,49
Abril	34700	0,50
Mayo	39600	0,54
Junio	41800	0,57
Julio	40900	0,63
Agosto	37000	0,62
Septiembre	30600	0,56
Octubre	23400	0,50
Noviembre	16900	0,46
Diciembre	13700	0,44

Tabla 7. Radiación Extraterrestre horizontal e índice de claridad media mensuales.

Donde:

- s : Inclinación del panel sobre la horizontal [°].
- w'_s : Ángulo solar horario en una superficie inclinada [°].

La inclinación del panel sobre la horizontal ha sido fijada como 45° a la hora de realizar los cálculos. El ángulo solar horario sobre la superficie inclinada ha sido calculado según la función que aparece a continuación:

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

Se obtienen los resultados del cálculo de R_D para cada uno de los meses, habiendo obtenido previamente el valor mensual del ángulo solar horario sobre superficie inclinada. Ambos representados en la

representados en la

Tabla 8.

Mes	Ángulo Horario en la superficie inclinada [°]	RD
Enero	71,37	2,34
Febrero	78,54	1,85
Marzo	87,98	1,38
Abril	89,16	1,03
Mayo	88,30	0,83
Junio	87,87	0,75
Julio	88,06	0,79
Agosto	88,82	0,95
Septiembre	89,83	1,24
Octubre	81,63	1,68
Noviembre	73,19	2,20

Diciembre	69,01	2,53
-----------	-------	------

Tabla 8. Ángulo solar en superficie inclinada y RD.

Por último, se calculan los valores de la radiación global media mensual sobre una superficie inclinada a partir de los valores de la radiación directa y difusa sobre superficie inclinada. Para ello es necesario calcular la fracción de radiación difusa *FRD*.

Dicha fracción de radiación difusa se calcula a partir de un modelo que proporciona la Universidad de Sevilla, ETSI. Éste modelo se basa en una correlación experimental que hace uso del factor hace uso del factor mensual del índice de claridad en una ecuación polinómica de cuarto grado. Estos resultados aparecen en la

Tabla 9, calculados con el siguiente polinomio:

$$FRD = 1 + 0.0816 \cdot k_t - 1.6436 \cdot k_t^2 - 0.7906 \cdot k_t^3 + 0.9995 \cdot k_t^4$$

Mes	Fracción de radiación difusa (MODELO ETSI)
Enero	0,67
Febrero	0,65
Marzo	0,60
Abril	0,59
Mayo	0,52
Junio	0,47
Julio	0,35
Agosto	0,37
Septiembre	0,49
Octubre	0,59
Noviembre	0,66
Diciembre	0,69

Tabla 9. Fracción de radiación difusa según modelo ETSI.

Con los valores de la fracción de radiación difusa determinados, se determinan las componentes de la componentes de la radiación global sobre superficie horizontal multiplicando por dicha fracción para obtener fracción para obtener la componente difusa. Y dado que la suma de ambas componentes forma la radiación forma la radiación global, tan solo hay que restar la componente difusa a la global para obtener la directa. En obtener la directa. En la

Tabla 10 se representan los resultados obtenidos.

En cuanto a las componentes de la radiación sobre superficie inclinada, se calculan por separado y se suman para obtener la global, tal y como se aprecia en la siguiente ecuación:

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

Donde:

- I_T : Radiación solar global sobre superficie inclinada $[kJ/m^2 \cdot día]$.
- I_D : Componente de radiación solar directa sobre superficie horizontal $[kJ/m^2 \cdot día]$.
- I_d : Componente de radiación solar difusa sobre superficie horizontal $[kJ/m^2 \cdot día]$.

Mes	Irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal $[kJ/m^2 \text{ día}]$	Irradiación directa horizontal $[kJ/m^2 \text{ día}]$	Irradiación difusa horizontal $[kJ/m^2 \text{ día}]$
Enero	6800	2259,15	4540,85
Febrero	9600	3377,22	6222,78
Marzo	13600	5405,56	8194,44
Abril	17400	7113,89	10286,11
Mayo	21400	10174,04	11225,96
Junio	23900	12705,94	11194,06
Julio	25900	16769,23	9130,77
Agosto	23100	14558,50	8541,50
Septiembre	17200	8841,74	8358,26
Octubre	11800	4879,94	6920,06
Noviembre	7700	2585,06	5114,94
Diciembre	6000	1854,94	4145,06

Tabla 10. Componentes de la radiación sobre superficie horizontal.

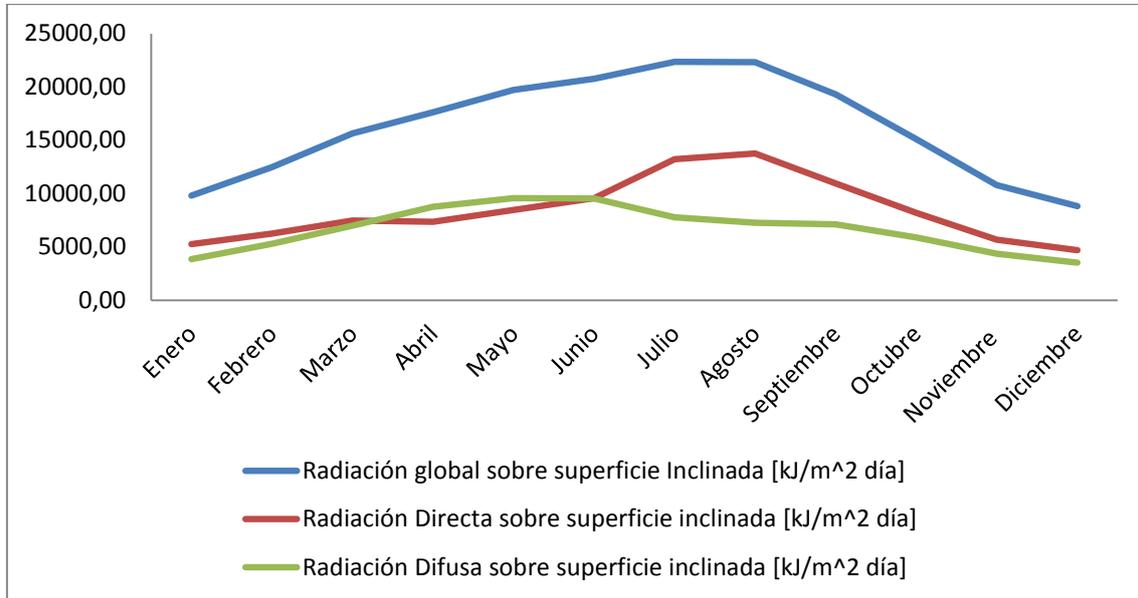
Se exponen los resultados en la

Tabla 11. Además, en la Gráfica 1 se ha representado la radiación global sobre superficie horizontal frente a los resultados sobre superficie inclinada para aclarar la desviación que se sufre en los meses pico de verano, en los que se capta menor radiación sobre superficie inclinada, pero como se gana en el resto de meses haciendo que la cantidad de radiación solar global a lo largo de todo el año sea más constante en vez de tener picos pronunciados como ocurre sobre la superficie horizontal.

Mes	Radiación global sobre superficie Inclinada $[kJ/m^2 \text{ día}]$	Radiación Directa sobre superficie inclinada $[kJ/m^2 \text{ día}]$	Radiación Difusa sobre superficie inclinada $[kJ/m^2 \text{ día}]$
Enero	9826,89	5286,05	3875,85
Febrero	12480,79	6258,01	5311,48
Marzo	15667,49	7473,05	6994,39
Abril	17639,49	7353,38	8779,75
Mayo	19711,08	8485,12	9581,96
Junio	20775,29	9581,23	9554,73
Julio	22360,85	13230,07	7793,60
Agosto	22309,82	13768,32	7290,63

Septiembre	19301,43	10943,17	7134,22
Octubre	15124,33	8204,27	5906,64
Noviembre	10810,17	5695,23	4365,87
Diciembre	8846,18	4701,11	3538,03

Tabla 11. Componentes de la radiación sobre superficie inclinada.



Gráfica 1. Representación radiación global, directa y difusa mensuales.

2.3. Cálculo de la demanda

- **Cálculo del consumo**

El consumo de este tipo de edificio viene determinado por el código técnico de la edificación (CTE) apartado HE-4. Como este proyecto trata sobre una residencia de estudiantes, en las tablas del código técnico se especifica un consumo de $41 \frac{l}{cama \cdot día}$, por lo que el consumo unitario diario medio será el siguiente:

$$Q_{ACS} = 41 \frac{l}{cama \cdot día} \cdot 98 \text{ camas} = 4018 \frac{l}{día}$$

El dato de consumo residencial por cama que se ha extraído del CTE está sujeto a una temperatura de referencia del agua caliente de 60°C .

- **Demanda energética**

La demanda energética mensual viene dada por la siguiente expresión:

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

Donde:

- L_{ACS} : Demanda energética [J/mes].
- Q_{ACS} : Consumo unitario diario medio [$l/día$].
- ρ_a : Densidad del agua, cuyo valor será de 1 kg/l .
- C_p : Calor específico del agua, cuyo valor será de $4190\text{ J/kg} \cdot K$.
- T_{ac} : Temperatura referencia del agua caliente, impuesta por CTE como 60°C .
- T_{af} : Temperatura del agua fría de red, cuyos valores vienen impuestos por provincia española y mes del año en la norma UNE 94002.
- Δt : Número de días del mes correspondiente [$días$].

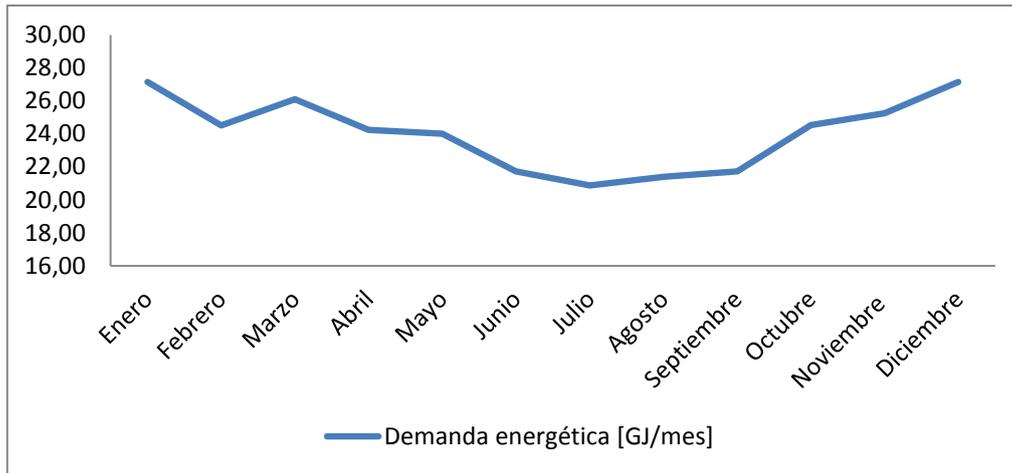
Los resultados de temperatura diaria media mensual de agua fría en la comunidad de Madrid y de demanda Madrid y de demanda energética, estipulados en la norma UNE 94002, que contiene los datos de temperatura datos de temperatura y el procedimiento de cálculo de la demanda, se presentan en la

Tabla 12.

Mes	Temperatura diaria media mensual de agua fría [$^\circ\text{C}$]	Demanda energética [GJ/mes]
Enero	8	27,14
Febrero	8	24,51
Marzo	10	26,09
Abril	12	24,24
Mayo	14	24,01
Junio	17	21,72
Julio	20	20,88
Agosto	19	21,40
Septiembre	17	21,72
Octubre	13	24,53
Noviembre	10	25,25
Diciembre	8	27,14

Tabla 12. Valores mensuales de temperatura de agua fría y demanda energética.

En la Gráfica 2 se encuentra representada la demanda energética en GJ/mes del edificio, de la cual se comprueba que es menor en los meses de verano y alcanza los máximos en invierno.



Gráfica 2. Demanda energética mensual.

2.4. Cálculo de la superficie de captación

• Cálculo de la fracción de demanda cubierta anual

Dado que el código técnico de la edificación acota la demanda mínima que puede cubrir la instalación solar, se calculará la fracción de demanda cubierta f , definida como el cociente entre la parte de la demanda anual que es cubierta gracias a la radiación solar y la demanda anual total:

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

Donde:

- Q_{solar} : Potencia solar térmica destinada a cubrir parte de la demanda energética anual.
- $Q_{consumida}$: Potencia térmica consumida durante el año.

El límite inferior que acota el CTE para el f de este proyecto es el 50%, es decir, de la demanda anual de esta residencia se debe cubrir al menos la mitad de dicha demanda mediante la instalación solar que nos ocupa, suponiendo que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural u otros.

A continuación, dado que la fracción de demanda cubierta viene determinada por el área de superficie de captación, se ha utilizado una hoja Excel que implementa el método del apartado 1.3, que proporciona dicho factor de demanda media anual para un área de captación. Los datos de partida necesarios para llevar a cabo los cálculos pertinentes son los siguientes:

- Ángulo acimut: 0° .
- Número de captadores en serie: 6.
- Inclinación de los captadores: 45° sobre horizontal.
- $F_R U_L$: $3.61 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- $F_R (\tau\alpha)_n$: 0.95.
- Caudal de ensayo del captador: 0.008 kg/sm^2 .
- Caudal específico del captador: 0.006 kg/sm^2 .

En la

Tabla 13 aparecen los resultados para una serie de áreas. La configuración de captadores que se empleará será cuatro columnas en paralelo con 6 captadores en serie cada una de ellas. Aparece en dicha tabla remarcada la solución de los 24 captadores, con un área de captación total de 45.6 m² y una fracción de demanda cubierta que cumple el mínimo del 50% exigido con un 53% de demanda cubierta sobre la total. En la

Tabla 14 se han colocado los resultados al emplear dichos metros cuadrados de captador, en dicha disposición de dos en paralelo y cumpliendo una fracción de demanda cubierta del 53%.

Es significativo señalar que además del límite inferior marcado por el CTE, esta disposición también cumple el también cumple el límite superior del mismo código, que estipula que en cada uno de los meses no debe superarse nunca un 110% de la demanda energética del edificio. Esto quiere decir que no debe decir que no debe haber una f superior a 1.1 en ninguno de los meses, tal y como se observa en el caso en el caso particular elegido a implementar de 45.6 m² en la

Tabla 15 se observa que tan solo en los meses de verano los valores se acercan al límite sin ni tan siquiera alcanzarlos.

Número de captadores	Área Captación	Demanda cubierta f
2	3,8	0,06
4	7,6	0,12
6	11,4	0,17
8	15,2	0,22
10	19	0,27
12	22,8	0,31
14	26,6	0,35
16	30,4	0,39
18	34,2	0,43
20	38	0,47
22	41,8	0,49
24	45,6	0,53
26	49,4	0,56
28	53,2	0,58
30	57	0,61
32	60,8	0,63

Tabla 13. Factor de demanda cubierta para un área de captación determinada.

Mes	Ahorro [GJ/mes]	Apoyo [GJ/mes]	Total [GJ/mes]
Enero	5,80	21,34	27,14
Febrero	7,84	16,67	24,51
Marzo	12,45	13,64	26,09
Abril	14,71	9,53	24,24
Mayo	18,50	5,51	24,01
Junio	19,10	2,62	21,72

Julio	19,80	1,07	20,88
Agosto	18,56	2,84	21,40
Septiembre	14,40	7,31	21,72
Octubre	10,86	13,67	24,53
Noviembre	6,69	18,57	25,25
Diciembre	4,74	22,40	27,14

Tabla 14. Energía ahorrada, apoyo y demanda total mensual.

- **Disposición de los captadores**

El campo de captadores se encontrará compuesto por un total de 24 captadores distribuidos en 2 baterías de 12 captadores. La disposición de cada una de estas baterías será de dos grupos conectados en paralelo y estos a su vez, 6 es serie.

El fluido caloportador se introducirá en cada una de las baterías por la parte superior del primero y saldrá de dicha batería por la parte inferior del último, para asegurar así el paso por toda la superficie.

En el apartado de pérdida de carga se especificará con más detalle, pero para contrarrestar una excesiva pérdida de carga, la conexión entre las diferentes baterías se realizará con retorno invertido, para así obtener un circuito en equilibrio hidráulico.

Mes	f
Enero	0,21
Febrero	0,32
Marzo	0,48
Abril	0,61
Mayo	0,77
Junio	0,88
Julio	0,95
Agosto	0,87
Septiembre	0,66
Octubre	0,44
Noviembre	0,26
Diciembre	0,17

Tabla 15. Fracción de demanda cubierta mensual para 24 captadores.

- **Pérdidas por orientación, inclinación y sombras**

Tal y como indica el CTE, la orientación óptima para este proyecto será la Sur. De igual modo pasa con respecto a la inclinación, que se toma como valor óptimo el entorno de los 37°. Sin embargo, debido a la imposibilidad de ajustar dicha inclinación en nuestros perfiles de sujeción, se ha optado por utilizar una inclinación de 40°.

Las pérdidas correspondientes se calculan de la siguiente manera:

$$Pérdidas(\%) = 100 \cdot [1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{OPT})^2 + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot a^2]$$

Donde:

- β : Inclinación escogida, en este caso 40° .
- β_{OPT} : Inclinación óptima, en este caso 37° .
- α : Ángulo acimut, con un valor de 0° como se vio en apartados anteriores.

Los resultados son de un 0.11%, lo cual es aceptable pues cumple las condiciones impuestas sobre pérdidas del CTE, expuestas en el Tabla 2, situando el límite para pérdidas de orientación e inclinación en un 10%.

Por último, las pérdidas por sombras no juegan ningún papel en este proyecto, debido a que en las proximidades de la edificación no figura ninguna otra cercana con una altura superior a la localización escogida para el sistema de captación. Por tanto, las pérdidas por sombras se consideran nulas.

2.5. Cálculo del volumen de acumulación

El volumen de acumulación ha sido seleccionado teniendo en cuenta la recomendación del IDAE, la cual enuncia que el volumen de acumulación debe ser próximo al volumen total del consumo diario.

Además, para aplicaciones de ACS, el CTE exige que el área total de captadores solares debe cumplir con la siguiente restricción con el volumen de acumulación:

$$50 < V/A < 180$$

Donde:

- V : Volumen de acumulación [l].
- A : Área de captación [m^2].

Dado que el consumo diario se encuentra en el entorno de los 4000 l, y que el área total de captación ha sido seleccionado como $45.6 m^2$.

$$\frac{4000}{45.6} = 87.72 \quad \text{donde} \quad 87.72 \in [50,180]$$

Por lo que el volumen de acumulación de 4000 l escogido cumple con las especificaciones exigidas.

2.6. Cálculo de la red de tuberías

2.6.1. Fluido del circuito primario

Por el circuito primario de la instalación circulara como fluido caloportador una mezcla de agua con glicol como es habitual. El glicol que se empleará será el anticongelante proporcionado por la empresa Termicol.

Para evitar congelaciones en el circuito primario se debe tener en cuenta la temperatura mínima registrada en la comunidad de Madrid. Esta temperatura fue de 5.2 grados bajo cero en los años noventa. Con esto, el CTE obliga a diseñar el fluido caloportador para evitar congelaciones de hasta 5 grados por debajo de la mínima como medida de seguridad. Por tanto, la temperatura de diseño del fluido será de -10.2° .

Con ello se consigue una composición del 65% en agua y 35% glicol.

Las propiedades del fluido de trabajo son las siguientes:

$$\rho_{fluido} = 1028 \text{ kg}/m^3$$

$$c_{p_{fluido}} = 3.78 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$$

2.6.2. Caudal del circuito primario y secundario

Para calcular el caudal que circulará por el circuito primario de la instalación se emplea la siguiente ecuación:

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

Donde:

- M_B : Caudal que circula por el circuito de captación $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$.
- G : Caudal específico en el captador solar $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}\right]$.
- N_C : Número de captadores.
- A : Área del captador $[\text{m}^2]$.
- N : Número de captadores en serie.

Por tanto, se obtiene el siguiente caudal:

$$M_B = \frac{G \cdot N_C \cdot A}{N} = \frac{0.036 \cdot 24 \cdot 1.9}{24} = 0.0684 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 246.24 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$M_B = 246.24 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1028 \text{ kg}} \cdot \frac{1000 \text{ l}}{60 \text{ min}} = 3.99 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cong 4 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

2.6.3. Pérdidas de carga en los captadores

Gracias al catálogo técnico del captador solar es posible averiguar la pérdida de carga que proporciona el caudal calculado en el apartado anterior. En dicho catálogo encontramos dos coeficientes entre los que elegir la construcción gráfica, un coeficiente lineal y otro cuadrático.

El coeficiente cuadrático proporciona unos resultados más específicos ya que la progresión de este ensayo no es lineal. En la Figura 22 se ha representado la caída de presión frente al caudal según el factor cuadrático de 0.765 extraído del catálogo.

Con el caudal de $\cong 4 \frac{\text{l}}{\text{min}}$ se obtiene la siguiente pérdida de carga en el captador:

$$\Delta P_{CAP} = 175.2 \text{ mm. c. a} = 17.52 \text{ mbar}$$

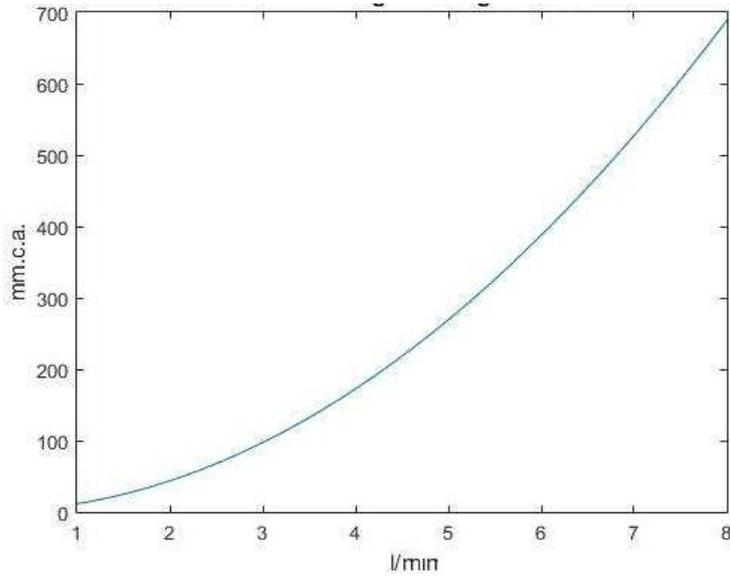


Figura 22. Caída presión [mm c.a] frente caudal [l/min] según factor cuadrático.

2.6.4. Pérdidas de carga en el interacumulador

La pérdida de carga en el interacumulador se calcula gráficamente en el catálogo técnico del aparato seleccionado. En este caso se empleará un depósito del fabricante APERSA. El modelo es el SB de la serie MXV con capacidad de 4000 l.

Para entrar en Figura 23 se debe conocer el caudal en m^3/h por lo que:

$$M_B = 246.24 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1 m^3}{1028 kg} = 0.2395 \frac{m^3}{h}$$

Dado que el punto deseado no se contempla en la gráfica que proporciona el catálogo es necesario realizar una interpolación, con lo que se obtiene la siguiente pérdida de carga en el interacumulador:

$$\Delta P_{INTERAC} = 2.5 \text{ mbar}$$

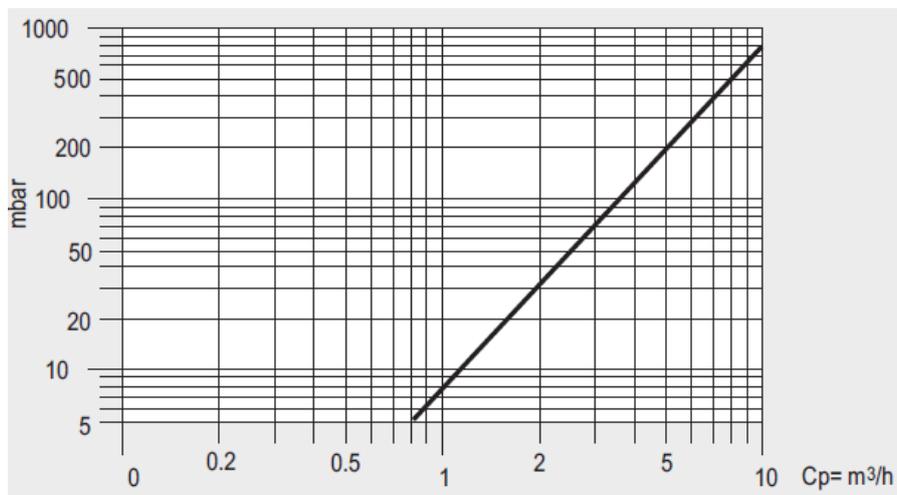


Figura 23. Pérdida presión interacumulador frente caudal.

2.6.5. Pérdidas de carga en la red de tuberías

Lo más importante en este apartado es tener en cuenta las restricciones técnicas impuestas en este tipo de instalaciones por IDEA entre las que se encuentran las siguientes:

- La velocidad de circulación del fluido debe ser inferior a 2 m/s cuando están situadas en locales habitados e inferior a 3 m/s cuando se trate de zonas exteriores. Al encontrarse esta instalación situada en la cubierta del edificio, la velocidad del fluido estará limitada a 3 m/s o inferior.
- El dimensionado de tuberías deberá realizarse de modo que las pérdidas de carga por metro cuadrado no superen los 40 mm.c.a./m cuando se trate de agua. Si se trabaja con una mezcla de agua y anticongelante, como sucede en este proyecto, se utilizará un factor corrector de 1.3. Por tanto en este caso:

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

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

En este caso en el que lo relevante es la caída de presión del circuito primario podemos tomar un solo tramo de todo el recorrido pues la distribución de agua caliente al edificio no forma parte de este estudio. Por tanto se calcula la longitud de todo el recorrido del circuito primario, que abarca desde la sala de máquinas donde se encuentra el intercambiador hasta la cubierta donde se halla el campo solar de captación.

En primer se debe elegir el diámetro interior de las tuberías para que cumpla con la restricción de una velocidad de circulación inferior a los 3 m/s . Usando la siguiente ecuación:

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

Donde:

- D: Diámetro exterior de tubería [m].

Se impone la condición y se consigue el diámetro máximo.

$$3 \leq \frac{4 \cdot 0.0684 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot D^2} \rightarrow D \leq 0.021$$

Por tanto se fija como diámetro exterior de tubería de cobre el primer valor disponible en las tablas menor de 0.021 m , es decir, 0.020 m de diámetro exterior y 0.018 m de diámetro interior.

Posteriormente se calcula longitud de tubería necesaria para la integración del circuito primario y las longitudes equivalentes de los accesorios del mismo.

Las longitudes de los tramos de tuberías se han obtenido con la ayuda de AutoCad sobre los planos presentados de la instalación donde se encuentra toda la red de tuberías mencionada.

En cuanto a las longitudes de los accesorios se detalla una lista de los mismos en la Tabla 16 y conociendo el diámetro interior de tubería calculado anteriormente se obtiene con la ayuda de Tabla 17 cada una de las longitudes equivalentes.

Accesorios	
Fluido caliente	Fluido caliente
10 Codos 90°	17 Codos 90°
1 Curva 45°	1 Curva 45°

4 Bifurcaciones derivadas	3 Bifurcaciones derivadas
8 Válvulas retención	8 Válvulas retención

Tabla 16. Accesorios circuito primario.

Diámetro nóminal	Codo 90°	Curva 90°	Curva 45°	Codo doble 180°	T rama alineada	T rama derivada	Válvula esférica	Válvula compuerta	Válvula ángulo	Válvula retención
1/2"	0.33	0.17	0.10	0.56	0.22	0.67	3.79	0.09	1.67	1.12
5/8"	0.43	0.22	0.13	0.72	0.29	0.87	4.92	0.12	2.17	1.45
7/8"	0.62	0.31	0.19	1.04	0.42	1.25	7.07	0.17	3.12	2.08
1-1/8"	0.83	0.41	0.26	1.38	0.55	1.66	3.39	0.22	4.14	2.76
1-3/8"	1.01	0.51	0.31	1.69	0.68	2.03	11.49	0.27	5.07	3.38
1-5/8"	1.21	0.60	0.37	2.02	0.81	2.42	13.72	0.32	6.05	4.03
2-1/8"	1.61	0.80	0.49	2.68	1.07	3.21	18.21	0.43	8.03	5.35
2-5/8"	2.01	1.00	0.62	3.35	1.34	4.02	22.78	0.54	10.05	6.70

Tabla 17. Longitudes equivalentes para accesorios en metros para tuberías de cobre.

En la Tabla 18 aparecen recogidos los valores por separado de todo el circuito primario, incluyendo el tramo por el circula fluido caloportador frio, caliente y longitud equivalente de todos los accesorios.

Medidas tuberías circuito primario			
Fluido caliente [m]	Fluido frio [m]	Longitud equivalente accesorios [m]	Total [m]
48.28	80.31	17,96	146.55

Tabla 18. Metros tubería circuito primario.

Utilizando la fórmula de Flamant, con referencia a tuberías de cobre y teniendo en cuenta que el fluido caloportador es una mezcla de agua y glicol, se calcula la pérdida de carga lineal de la red de tuberías del circuito primario. Hay que tener en cuenta que esta pérdida de carga lineal se trata de pérdida de presión por metro lineal y que cumple con la restricción por lo que es posible continuar con los cálculos pertinentes.

$$\Delta P_{lineal} = 1.3 \cdot 378 \cdot \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} = 4668.16$$

$$\Delta P_{lineal} = \frac{4668.16}{146.55} = 31.85 \text{ mm. c. a/m}$$

Donde:

- Q : Caudal de circulación $[m^3/s]$.
- D : Diámetro interior de tubería $[m]$.

Los resultados se muestran en la Tabla 19 incluyendo longitud de tramo recto, es decir, sin longitud equivalen de accesorios, caudal, diámetro exterior, diámetro interior, velocidad de circulación y pérdida de carga lineal por metro de tubería,

Longitud [m]	Caudal [kg/h]	Dext [mm]	Dint [mm]	Velocidad [m/s]	ΔP_{lineal} [Pa/m]
146.55	246.24	20	18	0.2117	31.85

Tabla 19. Resultados pérdida carga lineal.

Una vez calculada la pérdida de carga lineal, se calcula la pérdida total de la instalación para proceder a la elección de la bomba del circuito primario. Se calcula la pérdida de carga lineal multiplicada por los metros de tubería lineales y equivalentes, y se suman las pérdidas de cargas de los equipos, es decir, de los captadores e interacumulador.

$$\Delta P_{lineal\ TOT} = \Delta P_{lineal} * 146.55\ m = 0.3185 \frac{mbar}{m} * 146.55\ m = 46.67\ mbar$$

$$\Delta P_{CAP} = 175.2\ mm.\ c.\ a = 17.52\ mbar$$

$$\Delta P_{INTERAC} = 2.5\ mbar$$

Por tanto la pérdida de carga total de la instalación no es más que la suma de las anteriores:

$$\Delta P_{Instalación} = 66.96\ mbar = 0.6669\ m.\ c.\ a$$

2.7. Dimensionado del grupo de bombeo

Para ser capaz de realizar la elección de la bomba, es necesario conocer la presión total que debe vencer la misma, calculado en el apartado anterior, para impulsar al fluido por las tuberías de la instalación.

Debido al reglamento impuesto por IDEA, al valor de la altura manométrica a vencer por la bomba hay que añadirle un 5% adicional como medida de seguridad, por lo que el calculado queda:

$$\Delta P_{Bomba} = \Delta P_{Instalación} \cdot 1.05 = 0.6669\ m.\ c.\ a \cdot 1.05 = 0.7002\ m.\ c.\ a$$

Utilizando el catálogo técnico de la empresa GRUNDFOS, se observa que para bombas de circulación que deban impulsar este tipo de alturas con un caudal no especialmente alto existe la Figura 24, que ordena por caudal y pérdida de presión demandados los modelos de bombas. Dado que el caudal de impulsión es de $0.2395\ m^3/h$ y la altura a vencer de $0.7002\ m.\ c.\ a$, se elige el modelo UP 20-15 N, segunda franja desde el origen de coordenadas.

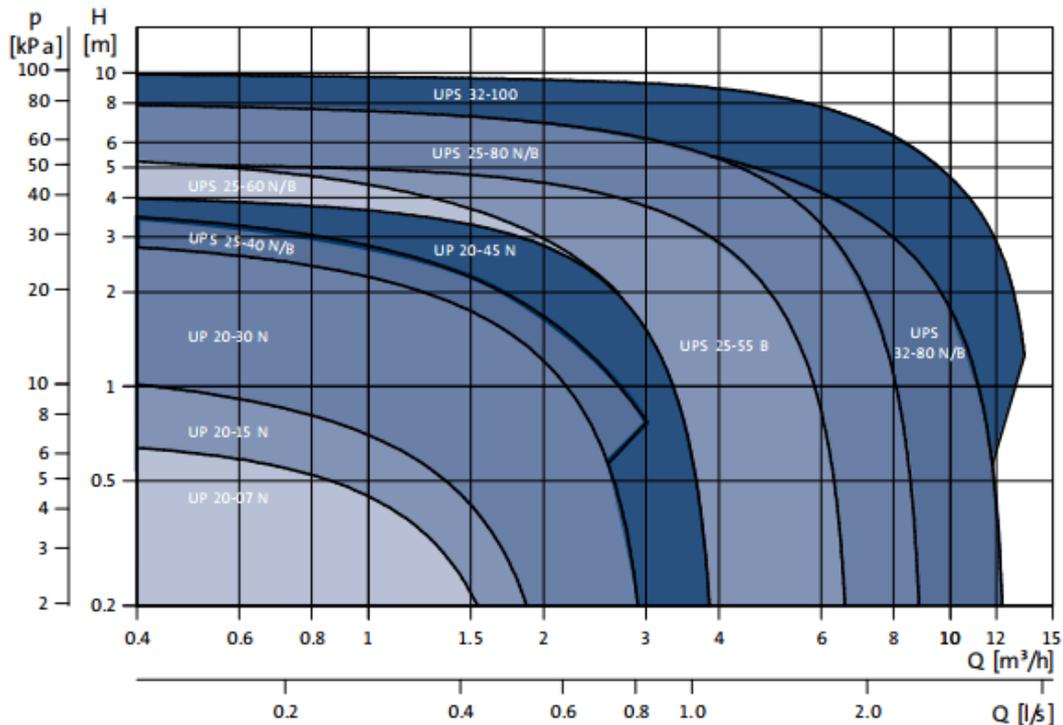


Figura 24. Elección bomba dado caudal y pérdida presión.

2.8. Dimensionado del vaso de expansión

Para el diseño del volumen del vaso de expansión necesario en la instalación se hace uso de la norma UNE-100155.

En primer lugar se calcula el volumen total de fluido caloportador del circuito primario. Se debe realizar la suma del fluido en el interior de cada captador, del fluido en las tuberías y un 10% adicional como medida de seguridad.

$$V_T = V_{\text{captadores}} + V_{\text{tuberías}} + V_{10\%}$$

$$V_{\text{captadores}} = N_{\text{captadores}} \cdot l_{\text{tubo}} \cdot N_{\text{tubos}} \cdot \pi D_{\text{int}}^2 = 24 \cdot 2.16 \cdot 8 \cdot \pi \cdot 0.018^2 = 0.416 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tuberías}} = l_{\text{tuberías}} \cdot \pi D_{\text{int}}^2 = 484.4 \text{ m} \cdot \pi \cdot 0.018^2 = 0.149 \text{ m}^3$$

$$V_{10\%} = 0.1 \cdot (V_{\text{captadores}} + V_{\text{tuberías}}) = 0.1 \cdot (0.416 + 0.149) = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$V_T = 0.416 + 0.149 + 0.0565 = 0.6215 \text{ m}^3 = 621.5 \text{ l}$$

Se calcula el coeficiente de expansión del fluido:

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

Donde T es la temperatura de paso del fluido por el vaso de expansión que se estima en 50°C.

Es importante señalar que al ser el fluido caloportador una mezcla de agua y glicol al 35%, es necesario realizar una corrección sobre el coeficiente de expansión.

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

Donde:

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

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

Siendo G representa el porcentaje en volumen que supone el glicol con el agua, es decir 35.

Por último, se calcula el coeficiente de presión del vaso de expansión con la ecuación siguiente:

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

Donde:

- P_M : Presión máxima del vaso de expansión.
- P_m : Presión mínima del vaso de expansión.

Por tanto, se obtienen los siguientes resultados:

$$C_{\text{corregido}} = f_c \cdot C_e = 0.01 \cdot 1.768 = 0.0177$$

$$C_P = 1.22$$

Ahora es posible calcular el volumen total que debe tener el vaso de expansión aplicando al volumen total las correcciones calculadas.

$$V_{EXP} = V_T \cdot C_{\text{corregido}} \cdot C_P = 621.5 \cdot 0.0177 \cdot 1.22 = 13.42 \text{ l}$$

A partir de este dato, se procede a acceder al catálogo de la empresa IBAIONDO y se ha seleccionado el vaso de expansión modelo AMF-PLUS con capacidad de 20 l horizontal, que cumple con los requisitos de la instalación y está pensado para un mantenimiento mínimo y una extensa vida útil

2.9. Cálculo del espesor de aislamiento

Es aislamiento térmico de tuberías, accesorios, equipos y depósitos del sistema viene propuesto por el RITE con el objetivo de evitar y reducir gastos de energía innecesarios. La mayoría de los espesores necesarios vienen determinados por el RITE pero en el caso de los equipos, vienen determinados en sus catálogos técnicos impuestos por el propio fabricante.

El RITE protege externamente las tuberías con el fin de aumentar su durabilidad, añadiendo revestimientos con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio u otras pinturas acrílicas.

La temperatura máxima del fluido que circula por las tuberías, el diámetro interior y la situación son los parámetros que designan el grosor mínimo de aislamiento de las mismas. En la Tabla 20 aparecen delimitados los valores del espesor de aislamiento dada la temperatura del fluido y el diámetro de la tubería por la que circula.

Al tener un diámetro exterior de 20 mm y unas temperaturas máximas de operación del entorno de los 60°C, el espesor que debe ser impuesto para las tuberías es de 25 mm.

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 20. Espesor de aislamiento en tuberías dada temperatura fluido y diámetro para interiores.

2.10. Selección de accesorios

En esta sección se consideran todos los accesorios necesarios que debe incluir la instalación para obtener un correcto y eficaz funcionamiento de la misma.

- Válvulas de retención: Se sitúa una en el grupo de bombeo del circuito primario.
- Válvulas de compuerta: Se seleccionan las de 20 mm de diámetro y se situarán en: entrada y salida del conjunto de captadores, entrada al grupo de bombeo primario, entrada y salida del interacumulador y conexión con el sistema auxiliar.
- Purgador automático: Situado a la salida del vaso de expansión y del campo solar.
- Purgador de aire: Situado a la entrada y salida de la batería de captadores.

3. Pliego de condiciones técnicas

3.1. Objeto

El presente pliego de condiciones técnicas fija los criterios generales del proyecto de la instalación de captadores solares planos para la producción de agua caliente sanitaria en la comunidad de Madrid

Se deben definir los equipos, materiales empleados y montaje de los mismos, además de las pruebas y ensayos parciales pertinentes. También se detallará el mantenimiento necesario para la instalación.

3.2. Normativa aplicable

Los materiales y tareas que constituyen la instalación deben cumplir los requisitos exigidos en los reglamentos que se citan a continuación.

- Pliego de Especificaciones Técnicas para la 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 MLBT, 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-HR).
- Norma UNE-EN 12975-1:2006. “Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares.”
- Normativa de carácter regional y local (ordenanzas).
- Además de la Normativa de carácter obligatorio mencionada anteriormente, se utilizarán otras normas como las UNE de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), normas NTE de Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo o de las Compañías suministradoras de energía eléctrica, etc. En ocasiones, a falta de normativa Española, podrán emplearse de organismos internacionales, como CER o ISO. En cualquier caso se continuará la edición más reciente de toda la normativa mencionada, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.

De igual manera, se respetarán cualesquiera otras normativas o reglamentos mencionados en el presente pliego.

3.3. Condiciones de materiales y equipos

3.3.1. Tuberías

En los distintos circuitos cerrados de la instalación podrán utilizarse tuberías de cobre, 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 (presiones y temperaturas) 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 con 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 la norma UNE 100050.

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

3.3.2. Accesorios

• Compensadores de dilatación

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

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

Los extremos del compensador serán de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chaflán de 37° o 30° y un talón de 1.6 mm cuando el diámetro nominal de la tubería sea de hasta 2" inclusive. Para tuberías de diámetro superior, las conexiones serán por medio de bridas en acero al carbono s/normas DIN 2502 o 2503, según las presiones sean de 6 y 10 o 16 kg/cm^2 . Estas bridas irán soldadas a los cuellos del compensador por los procedimientos recomendados para la soldadura de piezas en acero al carbono de espesores medios.

• Juntas

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

• Lubricante de roscas

General: no endurecer, no venenoso.

• Acoplamiento dieléctricos o latiguillos

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

• Derivaciones

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

• Codos en bombas

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

• Sombreretes

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

• Guías

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

- **Termómetros**

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

- **Manómetros**

Los manómetros serán con válvula de aguja de aislamiento en acero inoxidable, e inmersos en glicerina. Los rangos serán de al menos el 1%. Puntos de toma de precisión: se incluirán los puntos de toma con válvulas necesarios y/o indicados en planos o especificaciones.

- **Válvulas de seguridad**

Se incluirán todas las válvulas de seguridad indicadas, o necesarias (de tarado adecuado) para un funcionamiento completamente seguro y correcto de los sistemas. Durante el periodo de pruebas de la instalación se procederá al timbrado de las mismas. Las válvulas de seguridad de alivio serán de paso angular y carga por resorte. Serán adecuadas para condiciones de trabajo de 0 a 120°C y hasta 25 kg/cm^2 . Los materiales de fabricación serán bronce RG-5 para el cuerpo, vástago, tornillo de fijación, tuerca deflectora y la tobera, latón para el cabezal y obturador, acero cadmiado para el resorte y PTFE para la junta.

- **Purgadores de aire**

Cuando sea necesario, y con el fin de disponer de una instalación silenciosa y evitar formación de cámaras de aire se dispondrá la tubería con pendiente ascendente hacia la dirección del 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, 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 y 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.

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

- **Vaciados**

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

- **Conexiones a equipos**

Se dispondrán elementos de unión que permitan una fácil conexión y desconexión de los diferentes equipos y elementos de la red de tuberías, tales como latiguillos, bridas, etc., dispuestas de tal modo que no se transmitan esfuerzos de las redes de tuberías a los equipos.

3.3.3. Válvulas

- **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: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco, de capeta o de muelle (disco partido).

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

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

- **Materiales**

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

- ***Válvulas de esfera***

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

- ***Válvulas de asiento***

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

- ***Válvulas de seguridad de resorte***

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

- ***Válvulas de retención de clapeta***

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

- ***Válvulas de retención de muelle***

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

- ***Purgadores automáticos de aire***

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

3.3.4. Aislamiento

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

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

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

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

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

3.3.5. Vasos de expansión

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

- Fabricante.
- Marca.
- Modelos

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

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

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

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

3.3.6. Bombas

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

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

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

- Cuerpo en fundición o bronce. Partidos, o no, según planos. Se incluirán conexiones para cebado, venteo, drenaje y manómetros en impulsión y descarga.
- Rodete de fundición/polysulfone o bronce.

- Eje en acero inoxidable AISI 316.
- Tubo de estanqueidad en acero inoxidable.
- Cojinetes a bolas de carbono, a prueba de polvo y humedad.
- Cierres mecánicos: todas las bombas deberán de estar provistas con cierres mecánicos y separadores de sedimentos.
- Juntas torcas de EPDM.
- Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento de grupo.
- Rotor húmedo o seco, según documentos del 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, número de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.
-

3.3.7. Captadores

- **Generalidades**

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

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

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

- Material de la cubierta transparente: vidrio templado de espesor no inferior a 3mm y transmisividad mayor o igual a 0.8.
- Distancia media entre el absorbedor y la cubierta transparente no inferior a 2cm ni superior a 4cm.
- 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 realizados conforme a la norma UNE 12975. A estos efectos, es importante señalar que la función del rendimiento del captador siempre está relacionada con una superficie útil y un caudal de ensayo.

- **Modelo de captador**

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

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

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

- **Estructura soporte y sujeción del captador**

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

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

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

3.3.8. Sistema eléctrico y de control

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

Se construirá un cuadro eléctrico 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 las baterías 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 deseen, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los colectores y las zonas de estancamiento (en el caso de 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 temperaturas entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial no será inferior a 3°C .
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.
-

3.3.9. Aparatos de medida

Los sistemas de medida de temperatura, caudales y energía proporcionan información del

estado de funcionamiento de la instalación y permiten realizar la evaluación de las prestaciones energéticas de la instalación.

- **Medida de temperatura**

Las medidas de temperatura se realizarán mediante sondas, termopares, termómetros de resistencia (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 5cm del fluido.

- **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 común, máximo (durante algunos minutos), mínimo (con precisión mínima del 5%) y 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 se igual o superior a $\pm 3\%$ en todos los casos.

- **Medida de energía térmica**

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

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

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

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

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

3.3.10. Acumuladores

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

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

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

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

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

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

Al objeto de este pliego de condiciones podrá 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 37501.
- Depósitos de acero con tratamiento epoxídico.
- Depósitos de acero inoxidable de cualquier tamaño.
- Depósitos de cobre de cobre de cualquier tamaño.
- Acumuladores no metálicos que, además de soportar las condiciones extremas del circuito, resistan la acción combinada de presión y temperatura más desfavorable y este autorizada su utilización por la Administración Competente.

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

3.3.11. Intercambiadores de calor

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

- **Intercambiadores externos**

El intercambiador 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.
- 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 de acero inoxidable o cobre.

3.4. Provisión del material

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

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

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

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

3.5. Condiciones de montaje

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

3.6. Pruebas, puesta en marcha y recepción

3.6.1. General

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

El instalador se 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.

3.6.3. 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.

3.6.4. 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.

3.6.5. Pruebas de libre dilatación

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

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

3.6.6. Pruebas Finales

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

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

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

En la instalación solar se 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.

3.6.7. Ajuste 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.

3.6.8. 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.

3.6.9. 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.

3.6.10. Recepción

• Recepción provisional

El objeto de la recepción es comprobar que la instalación está de acuerdo con los servicios contratados y 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 formado 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:

- Memoria descriptiva de la instalación, en que se incluyen las bases del 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 indicado el recorrido de las conducciones y la situación de las unidades terminales.
- Una relación de todos los materiales y equipos empleados, indicando fabricante, marca, modelo y características de funcionamiento.
- Las hojas desopilativas de los resultados de las pruebas parciales y finales.
- Un manual de instrucciones de funcionamiento de los equipos principales de la instalación.

• Recepción definitiva

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

Transcurrido el plazo estipulado desde el acta de recepción, la Recepción Provisional se transformará en Recepción Definitiva. A partir de la Recepción Definitiva entrará 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 principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación.

Puede ser llevado a cabo por el usuario.

3.7.2. Mantenimiento preventivo.

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

El mantenimiento preventivo implicará operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deberían permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con área de apertura de captación inferior a $20 m^2$ y una revisión cada seis meses para instalaciones superiores a $20 m^2$.

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 realizadas, mediante el uso de un parte de mantenimiento correctivo. Es dicho parte aparecerá recogido el componente afectado, la causa aparente del problema, la acción correctiva realizada, además de la fecha y la forma del responsable de dicha acción.

4. Presupuesto

En este apartado se realizará un presupuesto desglosado de cada uno de los elementos que son necesarios para llevar a cabo la instalación de este proyecto. Se organizará por los diferentes bloques que componen dicho esquema, es decir, sistema de captación, sistema de acumulación, sistema de intercambio, sistema hidráulico y sistema de control.

4.1. Sistema de captación

Nº ORD	CONCEPTO	PRECIO UNIDAD / €	UNIDADES	PRECIO TOTAL / €
1.1	<p>Captador solar TS8 TERMICOL Área bruta: 2 m². Área del Absorbedor: 1.9 m². $F_R U_L : 3.61 W/m^2K$. $F_R (\tau\alpha)_n : 0.95$. Presión máxima de trabajo: 10 bar. Rendimiento óptico: 80.3%. Coeficiente de pérdidas k1: 3.61. Temperatura media: 50 °C.</p>	635.35	24	15240.35
1.2	<p>Soporte vertical T20MS TERMICOL Capacidad 6 unidades. Material: acero.</p>	595.5	4	2380.5
1.3	<p>Conexión batería de captadores (Batcapt) TERMICOL Contiene sistema de purga, de seguridad y de cierre con corte.</p>	109	1	109
1.4	<p>Conexiones de adaptación (Racorbat) TERMICOL Para racores de 18 mm de diámetro de rosca de gas.</p>	10	1	10
1.5	Anticongelante "Fluidosol" de 25l	180	6	1080
TOTAL				188190.75

4.2. Sistema de acumulación e intercambio

Nº ORD	CONCEPTO	PRECIO UNIDAD / €	UNIDADES	PRECIO TOTAL / €
2.1	<p>Interacumulador serie MXV modelo SB LAPESA</p> <p>Capacidad de ACS: 4000 l.</p> <p>Materiales fabricación: Acero inoxidable.</p> <p>Temperatura máxima en continuo: 90°C.</p> <p>Presión máxima depósito de ACS: 8 bar.</p> <p>Superficie de intercambio del circuito de calentamiento: 3.3 m².</p> <p>Temperatura máxima del circuito de calentamiento: 120°C.</p> <p>Presión máxima del circuito de calentamiento: 25 bar.</p> <p>Peso en vacío aproximado: 650 kg.</p> <p>Pérdidas estáticas: 245 W.</p>	2550	1	2550
TOTAL				2250

4.3. Sistema hidráulico

Nº ORD	CONCEPTO	PRECIO UNIDAD / €	UNIDADES	PRECIO TOTAL / €
3.1	<p>Bomba impulsión circuito primario GRUNDFOS modelo UP 20-15 N</p> <p>Velocidades: Fija (1-3).</p> <p>Presión máxima trabajo: 10 bar.</p>	264	1	264
3.2	<p>Vaso de expansión IBAIONDO modelo AMF-PLUS con capacidad de 20 l horizontal</p>	46.27	1	46.27
3.3	<p>Metro tubería de cobre 20 mm</p>	6.35	128.59	816.54

3.4	Aislamiento tubería cobre 20 mm, 25mm de espesor	5.42	128.59	696.96
3.5	Codo 90° de cobre 20x20	11.68	27	315.36
3.6	Curva 45° de cobre 20x20	9.55	2	19.10
3.7	Bifurcaciones derivadas 20x20x20	16.20	7	113.4
3.8	Válvula de compuerta de 20 mm	6.20	2	12.40
3.9	Válvula de retención 20 mm	42.35	12	508.2
3.10	Válvula de seguridad	52	2	104
3.11	Purgador automático	46.30	2	92.60
TOTAL				2988.83

4.4. Sistema de control

Nº ORD	CONCEPTO	PRECIO UNIDAD / €	UNIDADES	PRECIO TOTAL / €
4.1	Termómetro con vaina de -10 a 110°C	15.20	1	15.20
4.2	Manómetro con escala de regulación de 0 a 10 bar	2.20	2	4.40
4.3	Centralita solar	320	1	320
TOTAL				339.60

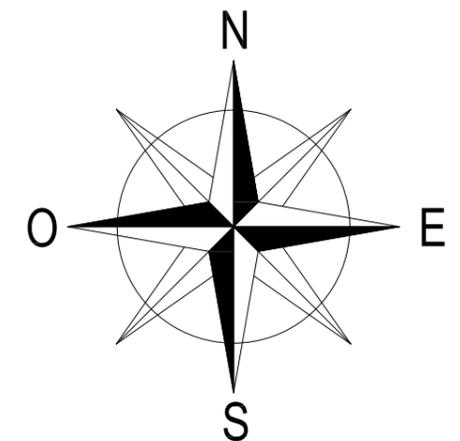
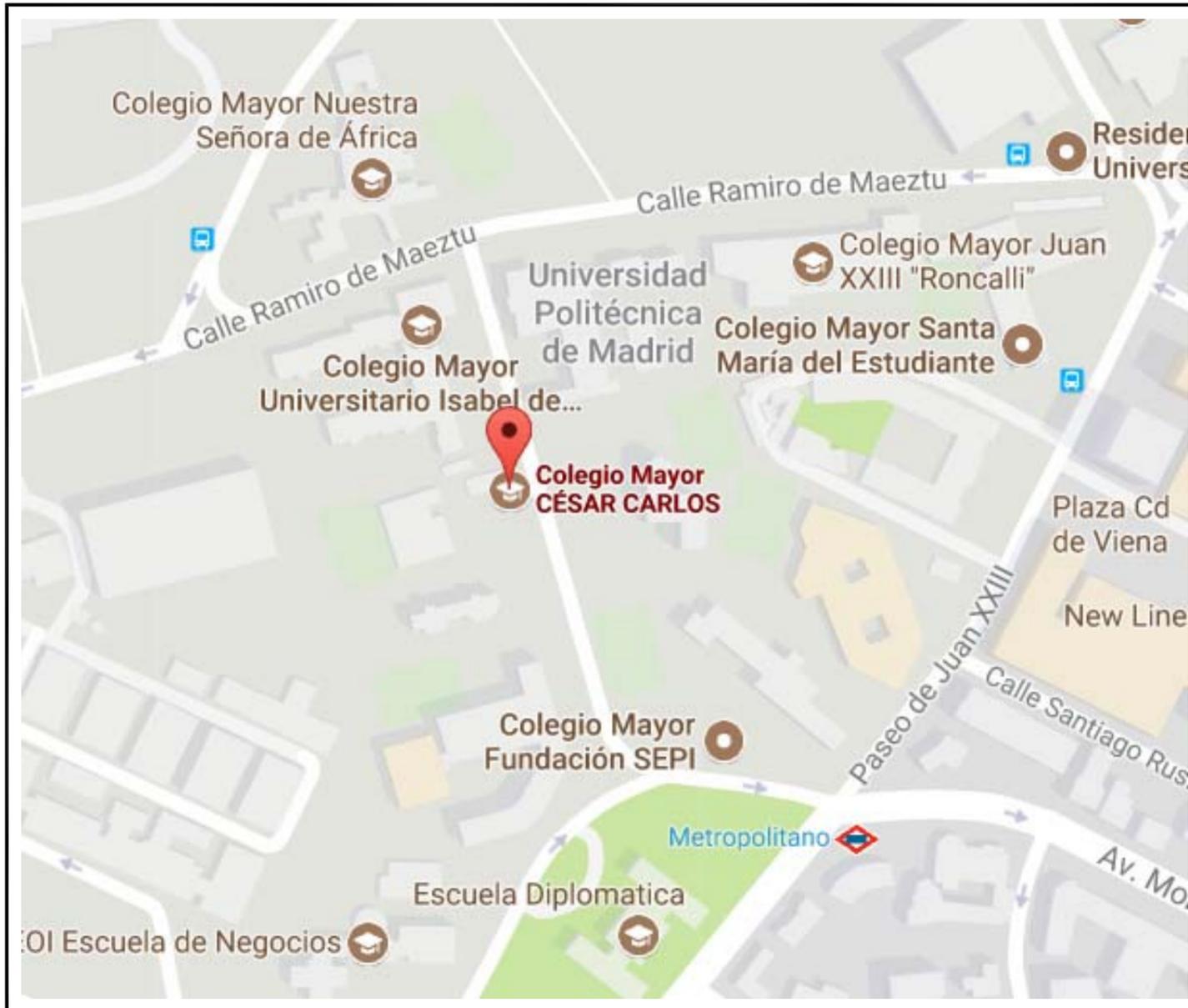
4.5. Presupuesto total de la instalación

Tipo de sistema	Precio / €
Sistema de captación	18819.75
Sistema de intercambio y acumulación	2250
Sistema hidráulico	2988.83
Sistema de control	339.60

Por último, se aplican los impuestos para conocer el coste total de la instalación:

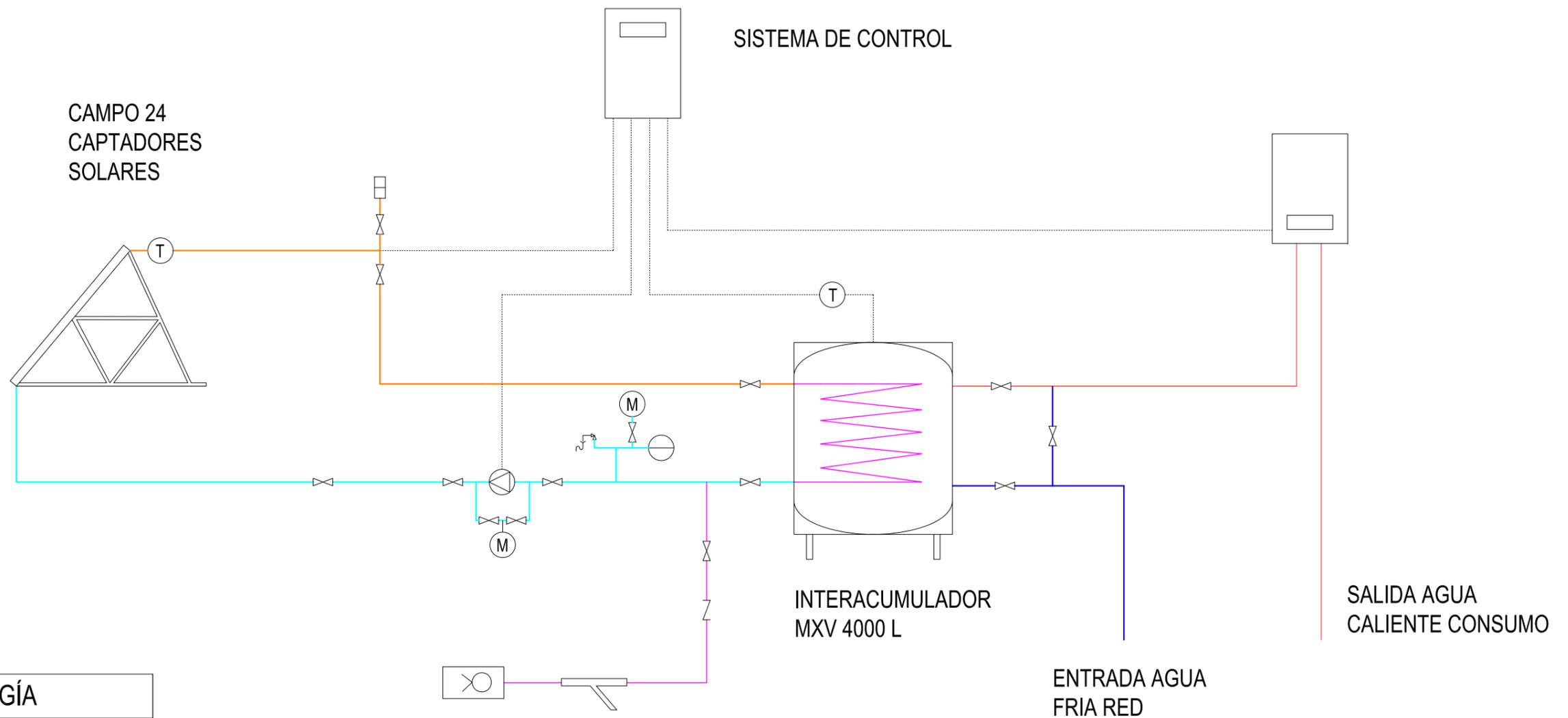
Presupuesto sin IVA	24398.53 €
IVA (21%)	5123.69 €
Presupuesto total	29522.22 €

5. Planos



COLEGIO MAYOR CESAR CARLOS. Madrid

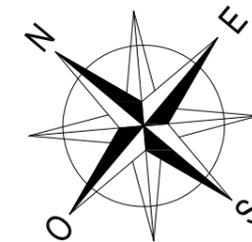
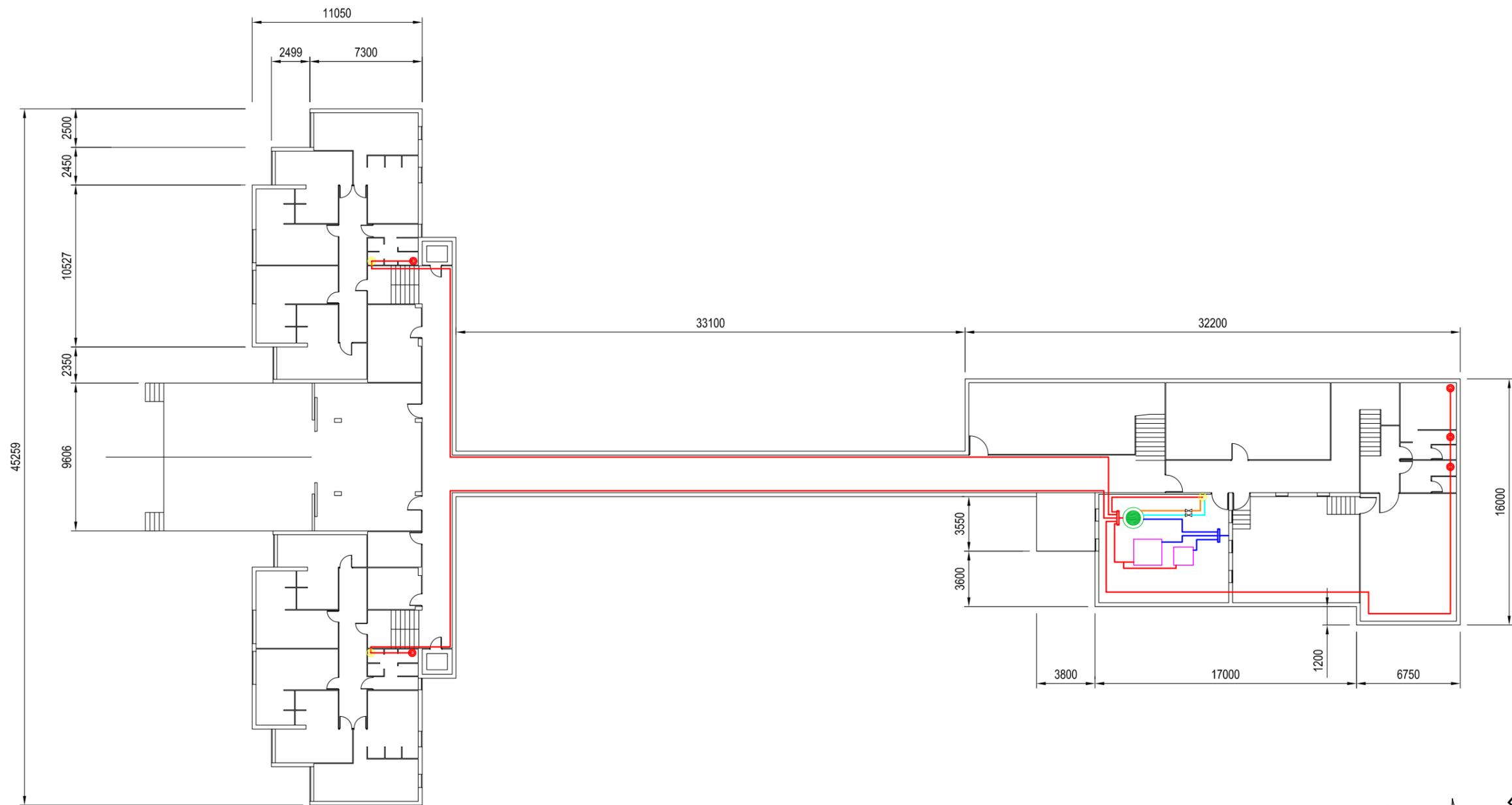
PLANO DE SITUACIÓN		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA	
AUTOR: ALBERTO BERMUDO GARCÍA	TUTOR: D. JOSÉ GUERRA MACHO	PLANO Nº 1	
		ESCALA 1:60	FECHA: 21/ 05/ 2017



SIMBOLOGÍA	
	Válvula de corte
	Válvula antirretorno
	Válvula de seguridad
	Purgador de aire
	Filtro asiento inclinado
	Grifo de llenado
	Manómetro
	Sensor de temperatura
	Bomba de circulación
	Vaso de expansión
	Interacumulador

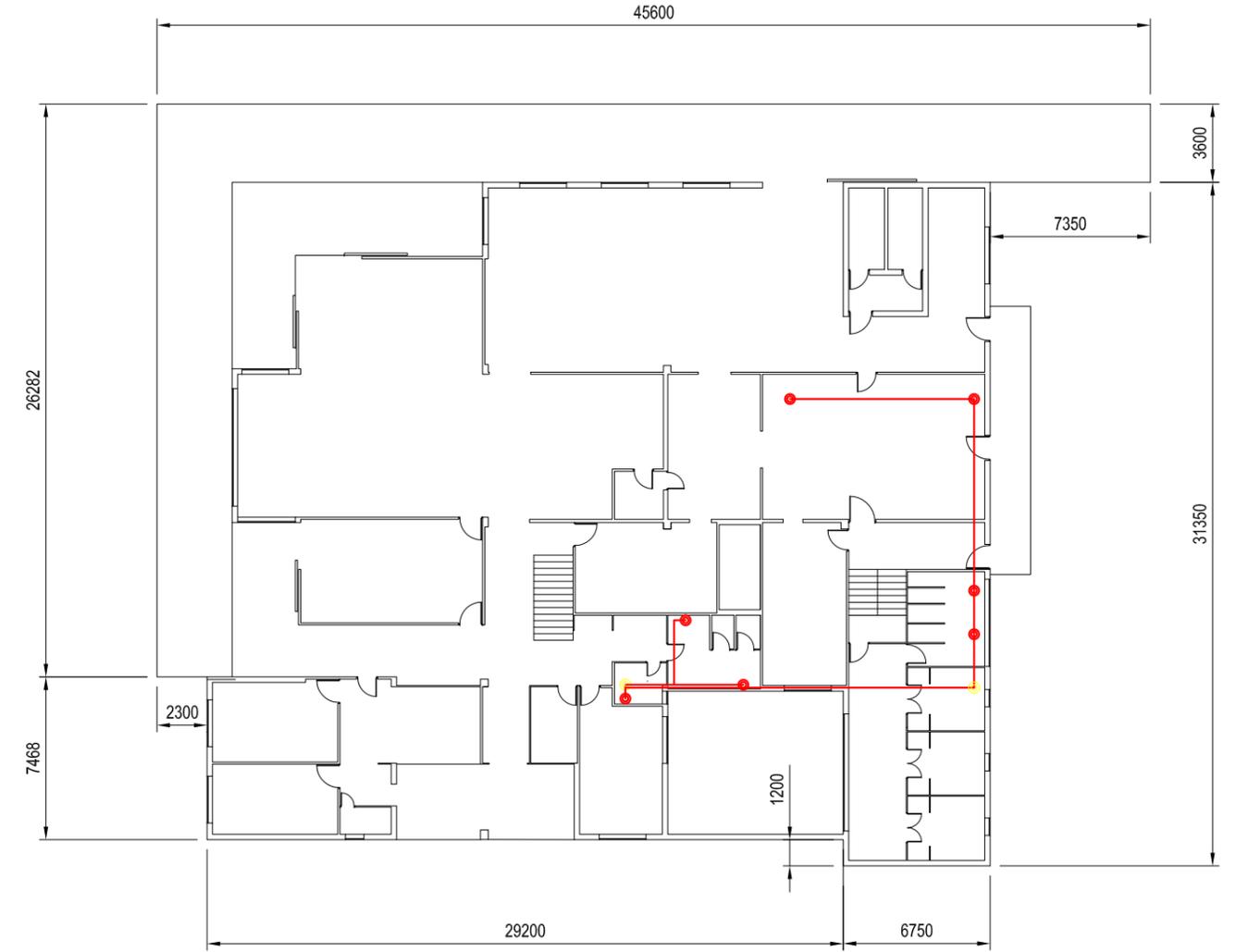
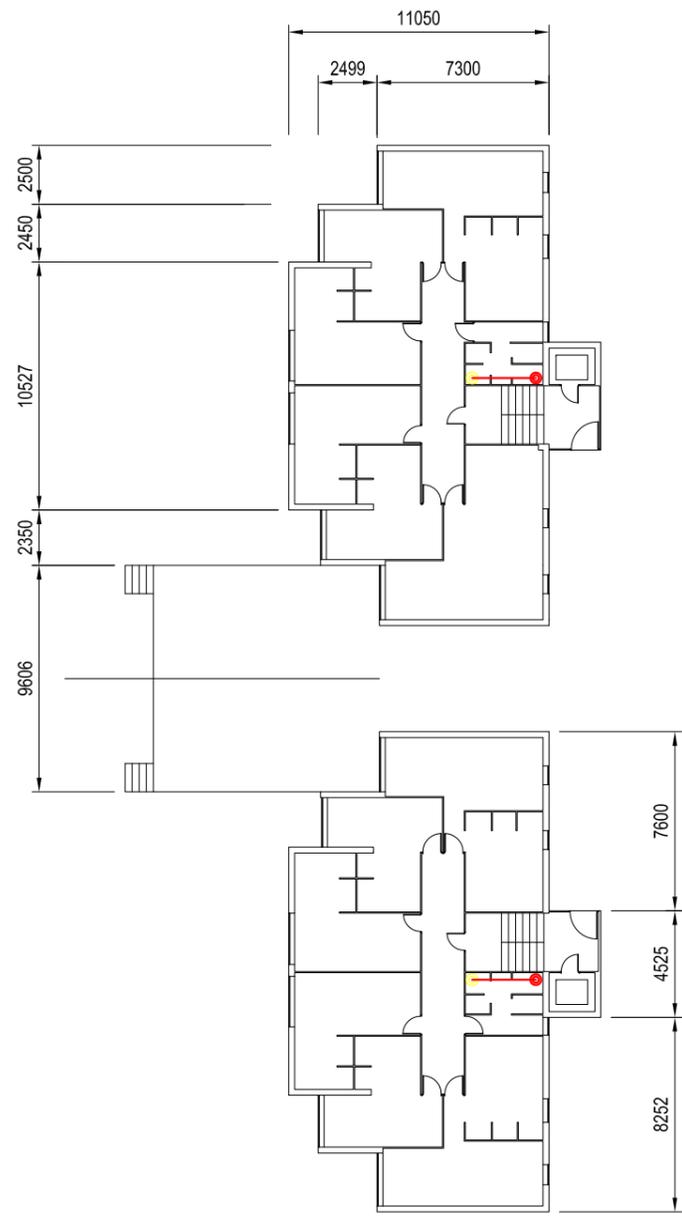
CÓDIGO DE COLORES EN TUBERÍAS	
	Agua fría de red
	C. Primario fluido frío
	C. Primario fluido caliente
	Distribución ACS
	Llenado del circuito primario

ESQUEMA DE PRINCIPIO			
AUTOR: ALBERTO BERMUDO GARCÍA	TUTOR: D. JOSÉ GUERRA MACHO	PLANO Nº 2	
		ESCALA 1:60	FECHA: 21/ 05/ 2017



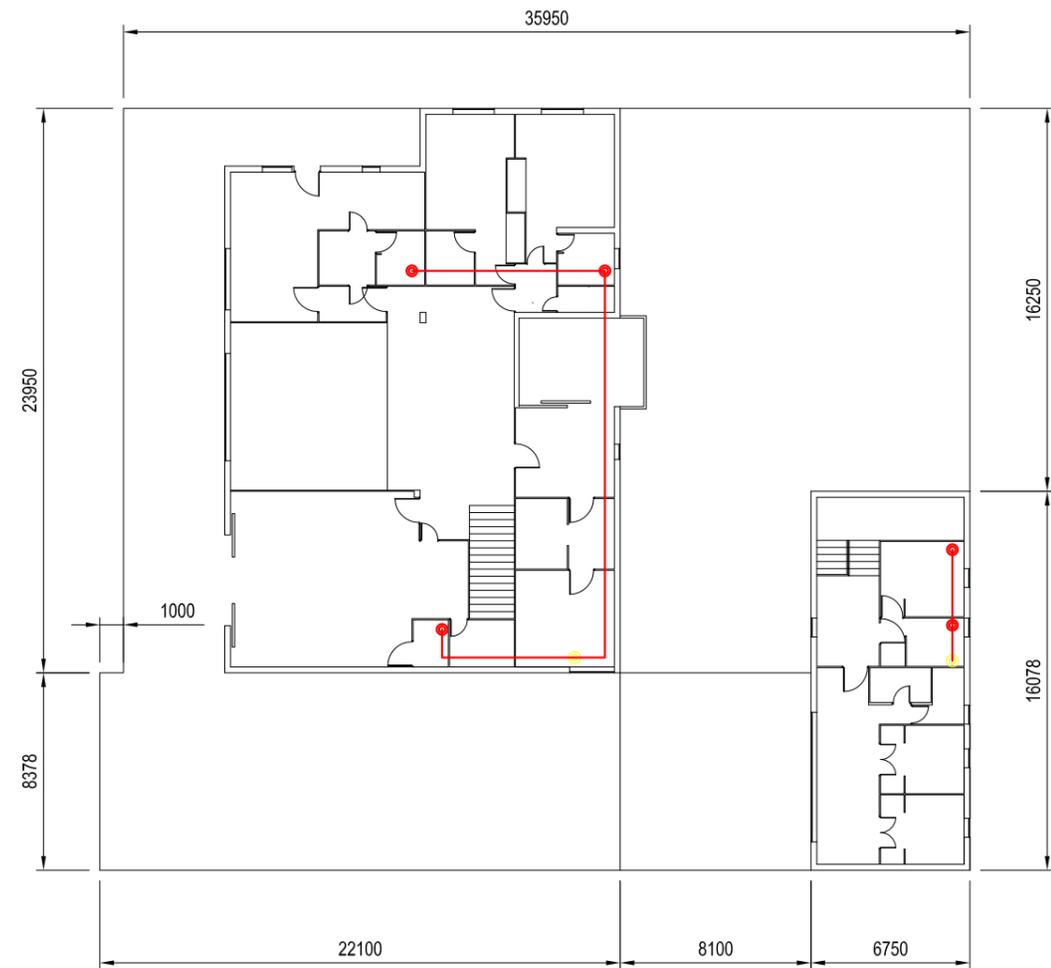
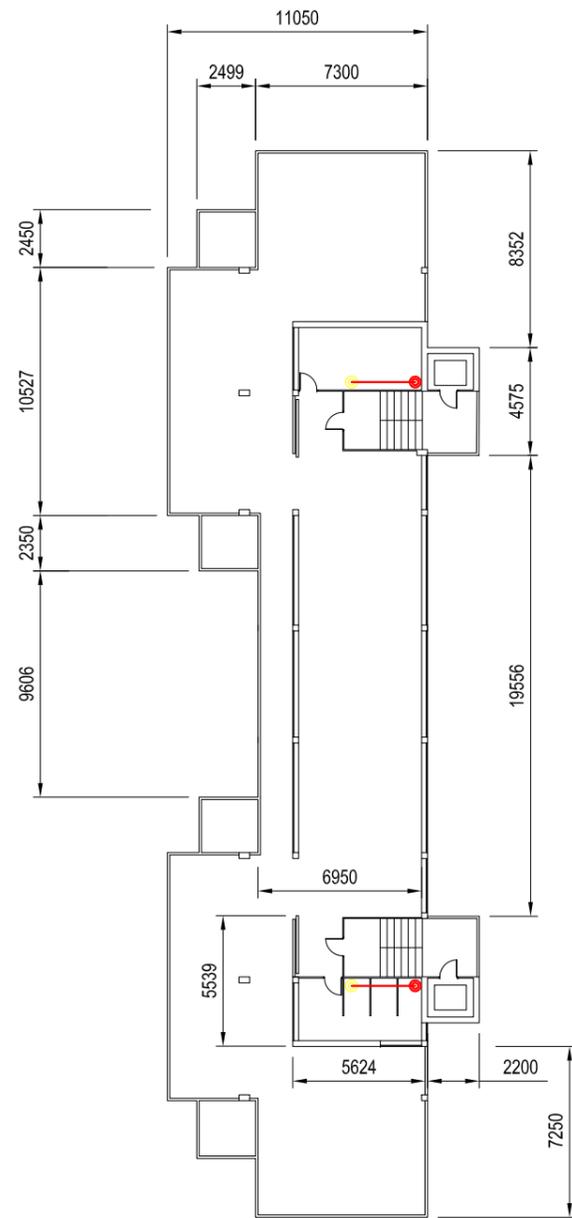
SIMBOLOGÍA			
	Columna subida/bajada		Agua fría de red
	Punto descarga agua		C. Primario fluido frio
	Interacumulador		C. Primario fluido caliente
	Válvula de corte		Distribución ACS

VISTA PLANTA SEMISÓTANO / SALA DE MÁQUINAS		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA	
AUTOR: ALBERTO BERMUDO GARCÍA	TUTOR: D. JOSÉ GUERRA MACHO	PLANO Nº 3	
		ESCALA 1:300	FECHA: 21/ 05/ 2017



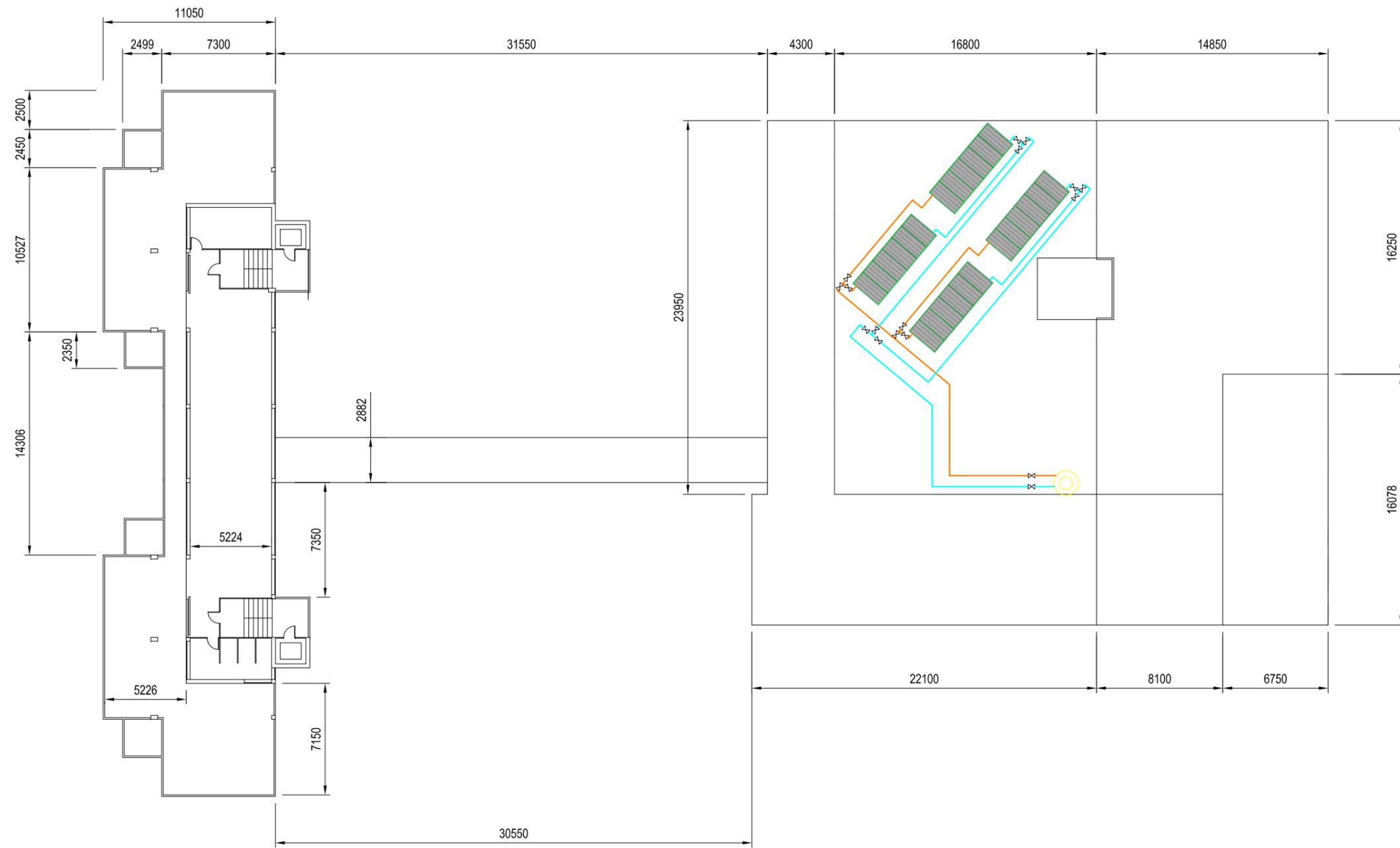
SIMBOLOGÍA	
	Columna subida/bajada
	Punto descarga agua
	Distribución ACS

VISTA PLANTA PRIMERA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA	
AUTOR: ALBERTO BERMUDO GARCÍA	TUTOR: D. JOSÉ GUERRA MACHO	PLANO Nº 4	
		ESCALA 1:300	FECHA: 21/ 05/ 2017

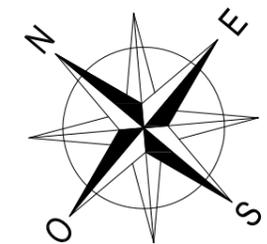


SIMBOLOGÍA	
	Columna subida/bajada
	Punto descarga agua
	Distribución ACS

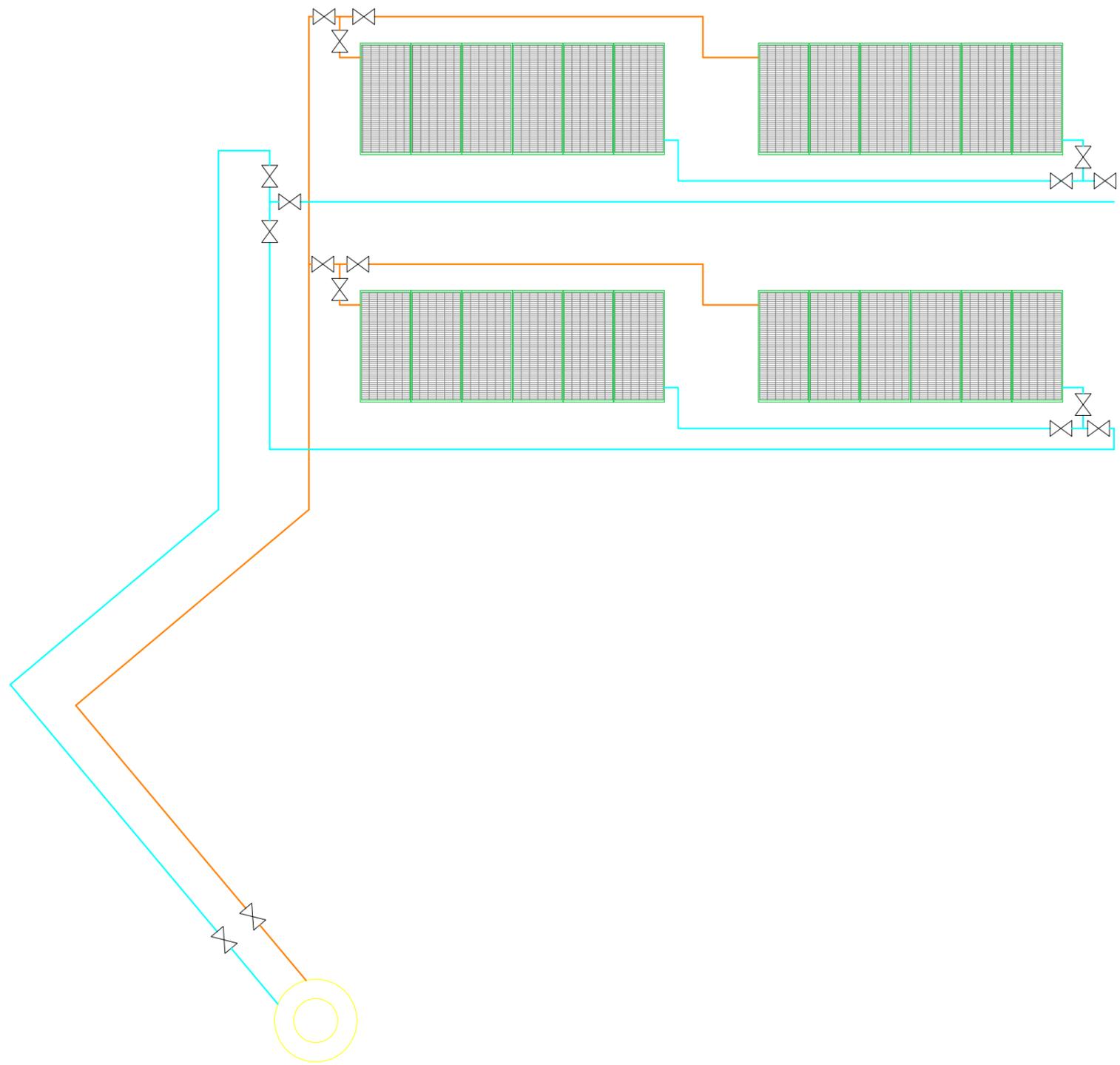
<h2>VISTA PLANTA SEGUNDA</h2>		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA	
AUTOR: ALBERTO BERMUDO GARCÍA	TUTOR: D. JOSÉ GUERRA MACHO	<h3>PLANO Nº 5</h3>	
		ESCALA 1:300	FECHA: 21/ 05/ 2017



SIMBOLOGÍA	
	Columna subida/bajada
	Distribución ACS
	C. Primario fluido frio
	C. Primario fluido caliente
	Captador Solar
	Válvula de corte

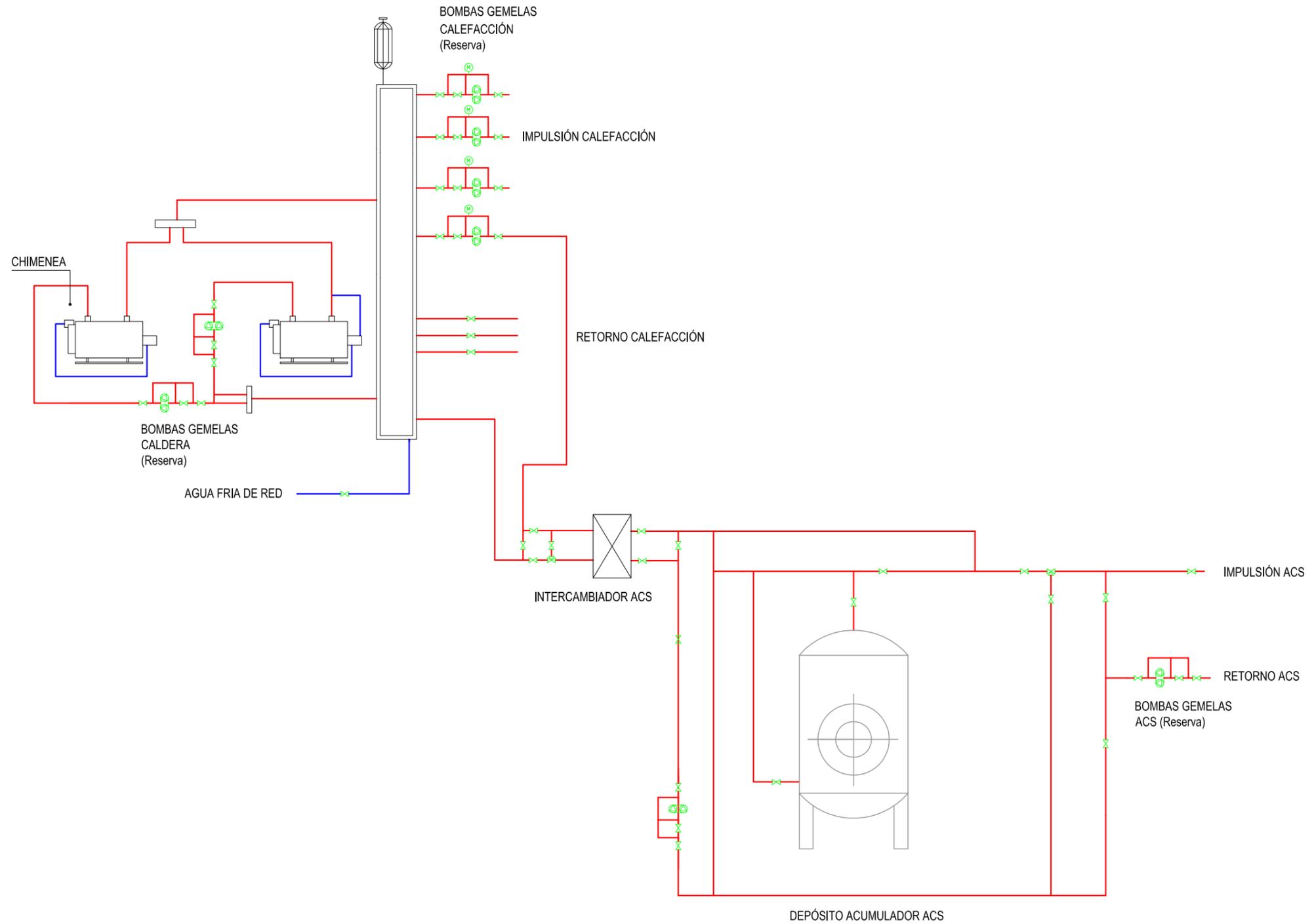


<h2>VISTA CUBIERTA</h2>		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA	
AUTOR: ALBERTO BERMUDO GARCÍA	TUTOR: D. JOSÉ GUERRA MACHO	<h3>PLANO N° 6</h3>	
		ESCALA 1:300	FECHA: 21/ 05/ 2017



SIMBOLOGÍA	
	Columna subida/bajada
	C. Primario fluido frio
	C. Primario fluido caliente
	Captador Solar
	Válvula de corte

CAMPO CAPTADORES SOLARES		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA	
AUTOR: ALBERTO BERMUDO GARCÍA	TUTOR: D. JOSÉ GUERRA MACHO	PLANO N° 7	
		ESCALA 1:100	FECHA: 21/ 05/ 2017



SIMBOLOGÍA	
	Agua fría red
	Agua caliente tratada
	Válvula de corte

<h2>SALA DE CALDERAS</h2>		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA	
AUTOR: ALBERTO BERMUDO GARCÍA	TUTOR: D. JOSÉ GUERRA MACHO	PLANO N° 8	
		ESCALA 1:60	FECHA: 21/ 05/ 2017