

Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Diseño de una instalación de energía solar térmica en
un instituto para la producción de ACS

Autor: Julia Pacheco Martínez

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Diseño de una instalación de energía solar térmica en un instituto para la producción de ACS

Autor:

Julia Pacheco Martínez

Tutor:

José Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: Diseño de una instalación de energía solar térmica en un instituto para la producción de ACS

Autor: Julia Pacheco Martínez

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis amigos

A mis profesores

Resumen

Este trabajo fin de grado consiste en el estudio y diseño de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en un instituto situado en Cádiz. A la hora de realizar el dimensionamiento de la instalación y la selección de los equipos requeridos para su correcto funcionamiento, se ha tenido presente el cumplimiento de la normativa vigente.

Además, en este proyecto queda reflejada la importancia de la energía solar térmica como energía renovable.

El documento está compuesto por cinco partes: Memoria Descriptiva, Memoria de Cálculo, Pliego de Condiciones Técnicas, Mediciones y Presupuesto, y Planos.

Índice

Resumen	9
Índice de figuras	14
Índice de tablas	16
1 MEMORIA DESCRIPTIVA	18
1.1 <i>Objeto del proyecto.</i>	18
1.2 <i>Descripción del edificio.</i>	18
1.3 <i>Energía solar.</i>	19
1.3.1 <i>Energía Solar en España.</i>	19
1.3.2 <i>Tipos de Energía Solar.</i>	20
1.4 <i>Método de cálculo.</i>	21
1.5 <i>Principio de funcionamiento de la instalación.</i>	27
1.6 <i>Elementos de la instalación.</i>	28
1.7 <i>Características técnicas de los equipos.</i>	31
1.8 <i>Normativa.</i>	36
1.8.1 <i>Cumplimiento del CTE-HE4.</i>	36
1.8.2 <i>Reglamento de las Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE).</i>	37
1.8.3 <i>Normas UNE.</i>	38
1.9 <i>Bibliografía.</i>	38
2 MEMORIA DE CÁLCULO	40
2.1 <i>Introducción</i>	40
2.2 <i>Datos de partida</i>	40
2.2.1 <i>Datos geográficos</i>	40
2.2.2 <i>Datos climatológicos</i>	40
2.3 <i>Cálculo de la demanda</i>	41
2.3.1 <i>Cálculo del consumo de agua</i>	41
2.3.2 <i>Cálculo de la demanda energética</i>	42
2.4 <i>Cálculo de la superficie de captación y volumen de acumulación</i>	43
2.4.1 <i>Fracción solar cubierta frente a número de captadores</i>	43
2.4.2 <i>Fracción solar cubierta frente a volumen de acumulación.</i>	44
2.4.3 <i>Fracción solar cubierta frente a número de captadores en serie.</i>	46
2.4.4 <i>Solución elegida.</i>	46
2.5 <i>Cálculo de la red de tuberías en el circuito primario</i>	49
2.5.1 <i>Líquido anticongelante.</i>	49
2.5.2 <i>Cálculo del caudal primario</i>	49
2.5.3 <i>Pérdida de carga en un captador</i>	50
2.5.4 <i>Pérdida de carga en el interacumulador</i>	50
2.5.5 <i>Pérdida de carga en las tuberías</i>	51
2.6 <i>Dimensionado de la bomba del circuito primario</i>	56
2.7 <i>Dimensionado del vaso de expansión del circuito primario.</i>	57
2.8 <i>Cálculo del sistema de energía auxiliar.</i>	61
2.8.1 <i>Interacumulador auxiliar</i>	61
2.8.2 <i>Caldera auxiliar</i>	63

2.8.3	Bomba auxiliar	64
2.8.4	Vaso de expansión auxiliar.	64
2.9.	<i>Cálculo de espesores de aislamiento.</i>	65
2.10.	<i>Accesorios.</i>	66
2.11.	<i>Modelo y marca central de control.</i>	67
3	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	69
3.1	<i>Objeto.</i>	69
3.2	<i>Normativa.</i>	69
3.3	<i>Condiciones de materiales y equipos.</i>	69
3.3.1	Captadores.	69
3.3.2	Acumuladores.	70
3.3.3	Vasos de expansión.	72
3.3.4	Bombas.	72
3.3.5	Tuberías.	73
3.3.6	Intercambiadores.	73
3.3.7	Aislamiento.	74
3.3.8	Válvulas.	74
3.3.9	Purga de aire.	75
3.3.10	Sistema eléctrico y de control.	75
3.3.11	Aparatos de medida.	76
3.4	<i>Provisión del material.</i>	77
3.5	<i>Condiciones de montaje.</i>	77
3.5.1	Generalidades.	77
3.5.2	Montaje de estructura soporte y captadores.	78
3.5.3	Montaje de la bomba.	79
3.5.4	Montaje de tuberías y accesorios.	79
3.5.5	Montaje del aislamiento.	80
3.5.6	Montaje de acumulador.	80
3.6	<i>Pruebas, puesta en marcha y recepción.</i>	81
3.6.1	Generalidades.	81
3.6.2	Pruebas parciales.	81
3.6.3	Pruebas finales.	82
3.6.4	Ajuste y equilibrado.	82
3.6.5	Recepción.	82
3.7	<i>Mantenimiento.</i>	83
3.7.1	Mantenimiento preventivo.	83
3.7.2	Mantenimiento correctivo.	86
3.7.3	Vigilancia.	86
4	Mediciones y Presupuesto	88
4.1	<i>Sistema de captación.</i>	88
4.2	<i>Sistema de acumulación e intercambio.</i>	88
4.3	<i>Sistema hidráulico.</i>	89
4.4	<i>Sistema auxiliar.</i>	91
4.5	<i>Sistema de control y medida.</i>	93
4.6	<i>Presupuesto total.</i>	93
5	Planos	94

Índice de figuras

Figura 1. Boceto del edificio	18
Figura 2. Potencia solar instalada en España. Fuente Wikipedia.	20
Figura 3. Localización en el CHEQ4.	22
Figura 4. Configuración en CHEQ4.	23
Figura 5. Demanda en CHEQ4.	24
Figura 6. Solar/ Apoyo en CHEQ4.	25
Figura 7. Otros parámetros en CHEQ4.	25
Figura 8. Resultados en CHEQ4.	26
Figura 9. Esquema de principio de la instalación.	27
Figura 10. Componentes captador solar plano.	29
Figura 11. Sistema de control de la instalación.	31
Figura 12. Captador solar Termicol T25MS.	32
Figura 13 Interacumulador MXV-3500- SS2B e interacumulador MXV-5000-SS2B	33
Figura 14. Interacumulador Lapesa MXV-3000-SSB	34
Figura 15. Bomba Grundfos CME10-1 A-R-A-E-AQQE	34
Figura 16. Vaso de expansión IBAIONDO 5-SMF	35
Figura 17. Zonas climáticas en España según CTE-HE4.	36
Figura 18. Demanda energética mensual del instituto.	43
Figura 19. Fracción solar frente al número de captadores.	44
Figura 20. Fracción solar frente al volumen de acumulación.	44
Figura 21. Fracción solar frente al número de captadores en serie.	46
Figura 22. Diagrama de pérdidas por orientación e inclinación.	48
Figura 23. Pérdida de carga en el interacumulador de 3500 litros.	50
Figura 24. Pérdida de carga en el interacumulador de 5000 litros.	51
Figura 25. Distribución de los tramos.	53

Índice de tablas

Tabla 1. Fracción solar mínima según la zona climática y la demanda de ACS.	36
Tabla 2. Límite de pérdidas por sombras, orientación e inclinación.	37
Tabla 3. Datos del CHEQ4 de irradiación, temperatura de red y temperatura ambiente en Cádiz.	40
Tabla 4. Demanda de referencia a 60°C en función del tipo de edificio.	41
Tabla 5. Temperatura media mensual del agua fría de red en todas las provincias andaluzas proporcionadas por UNE 94002	42
Tabla 6. Demanda energética mensual.	42
Tabla 7. Características captador solar plano.	43
Tabla 8. Solución final adoptada.	46
Tabla 9. Porcentaje de glicol en función de la temperatura de congelación.	49
Tabla 10. Diámetro elegido para cada tramo de la instalación.	52
Tabla 11. Longitud equivalente de cada accesorio en función del diámetro de la tubería.	53
Tabla 12. Accesorio en cada tramo de la red de tuberías.	54
Tabla 13. Datos y pérdida de carga de cada tramo de la red de tuberías.	55
Tabla 14. Composición circuitos de la instalación.	55
Tabla 15. Pérdida de carga en cada circuito.	56
Tabla 16. Volumen de cada tramo.	58
Tabla 17. Caudal instantáneo de ACS para cada tipo de aparato del edificio.	61
Tabla 18. Caudal instantáneo total de ACS en el edificio.	61
Tabla 19. Expresiones para el cálculo del caudal simultáneo de ACS según UNE 149201.	62
Tabla 20. Datos y pérdida de carga del circuito auxiliar.	64
Tabla 21. Espesores mínimos de aislamiento para tuberías exteriores que transportan fluidos calientes.	65
Tabla 22. Espesores mínimos de aislamiento para tuberías internas que transportan fluidos calientes.	66
Tabla 23. Mantenimiento preventivo en sistema de captación.	84
Tabla 24. Mantenimiento preventivo en sistema de acumulación.	84
Tabla 25. Mantenimiento en sistema de intercambio.	84
Tabla 26. Mantenimiento preventivo en sistema eléctrico y de control.	85
Tabla 27. Mantenimiento preventivo en sistema de energía auxiliar.	85
Tabla 28. Mantenimiento preventivo en circuito hidráulico.	85
Tabla 29. Plan de vigilancia.	86

1 MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Objeto del proyecto.

El objeto del presente proyecto es el diseño de una instalación de energía solar térmica de baja temperatura para la producción de ACS en un instituto, situado en la localidad de Cádiz.

Se calculará la demanda de agua caliente sanitaria requerida por el edificio y se obtendrán los parámetros necesarios para determinar la demanda cubierta de la instalación. Las soluciones técnicas adoptadas garantizarán que el edificio cumple con las exigencias y requisitos del Código Técnico de la Edificación (CTE) y con el Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE).

1.2 Descripción del edificio.

El edificio a tratar en trabajo consiste en el proyecto de un instituto situado en la localidad de Cádiz. El instituto consta de 2 plantas, con 6 aulas por planta y con una capacidad para 25 alumnos por planta. Además, el equipo del profesorado se estima en un total de 20 personas, por lo que la ocupación íntegra del instituto es de 320 personas.

En la planta baja, además de las aulas, se encuentran dos salas adaptadas y usadas como laboratorio, dos cuartos de baño, uno femenino y otro masculino, dos aulas de menor tamaño destinadas a las clases de apoyo y una última utilizada como secretaría. En cuanto a la segunda planta, se encuentran de igual como que en la primera dos cuartos de baño. Sin embargo, no existe ningún laboratorio, ya que existe una sala usada biblioteca y la otra está adaptada para ser la sala de máquinas.

En el patio situado en la parte posterior del edificio están instalados los vestuarios, tanto femenino como masculino.

La cubierta está orientada al sur y dividida en dos partes mediante una cubierta a dos aguas en la parte central del edificio. Cada parte de la cubierta tiene unas dimensiones de 10.2 m de ancho y 43.2 m de longitud, es decir, 440.64 m² de superficie.

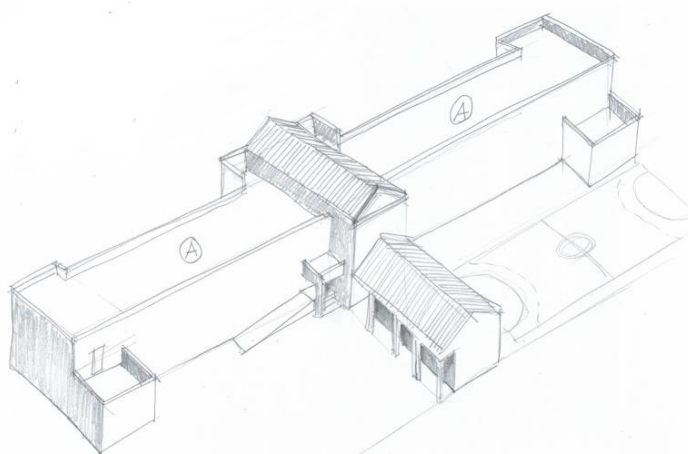


Figura 1. Boceto del edificio

1.3 Energía solar.

La energía solar es una de las energías renovables disponibles en la Tierra, la cual se considera como inagotable, ya que el Sol lleva 5 millones de años emitiendo radiación y se estima que aún le queda más de media vida por delante. Además, es una de las conocidas como energías limpias, que sirve de ayuda para resolver algunos de los problemas humanitarios actuales, siendo una posible alternativa a energías como la fósil o nuclear. De hecho, la Agencia Internacional de la Energía afirmó en 2011 que “El desarrollo de las tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países, reducirá la contaminación, disminuirá los costes de la mitigación del cambio climático y evitará la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles”.

La energía solar proviene de la radiación electromagnética que se recibe del Sol, y puede ser transformada tanto en energía térmica como en energía eléctrica, dependiendo de los dispositivos que se usen para su transformación. Para la producción de energía térmica se usan captadores solares térmicos, y para la producción de energía eléctrica se usan módulos fotovoltaicos. Cabe destacar que la radiación solar no es constante, de hecho, su potencia varía según algunos parámetros como pueden ser las condiciones atmosféricas, la latitud o el momento del día. Además, la gran mayoría de la radiación recibida por en nuestro planeta es absorbida por los océanos, las nubes, el aire y las masas de tierra. En efecto, se estima que al día llega a la Tierra 10 000 veces más energía de la que se consume. Incluso se calcula que la energía solar total recibida en un año es aproximadamente el doble a la producida por fuentes como el carbón a lo largo de toda su vida útil.

1.3.1 Energía Solar en España.

El desarrollo de la energía solar ha ido siempre ligada a la vida de las energías no renovables, en concreto de la energía fósil. En la década de 1860 hubo un gran interés en el desarrollo de las tecnologías solares ya que ahí comenzó la hipótesis de una futura ausencia de fuentes primarias para la energía fósil como puede ser el carbón. Sin embargo, dicho desarrollo fue frenado a principios del siglo XX ya que en contra de lo previsto, la disponibilidad y accesibilidad a fuentes como el carbón y el petróleo era cada vez mayor.

España se caracteriza por tener unas ideales condiciones climatológicas para la implantación y desarrollo de las energías renovables, concretamente, el sur del país tiene unas características excelentes para el aprovechamiento de la energía solar. Esto se debe en parte a las numerosas horas de sol año que hay en nuestro país, lo cual sumado a la búsqueda de una mayor independencia energética exterior, hace de España uno de los países más avanzados en Europa en cuanto a energía solar.

En cuanto a la energía solar térmica de baja temperatura, según datos de la ASIT, esta se ha desarrollado enormemente desde el año 2000, siendo la superficie total instalada en 2015 de casi cuatro millones cuadrados en todo el país. La comunidad autónoma con mayor superficie instalada es Andalucía, con un millón de metros cuadrados de superficie instalada, y esta es seguida por comunidades como Madrid, Cataluña, Valencia y Canarias.

De hecho, por su situación geográfica y sus numerosas horas de sol, Andalucía ha sido uno de los lugares pioneros en cuanto a la energía solar en Europa. De hecho, aquí fue donde se estableció uno de los primeros proyectos de energía termosolar de Europa, además, años anteriores ya había sido promotora de otras tecnologías solares a través de la Plataforma Solar de Almería. En efecto, a día de hoy es muy notable la presencia de equipos de energía solar térmica en las viviendas para el autoabastecimiento tanto de agua caliente como de climatización

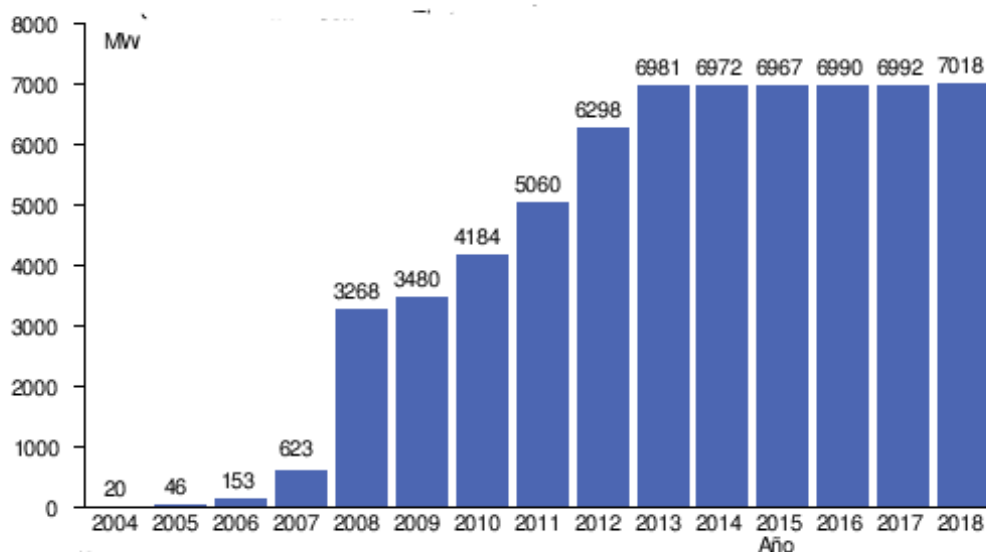


Figura 2. Potencia solar instalada en España. Fuente Wikipedia.

1.3.2 Tipos de Energía Solar.

- *Energía solar pasiva.*

Consiste en el aprovechamiento directo de la energía solar, es decir, se basa en un conjunto de técnicas que consiguen un uso o almacenamiento inmediato de la energía, sin tener que recurrir a sistemas mecánicos para su transformación. Sin embargo, dichos sistemas pueden usarse como complemento para por ejemplo la regulación.

Las técnicas comúnmente empleadas son por ejemplo, un buen diseño y orientación del edificio, ubicación adecuada o una buena elección de los materiales.

- *Energía solar térmica.*

Se trata del aprovechamiento de la energía proveniente del Sol para producir calor, generalmente esta se transfiere a un fluido calo-portador, como pueden ser el agua o el aire. Se puede emplear tanto para la producción de agua caliente sanitaria o calefacción como para cocinar alimentos.

Existen tres tipos de energía solar térmica; energía solar térmica de baja, media y alta temperatura:

La energía solar térmica de baja temperatura trabaja con temperaturas inferiores a 65°C y son propias para la producción de agua caliente sanitaria, por ello, en este proyecto se va a trabajar con este tipo de instalación. Dicha instalación está formada por captadores solares, un circuito primario y otro secundario, un intercambiador de calor, acumulador, un vaso de expansión y las tuberías destinadas al transporte. En este proyecto se utilizará un interacumulador, el cual abarca la función del intercambiador y del acumulador. En cuanto a la circulación del fluido existen dos tipos, la libre y la forzada. La circulación libre aprovecha la diferencia de densidad del agua a distintas temperaturas y funciona mediante termosifón, mientras que la circulación forzada requiere la dotación de una bomba y un sistema de control.

La energía solar térmica de media temperatura trabaja con temperaturas entre los 100 y 300 °C. Tiene una utilización minoritaria ya que únicamente aprovechan la componente directa de la radiación solar, lo cual restringe su uso a zonas de alta insolación. Las instalaciones de media temperatura se basan en la concentración de la radiación en un receptor de menor tamaño mediante el uso de espejos, como por ejemplo actúan los concentradores estacionarios y los canales parabólicos.

La energía solar de alta temperatura trabaja con temperaturas superiores a los 500°C y consiste en la transformación de la energía solar en térmica para posteriormente transformarla en energía eléctrica. Este proceso tiene lugar en centrales termosolares, donde se concentra todo el calor en un punto para generar el vapor encargado de accionar la turbina.

- *Energía solar fotovoltaica.*

Consiste en la producción de electricidad a partir de la radiación solar a través de la transformación directa de la energía solar en dispositivos semiconductores conocidos como células fotovoltaicas. Estos semiconductores se basan en el aprovechamiento de las propiedades de materiales como el Silicio, el cual se puede usar en tres subcategorías como son: monocristalino, policristalino y amorfo.

1.4 Método de cálculo.

El objetivo final es calcular el volumen de acumulación, la superficie de captación y la fracción solar de demanda cubierta de la instalación. Cabe añadir que el sistema no tiene una solución única, ya que este tiene diferentes comportamientos dependientes del tiempo.

En cuanto al método de diseño, existen dos tipos diferentes. Por un lado, están los basados en simulaciones horarias, como el programa TRNSYS, por otro lado, están los que usan correlaciones entre números adimensionales que permiten trabajar en una base de tiempo mensual, es decir un día representativo de cada mes, tales como el método f-Chart y el método CHEQ4.

El método f-Chart sirve para cálculos de sistemas de producción de agua caliente sanitaria y para calefacción, siempre y cuando la demanda de ACS sea menor que el 20% de la demanda de calefacción. En él no se utiliza un intercambiador en el circuito primario y su volumen específico de acumulación es de 75 l/m². Si algunas de estas condiciones no se cumpliesen se pasaría a la utilización de factores correctores para poder realizar los cálculos.

En este proyecto se opta por el uso del método CHEQ4 para el cálculo de los parámetros necesarios para la instalación. Esta herramienta informática contiene los datos climatológicos de toda España y está adaptada a la legislación actual, por ello, permite garantizar el cumplimiento de la fracción solar mínima de demanda cubiera exigida en el CTE.

A continuación, se mostrarán los diferentes datos que el programa va reclamando para poder realizar sus cálculos internos necesarios:


- Localización:

En la primera ventana del programa se introduce la localización de la instalación, siendo en este proyecto la localidad de Cádiz. Este dato es de suma importancia ya que las condiciones climatológicas y ambientales condicionan en gran medida el diseño de la instalación, puesto que influyen en la demanda, la ganancia y las pérdidas energéticas de esta.

En cuanto a la utilización del CHEQ4, en esta ventana únicamente hay que seleccionar la localización, introduciendo tanto la provincia como el municipio. Una vez hecho esto, el programa devuelve directamente la altura absoluta de la localidad con respecto al nivel del mar, la zona climática, su latitud y su altura de referencia. Además, al disponer de todos los datos climatológicos de cada localidad, también muestra una tabla donde aparecen la irradiación global media mensual, la temperatura media diaria mensual del agua de red y la temperatura media diaria mensual del ambiente.

CHEQ4 captadores.vas

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

ALIT 

Provincia: Cádiz Municipio: Cádiz Zona climática: Zona V Latitud: 36° 31'

Localización

Mapa provincia

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	10.0	12.0	12.8
Febrero	13.4	12.0	13.5
Marzo	18.1	13.0	14.7
Abril	22.9	14.0	16.2
Mayo	26.2	16.0	18.7
Junio	28.4	18.0	21.5
Julio	28.7	19.0	24.0
Agosto	25.6	20.0	24.5
Septiembre	20.9	19.0	23.5
Octubre	14.9	17.0	20.1
Noviembre	10.7	14.0	16.1
Diciembre	8.6	12.0	13.3
Promedio	19.0	15.5	18.2

Altura municipio seleccionado (m): 4

Altura de la instalación (m): 4

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Datos proyecto | Nuevo proyecto | Abrir proyecto | Guardar proyecto | Ayuda | Acerca de... | Salir

Figura 3. Localización en el CHEQ4.

- Configuración.

En esta ventana se da la opción de elegir el tipo de instalación que más le conviene al edificio de estudio. Dichas opciones están divididas en dos grupos, las instalaciones de consumo único y las instalaciones de consumo múltiple. En este trabajo, al tratarse de un instituto se ha optado por una instalación de consumo único con interacumulador.



Figura 4. Configuración en CHEQ4.

- ***Demanda.***


La finalidad de esta ventana es la de determinar cuál es la contribución solar mínima que debe garantizar el edificio según el HE4, cuyo valor aparece en la parte inferior de la pestaña una vez introducidos todos los datos que solicita el programa.

En primer lugar, el programa necesita calcular la demanda del edificio, y para ello el usuario debe aportar la aplicación de destino del edificio (escuela con duchas) y la ocupación (320). Cabe destacar, que para una instalación de consumo múltiple los datos a introducir serían diferentes. En segundo lugar, el programa da la opción de introducir, si existiesen, el valor de otras demandas diarias a tener en cuenta.

Por otra parte, existe una tabla llamada “Ocupación estacional”, donde se puede marcar el porcentaje de ocupación estacional mensual de la instalación. De hecho, en el edificio de estudio, al tratarse de una escuela, la ocupación durante los meses de verano es notablemente inferior a la ocupación durante la temporada escolar, la cual se ha estimado en un 20%.

CHEQ4 captadores.vas

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

RSIT 

CONSUMO ÚNICO

Aplicación: Escuela con duchas

Número de personas: 320

Demanda calculada (l/día a 60 °C): 6,720

CONSUMO MÚLTIPLE

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	0	0		
Tipo B	0	0		
Tipo C	0	0		
Tipo D	0	0		

Demanda calculada (l/día a 60 °C):

CONSUMO TOTAL

Otras demandas (l/día a 60°C): 0

Demanda total (l/día a 60°C): 6,720

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	100	100	100	100	100	100
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
20	20	100	100	100	100	100

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

Caso general FS 70%

Caso piscina FS 70%

Datos proyecto | Nuevo proyecto | Abrir proyecto | Guardar proyecto | Ayuda | Acerca de... | Salir

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura 5. Demanda en CHEQ4.

- **Solar/Apoyo:**

En esta ventana se deben detallar todos los parámetros comunes a todos los tipos de instalación, concretamente, se introducen datos referidos tanto al circuito primario como al secundario. Estos parámetros son: el tipo de captador (marca y modelo), las características del campo de captadores (número de captadores en serie, inclinación, orientación, etc), las características del circuito primario/secundario (aislante, longitud circuito, espesor aislante, etc) y por último el tipo de sistema de apoyo y su combustible.

- **Otros parámetros.**

Para el tipo de instalación elegida en esta pestaña únicamente hay que introducir el volumen de acumulación y la distribución de las tuberías situadas a partir de la sala de máquinas. El programa es capaz de calcular directamente el volumen específico.

CHEQ4 captadores.vas

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

ASIT

CAPTADORES

Empresa:

Marca/Modelo:

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

Datos de ensayo

Área (m2)	2.4
n0 (-)	0.813
a1 (W/m2K)	3.674
a2 (W/m2K2)	0.019
Qtest(l/hm2)	68.4
k50	0.85
Laboratorio	CENER
Certificación	NPS-3713

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores: Captadores en serie: Pérdidas sombras (%):

Orientación (°): Inclinación (°): Área total captadores (m2): 120.00

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO

Caudal prim.(l/h): Anticongelante (%): Long. circuito (m):

Diám. tubería (mm): Esp. aislante (mm): Aislante:

SISTEMA DE APOYO

Tipo de sistema:

Tipo de combustible:

Figura 6. Solar/ Apoyo en CHEQ4.

CHEQ4 captadores.vas

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

ASIT

VOLUMEN DE ACUMULACIÓN

Volumen total (l):

Vol/Área (l/m2): 66.67

VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES

Tipo A (l): Tipo C (l):

Tipo B (l): Tipo D (l):

Volumen total (l): 0 Vol/Área (l/m2):

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

DISTRIBUCIÓN

Long. circuito (m):

Diám.tubería (mm):

Esp. aislante (mm): T. imp.(°C):

Aislante:

DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES

Long. total (m):

Diám. tubería (mm):

Esp. aislante (mm):

Aislante:

PISCINA CUBIERTA

Altura (m): Temp. ambiente (°C):

Apertura diaria (h): Temp. piscina (°C):

Superficie lámina (m2): Renov. volumen día (%):

Humedad relativa (%): Ocupación (pers/m2):

Figura 7. Otros parámetros en CHEQ4.

- Resultados.

En esta última pestaña se exponen todos los resultados finales calculados por el CHEQ4. En primer lugar, en la parte superior izquierda se encuentra un indicador que indica si se cumple o no la normativa, es decir, si se cumple la fracción solar mínima exigida por el HE4 para la localidad elegida.

A continuación, en la Tabla de resultados se muestran por orden los siguientes resultados:

- Fracción Solar(%): Fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual.
- Demanda neta (kWh): Demanda energética anual sin tener en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución.
- Demanda bruta (kWh): Demanda energética anual teniendo en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución.
- Aportación solar al sistema (kWh): Energía solar aportada por la instalación.
- Consumo de energía primaria auxiliar (kWh): Energía aportada por la instalación auxiliar de apoyo para satisfacer la demanda total.
- Reducción de las emisiones de CO2 asociada a la utilización del sistema solar térmico (kg).
-

Además, el programa aporta una gráfica donde se representan los valores mensuales de la demanda bruta, la fracción solar, la aportación de calor y el consumo auxiliar.

Finalmente, si la instalación cumple la normativa vigente, el programa genera directamente un certificado donde se especifican todos los datos y resultados del proyecto.

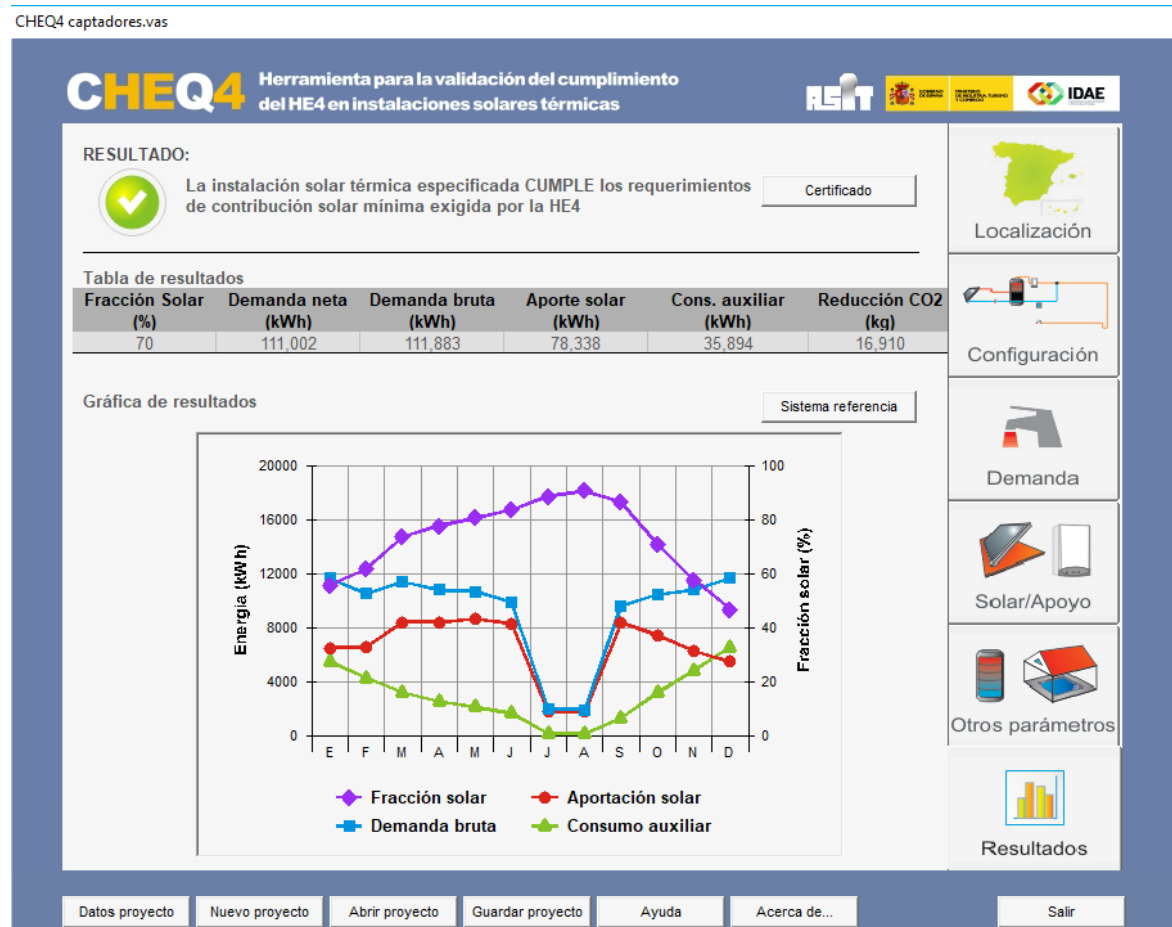


Figura 8. Resultados en CHEQ4.

1.5 Principio de funcionamiento de la instalación.

Una instalación solar térmica de baja temperatura consiste en una serie de captadores que reciben la radiación solar, es decir, energía solar que posteriormente es transformada en energía solar térmica al transferirse a un fluido caloportador. Además, parte de esta energía térmica se almacena en el sistema de acumulación, ya que es muy probable el desfase entre la producción y la demanda de dicha energía. De hecho, la instalación necesita un sistema auxiliar, es decir, un sistema de apoyo que complementa al sistema primario.

A continuación, se exponen los distintos sistemas por los que está compuesta la instalación:

- *Sistema de captación:* Compuesto por el captador solar y el fluido caloportador. En él se transfiere la energía solar al fluido en forma de energía solar térmica.
- *Sistema de intercambio:* Este sistema puede situarse tanto dentro como fuera del sistema de acumulación y consiste en el transpaso de energía desde el fluido caloportador al fluido de uso, normalmente agua, que será usada como ACS.
- *Sistema de acumulación:* Sirve para acumular el agua que va a usarse posteriormente, concretamente, consiste en un gran depósito muy bien aislado, ya que el agua debe perder la mínima temperatura posible.
- *Sistema auxiliar:* Se trata del sistema de apoyo anteriormente comentado. Está formado por una caldera convencional o un termo eléctrico y se encarga de producir el extra de energía requerida por la instalación cuando la energía solar es insuficiente para cubrir la demanda.
- *Sistema hidráulico:* Formado las bombas de la instalación, las cuales se encargan de que el fluido llegue en las condiciones óptimas a todos los puntos.
- *Sistema de control y regulación:* Controla el correcto funcionamiento de la instalación, adecuando lostiempos de funcionamiento de cada equipo y coordinando cada una de sus funciones.

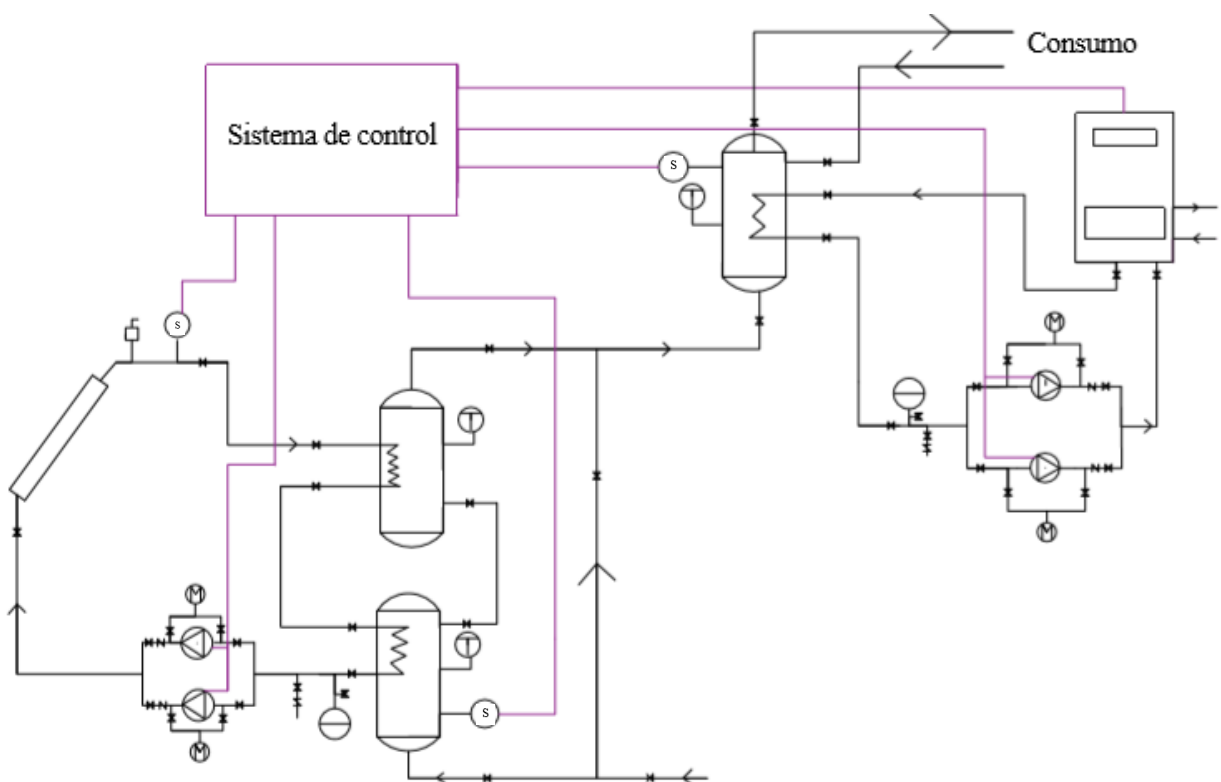


Figura 9. Esquema de principio de la instalación.

El principio de funcionamiento de la instalación puede observarse en el siguiente esquema. El sistema de captación está formado por 50 captadores colocados todos en paralelo. En estos tiene lugar el calentamiento del fluido caloportador que circula por el circuito primario. Seguidamente, este fluido se dirige al interacumulador, donde se transfiere su calor al agua de red que pasa por el mismo equipo. Tal y como se puede observar, esta instalación está compuesta por dos interacumuladores conectados en serie.

El circuito primario está controlado mediante la bomba de circulación, mediante la colocación de dos sondas situadas deliberadamente, una a la salida del campo de captadores y otra en la parte inferior de los interacumuladores, controlando la temperatura en ambas. Cuando la temperatura a la salida del campo de captadores supere en más de seis grados a la temperatura de los interacumuladores, la bomba se activará. Sin embargo, cuando la temperatura del campo de captadores supere en menos de tres grados a la temperatura de los interacumuladores, la bomba se detendrá. Además, si la temperatura de los captadores en algún momento es inferior a los 5°C, la bomba se activará para evitar congelaciones.

Antes de comenzar a distribuirse por toda la instalación para su consumo, el agua caliente pasa primero por el interacumulador auxiliar. En él se mide la temperatura del agua caliente, y si esta es inferior a los 55°C, el sistema de control actúa sobre la caldera y activa el sistema auxiliar, arrancando primero la bomba y posteriormente la caldera, para aumentar la temperatura del agua hasta la requerida. Una vez superada una temperatura de 57°C, se una actuación inversa, se detiene primero la caldera y seguidamente la bomba.

1.6 Elementos de la instalación.

1. *Captador solar plano.*

Un captador solar plano es un dispositivo capaz de captar la radiación solar y posteriormente intercambiarla, transformándola en energía térmica de baja temperatura que aumenta la temperatura del fluido caloportador contenido en su interior. Sus usos más comunes son domésticos o comerciales; calefacción, agua caliente y climatización de piscinas, fundamentalmente.

El funcionamiento del captador solar plano está compuesto por los siguientes puntos:

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

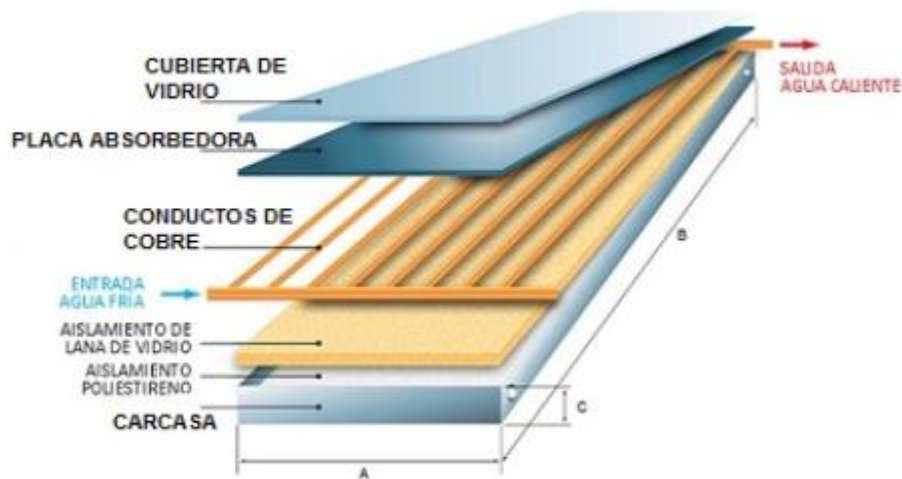


Figura 10. Componentes captador solar plano.

La radiación solar incidente en el captador solar plano puede ser parcialmente reflejada, parcialmente absorbida y la mayor parte transmitida a la superficie absorbente. En esta última, la radiación incidente puede ser a su vez reflejada o absorbida en la superficie.

2. Depósito interacumulador.

La existencia del depósito de acumulación se debe al desfase que existe entre la demanda y la radiación solar. Por ello, es necesario almacenar la energía, para así disponer de ACS cuando la radiación incidente no sea suficiente para cubrir las necesidades de demanda. Cabe destacar que con este método se consigue independizar el circuito de captación y el circuito de consumo.

Estos depósitos se cargan normalmente durante el mediodía, ya que en ese periodo de tiempo es mayor la radiación solar incidente. Cabe añadir que el depósito debe aislarse bien para mantener la temperatura del agua. Los depósitos normalmente se colocan en vertical, puesto que de esta forma se favorece la estratificación de la temperatura, provocando la separación del agua caliente y el agua fría dentro del acumulador.

El interacumulador está destinado a lo mismo que el depósito de acumulación, la principal diferencia es que el interacumulador tiene un serpentín dentro del depósito (intercambiador de calor), mientras que el depósito de acumulación tiene un intercambiador en el exterior. Salvo esta diferencia, su funcionamiento es el mismo. El serpentín tiene como función mantener el depósito a la temperatura deseada y la energía suministrada es producida por la caldera auxiliar en este caso.

El depósito de acumulación debe cumplir varios requisitos:

- Calor específico elevado del medio de acumulación.
- Buen nivel de aislamiento para reducir las pérdidas térmicas.
- Buena estratificación de temperaturas en su interior.
- Vida útil equivalente al captador solar.
- Capacidad de soportar las temperaturas y presiones de trabajo

3. Sistema de energía auxiliar, caldera:

Se requiere contar con un sistema de apoyo, ya que en ocasiones la radiación solar no es suficiente para satisfacer por sí sola la demanda.

La caldera puede ser eléctrica, convencional, de biomasa, etc. La función de la caldera es calentar el fluido, normalmente agua, que se envía al serpentín que está dentro del interacumulador para así calentar el agua del interior del depósito.

4. Sistema hidráulico:

El sistema hidráulico está compuesto por la red de tuberías y por equipos como válvulas, vaso de expansión, bombas, etc.

- Tuberías:

Estas sirven para transportar los fluidos presentes en la instalación. Hay que dimensionarlas, para ello, estas se dividen en tramos diferentes e independientes para posteriormente calcular el diámetro óptimo para cada uno de estos. El criterio a seguir para su dimensionado es el cumplimiento de las especificaciones impuestas por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE).

- Bombas:

La bomba de circulación, por su parte, es el equipo encargado de impulsar el fluido a través del sistema hidráulico, desde el interacumulador hasta los captadores solares, en instalaciones de circulación forzada, como es el caso de este proyecto. Contiene un motor eléctrico, por lo que consume energía eléctrica.

- Vasos de expansión:

Su objetivo es evitar que las altas presiones en el circuito y los problemas mecánicos. Su funcionamiento se basa en absorber las dilataciones del fluido caloportador con los cambios de temperaturas que este puede sufrir. Los vasos de expansión se colocan en todos los circuitos cerrados en los que existen cambios de temperatura y por lo tanto de densidad del fluido caloportador.

- Válvulas:

Son dispositivos cuya función es regular y controlar el fluido. Se puede afirmar que son un elemento clave en la instalación. Se distinguen varios tipos: vaciado, de corte, de retención, de seguridad, reguladora de caudal y los purgadores.

5. Sistema de control.

En la instalación hay que colocar dispositivos de control que permitan realizar mediciones de una serie de parámetros del sistema como pueden ser la presión o la temperatura. Estas mediciones llegan al sistema de control, el cual se encarga de actuar en los dispositivos correspondientes en función de los datos obtenidos.

En cuanto al sistema primario, en él se colocan dos sondas de temperatura, una a la salida de los captadores solares (SC) y otra en la parte baja del depósito de acumulación (SF). El control está programado de tal manera que si $SC > SF + 6$, el sistema dará orden a la bomba para que esta funcione, mientras que si $SC < SF + 3$, el sistema dará orden de detención a la bomba.

El objetivo es el ahorro en el consumo eléctrico de los motores que accionan las bombas de circulación y evitar que circule el fluido en horas en las que no hay radiación.

Por otra parte, este sistema garantiza que en ningún caso se superen las temperaturas máximas soportadas por los materiales y equipos de la instalación. Además, asegura que en ningún punto de esta la temperatura del fluido sea superior a la de congelación en menos de 3°C.

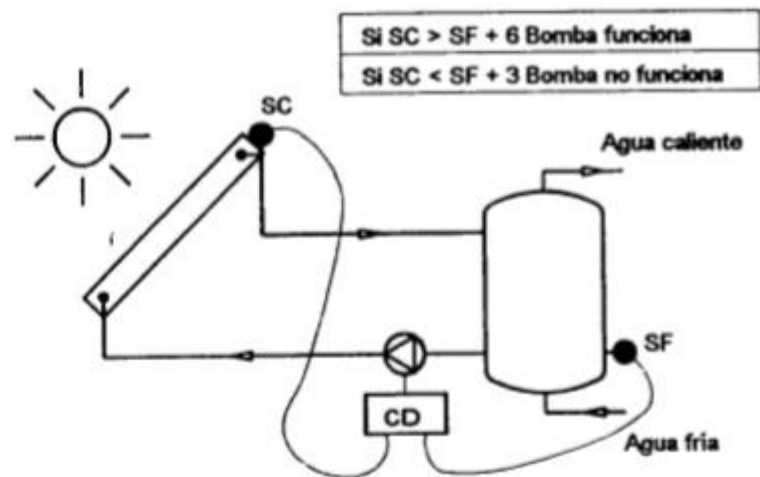


Figura 11. Sistema de control de la instalación.

El otro elemento a controlar de la instalación es el sistema de apoyo. Este se controla mediante la implantación de una sonda en el interacumulador auxiliar, el cual debe mantenerse en torno a 60°C. Una vez dicho esto, si la temperatura del depósito desciende por debajo de los 55°C, se activa la caldera poniendo en marcha el sistema auxiliar. Mientras que si la temperatura alcanza los 60°C, se detiene el funcionamiento de la caldera y del sistema auxiliar.

1.7 Características técnicas de los equipos.

1. Captador solar plano.

Los captadores solares planos elegidos son de la marca es Termicol, con modelo T25MS:

- Longitud: 2130 mm.
- Anchura: 1200 mm.
- Longitud absorbedor: 2088 mm.
- Absorbedor monobanda.
- Espesor: 83 mm.
- Área bruta: 2,55 m².
- Área neta: 2,41 m².
- Peso en vacío: 38.4 kg.
- Capacidad fluidos: 1,59 litros.
- Potencia pico: 1911 W.
- Aislamiento: Lana de vidrio
- Espesor aislamiento: 40 mm.
- Rendimiento óptico: 80%.
- Factor lineal de pérdidas K1: 3,674 W/m²K.

- Factor cuadrático de pérdidas K2: 0,019 W/m²K².
- Caudal óptimo: 40 *litros/h* * m²
- Término lineal para caída de presión: 50.796.
- Término cuadrático para caída de presión: 71.423.



Figura 12. Captador solar Termicol T25MS.

2. *Interacumuladores*

Los interacumuladores seleccionados en este proyecto para el circuito primario serán del fabricante LAPESA. Se instalarán dos depósitos de acumulación de acero inoxidable, de la serie MASTER INOX MXV, modelo SS2B, uno con una capacidad de 3500 litros y otro de 5000 litros.

Las características del interacumulador de **3500 litros** son las siguientes:

- Capacidad: 3500 litros
- Presión máxima de trabajo: 8 bar.
- Temperatura máxima de trabajo: 90°C.
- Presión máxima conjunto de serpentines: 25 bar.
- Temperatura máxima conjunto de serpentines: 120°C.
- Aislamiento térmico: poliuretano rígido inyectado en molde.
- Espesor aislamiento: 80 mm
- Instalación vertical sobre el suelo.
- Diámetro exterior: 1660 mm.
- Altura total: 2580 mm.
- Diagonal: 3068 mm.
- Superficie de intercambio: 12.8 m².
- Peso en vacío: 590 kg.

Las características del interacumulador de **5000 litros** son las siguientes:

- Capacidad: 5000 litros
- Presión máxima de trabajo: 8 bar.
- Temperatura máxima de trabajo: 90°C.
- Presión máxima conjunto de serpentines: 25 bar.
- Temperatura máxima conjunto de serpentines: 120°C.
- Aislamiento térmico: poliuretano rígido inyectado en molde.
- Espesor aislamiento: 80 mm.
- Instalación vertical sobre el suelo.
- Diámetro exterior: 1910 mm.
- Altura total: 2710 mm.
- Diagonal: 3316 mm.
- Superficie de intercambio: 15 m².
- Peso en vacío: 790 kg.

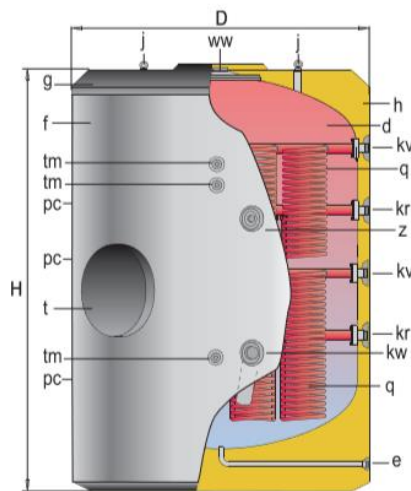


Figura 13 Interacumulador MXV-3500- SS2B e interacumulador MXV-5000-SS2B

En cuanto al sistema auxiliar, el interacumulador elegido también es de la la marca LAPESA. En este caso únicamente se necesita un intercambiador y es el de la serie MASTER INOX MXV, modelo SSB, con una capacidad de 3000 litros y las siguientes características:

- Capacidad: 3000 litros
- Presión máxima de trabajo: 8 bar.
- Temperatura máxima de trabajo: 90°C.
- Presión máxima conjunto de serpentines: 25 bar.
- Temperatura máxima conjunto de serpentines: 120°C.
- Aislamiento térmico: poliuretano rígido inyectado en molde.
- Espesor de aislamiento: 80 mm.
- Instalación vertical sobre el suelo.

- Diámetro exterior: 1660 mm.
- Altura total: 2305 mm.
- Diagonal: 2841 mm.
- Superficie conjunto de serpentines: 8.4 m^2 .
- Peso en vacío: 565 kg.

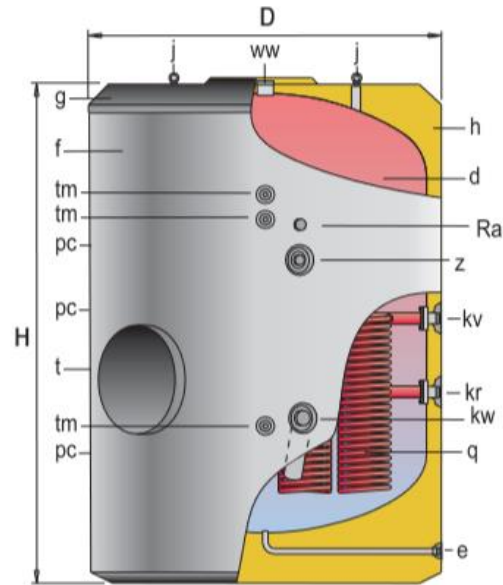


Figura 14. Interacumulador Lapesa MXV-3000-SSB

3. Bombas.

Para el circuito primario se ha elegido la bomba de la marca Grundfos y modelo CME10-1 A-R-A-E-AQQE, con las siguientes características:

- Caudal calculado: $4.82 \text{ m}^3/\text{h}$
- Altura resultante de la bomba: 64.31 kPa.
- Rango de temperaturas ambientes: $0\text{-}50^\circ\text{C}$.
- Presión máxima de trabajo: 10 bar.
- Presión de entrada máxima permitida: 10 bar
- Tensión nominal: 200-240 V.
- Peso neto: 23.5 kg.
- Peso bruto: 25.3 kg.



Figura 15. Bomba Grundfos CME10-1 A-R-A-E-AQQE

Para el sistema auxiliar se ha elegido la bomba de la marca Grundfos y modelo SQ 7-15, con las siguientes características:

- Caudal calculado: 8.631 m³/h
- Altura resultante de la bomba: 32.6 kPa.
- Rango de temperaturas ambientes: 0-50°C.
- Tensión nominal: 200-240 V.
- Peso neto: 4.7 kg.
- Peso bruto: 5.1 kg.

4. Vasos de expansión.

El vaso de expansión seleccionado tanto para el circuito primario como para el sistema auxiliar es del fabricante IBAIONDO, modelo 5-SMF, con las siguientes características:

- Presión máxima: 10 bar.
- Temperatura mínima: -10°C.
- Temperatura máxima: 100°C.
- Capacidad: 5 litros.
- Precarga: 2,5 bar.
- Diámetro: 200 mm.
- Altura: 250 mm.
- Conexión agua (R): 3/4".
- Peso: 1.6 kg.
-



Figura 16. Vaso de expansión IBAIONDO 5-SMF

1.8 Normativa.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) y un conjunto de normas UNE se encargan de regular las exigencias a cumplir por las instalaciones de energía solar térmica de baja temperatura.

1.8.1 Cumplimiento del CTE-HE4.

- *Contribución solar mínima de ACS.*

En cuanto al CTE, este establece que al tratarse de un sistema de producción de agua caliente sanitaria, esta debe cumplir el HE4 sobre la contribución solar mínima.

Para el cálculo de la fracción solar mínima que debe cumplir la instalación según la localidad en la que se encuentre se recurre a los dos siguientes gráficos proporcionados por el CTE:

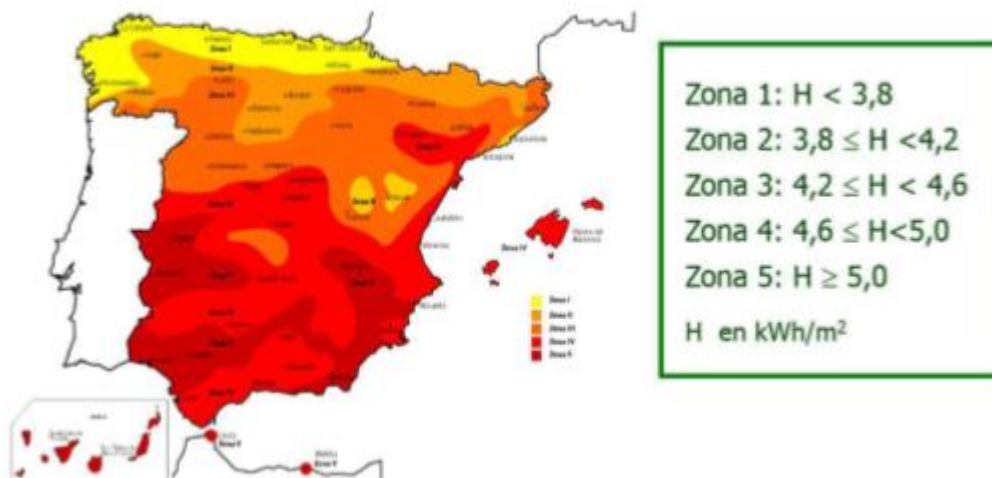


Figura 17. Zonas climáticas en España según CTE-HE4.

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. Fracción solar mínima según la zona climática y la demanda de ACS.

En el proyecto de estudio, al estar situado el instituto en Cádiz se observa que este pertenece a la zona climática V, además, sabiendo que tiene un consumo estimado en 6320 litros/día, se calcula que la contribución solar mínima que ha de garantizar la instalación es del 70%.

- *Pérdidas por orientación, inclinación y sombras.*

En la siguiente tabla se representan los límites de pérdidas por sombras, orientación e inclinación de los captadores. Cabe destacar que la orientación óptima siempre es la Sur y la inclinación depende del periodo predominante de utilización. Si la demanda anual es constante la inclinación se corresponderá con la latitud geográfica. Sin embargo, si la demanda es mayoritaria en invierno a la latitud habría que sumarle 10°, mientras que si la demanda es predominante en verano habría que restarle 10° a la latitud geográfica.

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

Tabla 2. Límite de pérdidas por sombras, orientación e inclinación.

- *Protección frente a sobrecalentamientos.*

Existen dos normas fundamentales, por una parte, no se puede superar el 110% de la demanda energética ningún mes del año, al igual que esta no puede el 100% en más de tres meses. De igual modo, no se tendrán en cuenta los meses en los que la demanda sea inferior en un 50% o más a la media correspondiente al resto del año. Tanto si esto último ocurriese, como si algún mes del año la contribución solar superase el 100%, se pasarían a tomar las medidas necesarias especificadas en el apartado 2.2.2 del HE4-CTE.

- *Sistema de acumulación solar.*

El volumen del sistema de acumulación se calcula de forma que se prevea una acumulación acorde a la demanda del edificio. Para sistemas de ACS, el área total de captadores debe cumplir la siguiente expresión especificada en el apartado 2.2.5 del HE4- CTE:

$$50 < V/A < 180$$

Donde,

A: suma de las áreas de los captadores m².

V: volumen de acumulación solar, litros.

- *Sistemas de medida de energía suministrada.*

En el apartado 2.2.4 del HE4-CTE se dice que el sistema de control debe garantizar que el usuario pueda comprobar de forma directa, inequívoca y visual el correcto funcionamiento de la instalación. Además, las instalaciones deben tener un sistema de llenado ya sea manual o automático que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado.

1.8.2 Reglamento de las Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE).

Las diferentes secciones del RITE que afectan a la instalación de este proyecto son las siguientes:

- *Preparación de agua caliente para uso sanitario (IT 1.1.4.3.1):* El agua caliente para usos sanitarios se preparará a la temperatura mínima que resulte compatible con su uso considerando las pérdidas en la red de distribución. Al tratarse de un edificio sanitario público, se ha tenido en cuenta los criterios de la “Guía para la prevención y control de la legionelosis en instalaciones térmicas” del Ministerio de Sanidad. De esta forma la temperatura de almacenamiento final del agua caliente no se situará nunca por debajo de los 60°C para evitar la proliferación de la bacteria. Además, el sistema de calentamiento de la instalación, ya sea únicamente el sistema solar o ayudándose con el auxiliar, será capaz de llevar la temperatura del agua hasta los 70°C de forma periódica para su desinfección

- *Aislamiento térmico de redes de tuberías (IT 1.2.4.2.1)*: Todas las tuberías, accesorios y equipos de la instalación estarán aislados térmicamente. Así se evitan consumos energéticos superfluos y los fluidos caloportadores llegan a las unidades terminales con una temperatura próxima a la de salida de producción. Para evitar la congelación del agua en tuberías expuestas a temperaturas menores que la de su punto de fusión se recurre al empleo de una mezcla de agua con anticongelante.
- *Sistemas de distribución de agua (IT 2.3.3)*: Los diferentes ramales del subsistema solar primario están conectados de forma que el circuito queda equilibrado hidráulicamente con retorno invertido.
- *Control automático (IT 2.3.4)*: Los sistemas de control del sistema solar aparecen descritos en el apartado 1.4.6. del presente documento, los cuales cumplen con los requisitos exigibles por la norma: control y limitación de la temperatura.
- *Medición (IT 1.3.4.4.5)*: La instalación dispone de la instrumentación de medida suficiente para la supervisión de las magnitudes que intervienen de forma fundamental en el funcionamiento de la misma: presión y temperatura. Esta instrumentación se basa en termómetros, termostatos y manómetros
- *Contribución de calor renovable o residual para la producción térmica del edificio (IT 1.2.4.6.1)*: En los edificios nuevos o sometidos a reforma, con previsión de demanda térmica una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirán mediante la incorporación de sistemas de aprovechamiento de calor renovable o residual. Las fuentes de calor renovable y residual pueden estar integradas en la propia generación térmica del edificio o ser accesibles a través de una red de distribución de energía térmica de distrito.

1.8.3 Normas UNE.

- UNE 94002: Rige el cálculo de la demanda de energía térmica en instalaciones solares térmicas para producción de ACS.
- UNE 100155: Trata sobre el método de diseño y el cálculo de los sistemas de expansión.
- UNE 94003: Abarca todos los datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas.

1.9 Bibliografía.

- Código Técnico de la Edificación (CTE), apartado HE-4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”.
- AENOR, Norma UNE 100155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” 2004.
- AENOR, Norma UNE 94002 “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria” 2005.
- AENOR, Norma UNE 94003 “Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones térmicas” 2007.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE) “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura” 2009.
- Manual de usuario de la herramienta informática CHEQ4 (cheq4.idae.es).
- Departamento de Ingeniería Energética, ETSI de la Universidad de Sevilla, Documentación de la asignatura Energía Solar.
- Departamento de Ingeniería Energética, ETSI de la Universidad de Sevilla, Documentación de la asignatura Instalaciones Térmicas de la Edificación.
- Información sobre la energía solar (solar-energía.net).
- Información sobre la energía solar
(https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_en_Espa%C3%B1a).

- Información sobre la energía solar en Andalucía (<https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/la-energia-solar-en-andalucia>).
- Trabajo Fin de Grado de Carlos Argudo Navea, “Diseño de una instalación de energía solar para producción de ACS en un polideportivo”.
- Trabajo Fin de Grado de Genaro Juan Gil Martínez, “Diseño de una instalación solar en un hotel para la producción de ACS”.
- Trabajo Fin de Grado de Genaro Jesús Fernández Domínguez, “Diseño de una instalación de energía solar térmica de baja temperatura en un albergue juvenil”.

2 MEMORIA DE CÁLCULO

2.1 Introducción

En esta parte del trabajo quedan reflejados los pasos y los cálculos requeridos para realizar el dimensionado de la instalación de energía solar térmica en el instituto, respetando en el desarrollo de estos la normativa vigente.

2.2 Datos de partida

2.2.1 Datos geográficos

El edificio que se va a tratar es un instituto situado en la provincia de Cádiz, concretamente este se encuentra en la capital y orientado al sur, con los siguientes datos geográficos:

- Altitud: 4 m
- Latitud: 36° 29'
- Zona climática: IV

2.2.2 Datos climatológicos

A través del software CHEQ4 se ha realizado la siguiente tabla. En ella quedan reflejados datos como la radiación solar incidente, la temperatura del agua de red y la temperatura ambiente, estando todos ellos referidos a la localidad de Cádiz y distribuidos según los meses del año.

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	10.0	12.0	12.8
Febrero	13.4	12.0	13.5
Marzo	18.1	13.0	14.7
Abril	22.9	14.0	16.2
Mayo	26.2	16.0	18.7
Junio	28.4	18.0	21.5
Julio	28.7	19.0	24.0
Agosto	25.6	20.0	24.5
Septiembre	20.9	19.0	23.5
Octubre	14.9	17.0	20.1
Noviembre	10.7	14.0	16.1
Diciembre	8.6	12.0	13.3
Promedio	19.0	15.5	18.2

Tabla 3. Datos del CHEQ4 de irradiación, temperatura de red y temperatura ambiente en Cádiz.

2.3. Cálculo de la demanda

Para obtener el valor de la demanda energética de ACS mensual es necesario calcular previamente el consumo de agua del instituto.

2.3.1 Cálculo del consumo de agua

Para este apartado se hace uso del apartado 4 del Código Técnico de la Edificación, donde se encuentra la siguiente tabla, en la que se especifica el consumo diario por persona de agua a 60° según el tipo de edificio:

Criterio de demanda	Litros/día-unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Los valores de demanda ofrecidos en esta tabla tienen la función de determinar la fracción solar mínima a abastecer mediante la aplicación de la tabla 2.1. Las demandas de ACS a 60 °C se han obtenido de la norma UNE 94002. Para el cálculo se ha utilizado la ecuación (3.2.) con los valores de $T_i = 12$ °C (constante) y $T = 45$ °C.

Tabla 4. Demanda de referencia a 60°C en función del tipo de edificio.

El edificio tratado en este proyecto es un instituto dotado de duchas en los vestuarios, por lo que de la tabla se obtiene que el consumo diario de ACS se toma como 21 L/día por persona. El instituto tiene una capacidad de 25 alumnos por aula y un profesorado compuesto por 20 docentes, siendo su ocupación total de 320 personas.

Finalmente, se considera el siguiente consumo diario máximo de ACS:

$$M_{ACS} = 320 \text{ personas} * 21 \frac{L}{\text{día} * \text{persona}} = 6720 \text{ litros}$$

2.3.2 Cálculo de la demanda energética

Para el cálculo de la demanda energética se hace uso de la siguiente ecuación:

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

L_{ACS} : Demanda energética J/mes

ρ_a : Densidad del agua 1kg/litro

M_{ACS} : Consumo diario máximo de agua litros/día

C_p : Calor específico del agua 4190 J/kgK

T_{ac} : Temperatura de agua caliente de referencia 60°C

N: número de días del mes

T_{af} : Temperatura de agua fría de red, con valores fijados por la norma UNE 94002 para cada localidad como se puede observar en la siguiente tabla:

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

Tabla 5. Temperatura media mensual del agua fría de red en todas las provincias andaluzas proporcionadas por UNE 94002

De este modo, haciendo uso de la expresión anterior y de los valores de temperatura de agua fría de red para la localidad de Cádiz tomados de la tabla precedente, se puede obtener la demanda energética para cada mes.

Mes	Taf (°C)	N (días)	Lacs (MJ)
Enero	12	31	41897.32
Febrero	12	28	37842.74
Marzo	13	31	41024.46
Abril	14	30	38856.38
Mayo	16	31	38405.88
Junio	18	30	35477.57
Julio	19	31	35787.29
Agosto	20	31	34914.43
Septiembre	19	30	34632.86
Octubre	17	31	37533.01
Noviembre	14	30	38856.38
Diciembre	12	31	41897.32
TOTAL			457125.64

Tabla 6. Demanda energética mensual.

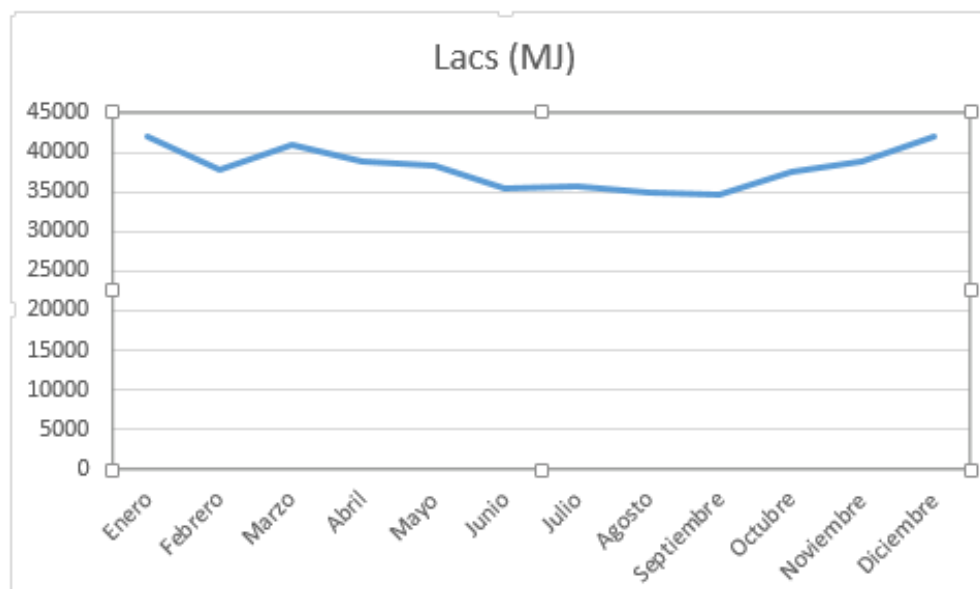


Figura 18. Demanda energética mensual del instituto.

2.4. Cálculo de la superficie de captación y volumen de acumulación

En este apartado se realiza un estudio para determinar la cantidad de captadores solares y la disposición de estos que hay que instalar en la cubierta del edificio para garantizar la fracción mínima exigida de demanda cubierta por energía solar. Dicha fracción mínima exigida viene detallada en el apartado HE-4 del CTE, teniendo un valor del 70 % para la localidad de Cádiz.

Las gráficas que hay a continuación están basadas en datos proporcionados por el software CHEQ 4 para una instalación de consumo único con un interacumulador.

2.4.1 Fracción solar cubierta frente a número de captadores

Captador solar plano T25MS Termicol	
Área	2.41 m ²
Orientación	0°
Inclinación	36°
FR($\tau\alpha$)	3.577
FR(UL)	0.019
Factor óptico	0.792

Tabla 7. Características captador solar plano.

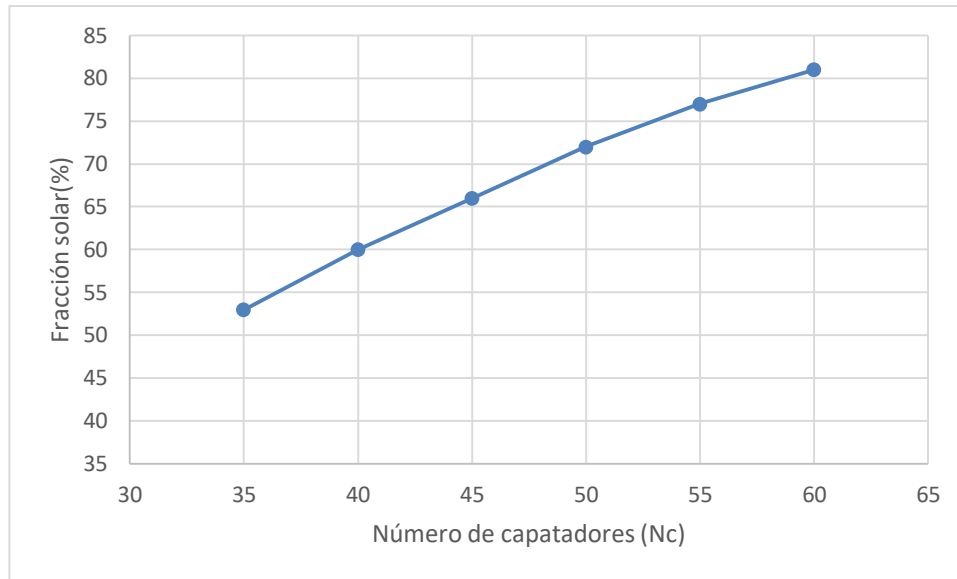


Figura 19. Fracción solar frente al número de captadores.

Cabe destacar que la gráfica anterior se ha elaborado fijando el valor del volumen de acumulación específico en 75 litros/m². En ella, se observa cómo a medida que aumenta el número de captadores aumenta a su vez la fracción solar de demanda cubierta casi de manera proporcional. Este hecho se debe a que a mayor número de captadores mayor será el área de captación.

Sabiendo que el CTE exige una fracción solar mayor o igual al 70%, se saca de la gráfica que el número mínimo de captadores que cumple dicha restricción es de 48.

2.4.2 Fracción solar cubierta frente a volumen de acumulación.

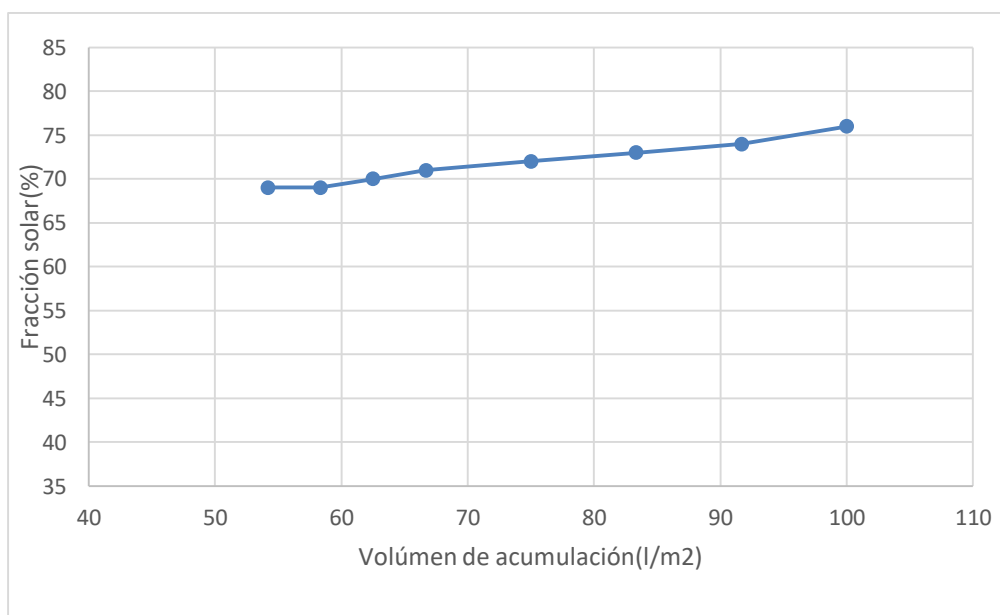


Figura 20. Fracción solar frente al volumen de acumulación.

Se han elegido un total de 50 captadores, ya que cómo se comentó anteriormente, para un número mayor de 48 captadores se cumple la fracción solar de demanda cubierta. Con dicho valor fijado, en la gráfica precedente se observa que a raíz que aumenta el volumen específico aumenta la fracción solar pero muy lentamente, es decir, con una actuación prácticamente insignificante.

Al igual que en el apartado anterior, se busca un volumen de acumulación que supere o iguale el 70% de la demanda cubierta por energía solar, siendo el valor límite de dicho volumen 62.5 litros/m².

En este proyecto finalmente se ha optado por elegir un volumen específico de 66.67 litros/m².

En cuanto al valor del volumen de acumulación, este se debe calcular teniendo en cuenta la energía que aporta diariamente, ya que se tiene que garantizar una acumulación de acuerdo con la demanda energética de la instalación al no producirse esta al mismo tiempo que la generación. Este aspecto queda expuesto en el apartado 2.2.5 en el DB-HE4 del CTE.

Además, es de obligado cumplimiento la siguiente expresión:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

Siendo:

V: Volumen de acumulación del depósito (litros)

A: Área total de la superficie de captación (m²)

El volumen específico elegido para este proyecto es de 66.67 litros/m², por lo que cumple la expresión anterior y con ello el CTE.

$$50 < 66.67 < 180$$

Por otra parte, la plataforma del CHEQ4 aporta directamente el volumen de acumulación que debe de tener el sistema para que se cumpla la normativa, siendo de 8000 litros para el volumen específico elegido.

Para la elección del interacumulador se ha elegido la marca Lapesa, sin embargo, en su catálogo no existe ningún interacumulador con una capacidad igual o mayor a 8000 litros. De hecho, el interacumulador de mayor volumen tiene una capacidad de 6000 litros. Por ello, se ha optado por poner dos interacumuladores en serie, uno de 3500 litros y otro de 5000 litros, ambos de la serie MASTER INOX y modelos MXV-SS2B.

Estos interacumuladores deben cumplir unas condiciones además de garantizar el volumen de acumulación requerido. Por una parte, las dimensiones de estos deben ser compatibles con las dimensiones de la sala de máquinas, tanto la altura como el diámetro.

Por otra parte, el CTE-HE4 exige que la relación entre la superficie de intercambio de los interacumuladores y la superficie de captación sea igual o mayor a 0.15

$$\frac{\text{superficie útil de intercambio}}{\text{superficie de captación}} \geq 0.15$$

Las superficies de intercambio de los interacumuladores elegidos son de 12.4 m² para el de menor volumen y de 15 m² para el mayor, teniendo un total de 27.4 m² y por lo tanto cumpliendo la normativa al ser la relación:

$$\frac{27.4}{120.5} \geq 0.227$$

2.4.3 Fracción solar cubierta frente a número de captadores en serie.

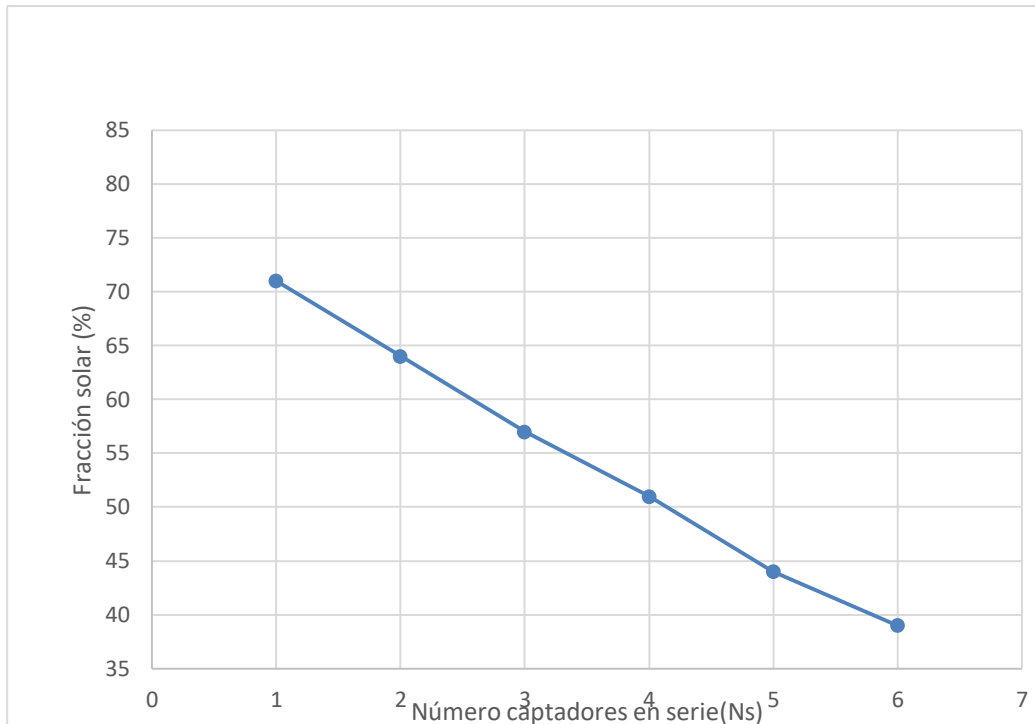


Figura 21. Fracción solar frente al número de captadores en serie.

La gráfica está hecha para 50 captadores y un volumen específico de 66.67 litros/m². En ella se observa como al aumentar el número de captadores en serie la fracción solar de demanda cubierta cae significativamente. De hecho, se aprecia como la fracción de demanda cubierta exigida por el CTE, 70%, únicamente se cumple para un captador en serie, es decir, poniendo todos los captadores en paralelo. Por ello, en la cubierta del edificio los captadores solares se dispondrán todos en paralelo.

2.4.4 Solución elegida.

Instalación de consumo único con interacumulador	
Número total de captadores	50
Número de captadores en serie	1
Volumen total de acumulación (litros)	8000
Volumen específico (litros/m ²)	66.67
Demanda cubierta (%)	70

Tabla 8. Solución final adoptada.

En cuanto al volumen específico adoptado, este ha sido el volumen mínimo que cumple con la normativa, es decir, para 50 captadores instalados todos en paralelo, 66.67 litros/m² es el primer volumen específico que garantiza un fracción de demanda cubierta mayor o igual al 70%.

- ***Distancia entre filas de captadores***

Por otra parte, cabe destacar que antes de fijar el número de captadores en 50 se ha realizado un estudio previo para comprobar que caben todos en la cubierta del instituto. Esto se debe a que además de las propias dimensiones del captador, a la hora de instalarlos hay que tener en cuenta la distancia mínima que hay que garantizar entre captadores para evitar las sombras.

Para su cálculo, hay que basarse en el caso más desfavorable, siendo este el solsticio de invierno y en el cual hay que garantizar al menos 4 horas de sol al día. La distancia “d” entre filas de captadores sobre la horizontal se calcula:

$$d \geq h * k$$

Siendo:

k: Factor adimensional

h: Altura del captador que proyecta la sombra

$$k = \frac{1}{\tan(90^\circ - 23.5^\circ - \text{latitud} - 6^\circ)}$$

Siendo la latitud igual a 36°

$$k = 2.2$$

$$h = L * \text{sen}(\alpha) = 2.13 * \text{sen}(36) = 1.25 \text{ m}$$

$$d = h * k = 2.75 \text{ m}$$

Una vez calculada la distancia entre filas de captadores se comprueba que los 50 captadores elegidos previamente entran en la cubierta del edificio. La cubierta del instituto está dividida en dos partes, simétricas. Cada parte consta de 10.2 m de ancho y 43.2 m de largo, de forma que caben todos los captadores en una única parte, colocándolos en dos filas de 25 captadores cada una y una distancia de 2.75 m entre estas.

Para la instalación de los captadores hay que tener en cuenta la sombra que produce el contorno de la cubierta, por ello, se situará la primera fila de captadores a una distancia mayor a la mínima para que el contorno no produzca sombra sobre estos.

La altura del contorno de la cubierta es de 0.65 m:

$$h = 0.65 \text{ m}$$

$$k = \frac{1}{\tan(90^\circ - 23.5^\circ - \text{latitud} - 6^\circ)} = 2.2$$

$$d = h * k = 1.43 \text{ m}$$

La distancia mínima a la que habrá que colocar la primera fila de captadores del contorno de la cubierta es de 1.43 metros. En el diseño final se ha optado por poner una distancia de 2 m.

- **Cálculo de pérdidas por orientación e inclinación.**

En este apartado se determinarán las pérdidas por inclinación y orientación. Se comprobará además que estas no superan el 10%, límite impuesto por el CTE.

Para el cálculo se ha de saber que el ángulo de inclinación (β) es el ángulo formado por el captador solar con el plano horizontal, y que el ángulo de acimut (α) es el ángulo formado por la proyección de la normal al captador sobre el plano horizontal con el sur, siendo positivos los ángulos medidos desde el sur hacia el oeste y negativos hacia el este.

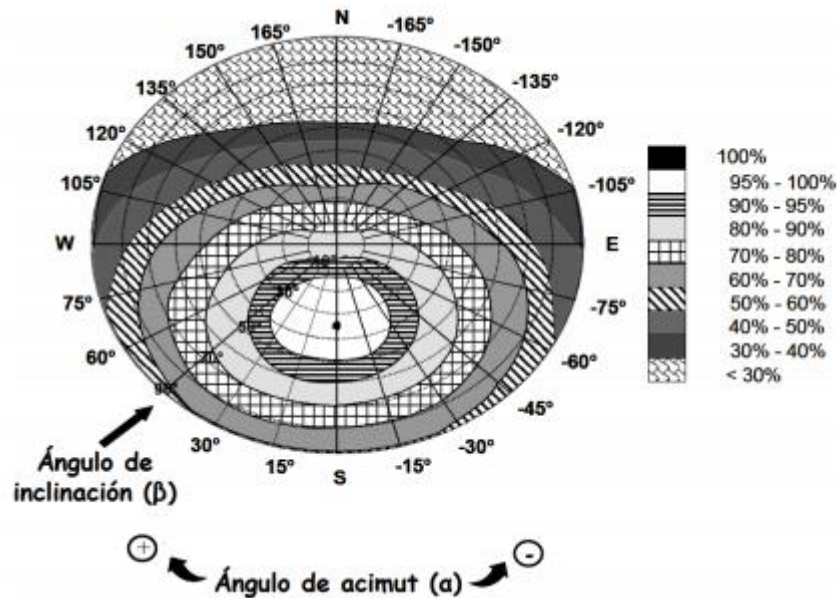


Figura 22. Diagrama de pérdidas por orientación e inclinación.

Se comenzará calculando el rango de valores para la inclinación, para ello se utiliza el gráfico de la figura 22, el cual está referido a una latitud de 41° . Teniendo una orientación sur, para que el porcentaje de pérdidas sea inferior al 10%, se observa que el ángulo de inclinación debe estar comprendido entre 6° y 60° .

Sin embargo, como el edificio de estudio tiene una latitud de 36° se debe corregir tal y como menciona el CTE:

$$\text{Inclinación máxima}_{36^\circ} = \text{Inclinación máxima}_{41^\circ} - (41^\circ - 36^\circ) = 55^\circ$$

$$\text{Inclinación mínima}_{36^\circ} = \text{Inclinación mínima}_{41^\circ} - (41^\circ - 36^\circ) = 1^\circ$$

Las pérdidas asociadas a la inclinación y orientación se obtienen según el CTE HE4 en función del ángulo de acimut (α), el ángulo de inclinación utilizado (β) y el ángulo de inclinación óptimo (β_{opt}), mediante la siguiente expresión, (válida para $15^\circ < \beta < 90^\circ$):

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

En este proyecto los captadores están orientados al sur, por lo que el ángulo de acimut es de 0° , y para el ángulo de inclinación se ha tomado el óptimo, por lo que las pérdidas por orientación e inclinación son nulas.

2.5. Cálculo de la red de tuberías en el circuito primario

Este apartado busca el diseño y dimensionado de la red de tuberías del circuito primario.

2.5.1 Líquido anticongelante.

Para el cálculo de factor corrector de la mezcla agua-glicol previamente hay que calcular el porcentaje de glicol en agua. El glicol es un fluido anticongelante, la mezcla agua-glicol busca proteger la instalación frente a las heladas que se puedan producir. El porcentaje de glicol en agua tiene que garantizar la protección de la instalación hasta 5°C por debajo de la temperatura mínima histórica registrada en Cádiz, siendo esta de -1°C, la cual tuvo lugar el 11 de Febrero de 1956. Por lo tanto, esta mezcla tiene que poder proteger las instalación frente a temperaturas de hasta -6°C.

PORCENTAJE DE GLICOL POR PESO (%)	10	20	30	40	50
Temperatura de congelación (°C)	-3,20	-7,80	-14,10	-22,30	-33,80
Coef. correctivo potencia frigorífica	0,986	0,980	0,973	0,966	0,960
Coef. Correct. pot. Absorbida	1,000	0,995	0,990	0,985	0,975
Coef. Correct. flujo de mezcla	1,023	1,054	1,092	1,140	1,200
Coef. Correct. caída de presión	1,061	1,114	1,190	1,244	1,310

Tabla 9. Porcentaje de glicol en función de la temperatura de congelación.

A través de los datos proporcionados por la tabla anterior y realizando una interpolación se obtiene que el porcentaje de glicol en agua para -6°C es de aproximadamente el 16.01%

2.5.2 Cálculo del caudal primario

En primer lugar se calcula el caudal del circuito primario mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{primario}} = G_{\text{ensayo}} * A_{\text{captador}} * \frac{N_{\text{captadores}}}{N_{\text{serie}}} = 4820 \text{ litros/h}$$

Con los siguientes datos aportados por el catálogo del captador:

- $G_{\text{ensayo}} = 40 \text{ litros/hm}^2$
- $A_{\text{captador}} = 2.41 \text{ m}^2$

Y con los valores justificados previamente:

- $N_{\text{captadores}} = 50$
- $N_{\text{serie}} = 1$

2.5.3 Pérdida de carga en un captador

Para calcular la pérdida de carga que se produce en un captador se requiere haber calculado previamente el caudal que pasa por este.

$$Q_{\text{captador}} = 40 \frac{\text{litros}}{\text{m}^2} * \frac{1\text{h}}{60 \text{ min}} * 2.41 \frac{\text{m}^2}{\text{captador}} = 1.61 \text{ litros/min}$$

Para calcular la pérdida de carga se recurre al catálogo del captador, donde se dice que esta se calcula a través de dos coeficientes: un término cuadrático y otro lineal, 71.423 y 50.79 respectivamente. Obteniéndose una pérdida de carga de:

$$\Delta P_{\text{captador}} = 71.423 * 1.61^2 + 50.79 * 1.61 = 266.92 \text{ mmca}$$

$$\Delta P_{\text{captador}} = 266.92 \text{ mmca} = 2.615 \text{ kPa}$$

2.5.4 Pérdida de carga en el interacumulador

Tal y se justificó anteriormente esta instalación está compuesta por dos interacumuladores dispuestos en serie, ambos de la marca Lapesa, con modelos MXV-3500-SS2B y MXV-5000-SS2B. Para el cálculo de la pérdida de carga en los interacumuladores se recurre al catálogo, donde existen para cada modelo una gráfica que relaciona la pérdida de carga con el caudal que pasa por estos, es decir, el caudal primario. Siendo la pérdida de carga total la suma de la pérdida de carga de los dos interacumuladores.

Siendo el caudal primario:

$$Q_{\text{primario}} = 4.820 \text{ m}^3/\text{h}$$

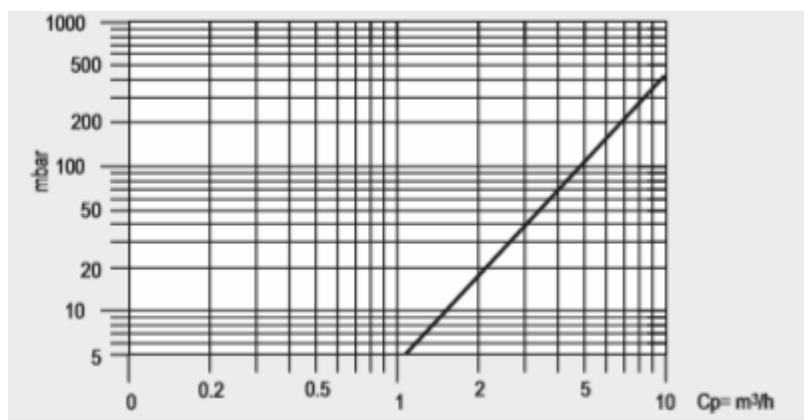


Figura 23. Pérdida de carga en el interacumulador de 3500 litros.

$$\Delta P_{\text{interacumulador},3500} = 95 \text{ mbar} = 9.5 \text{ kPa}$$

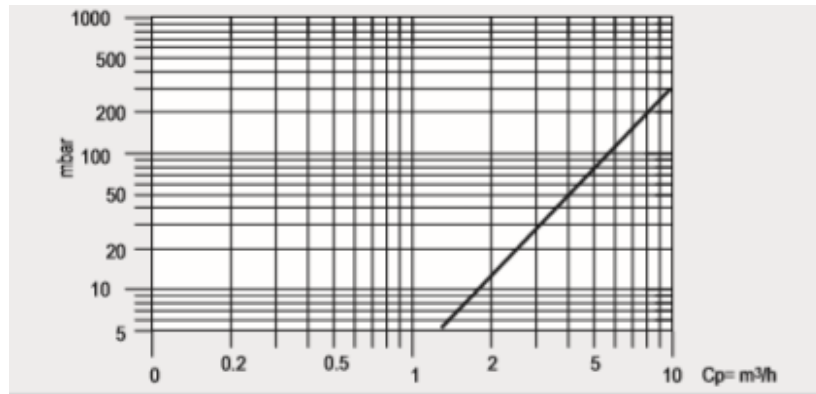


Figura 24. Pérdida de carga en el interacumulador de 5000 litros.

$$\Delta P_{interacumulador,5000} = 75 \text{ mbar} = 7.5 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{interacumulador} = \Delta P_{interacumulador,3500} + \Delta P_{interacumulador,5000} = 17 \text{ kPa}$$

2.5.5 Pérdida de carga en las tuberías

Para el diseño y dimensionamiento de la red de tuberías se busca minimizar la cantidad de metros necesarios para minimizar a su vez la pérdida de carga a lo largo de esta, de forma que la bomba tenga que aportar la menor presión posible y por lo tanto consuma menos electricidad. Además, en el diseño se va a utilizar la técnica de retorno invertido, con la intención de no tener que recurrir a válvulas de equilibrado para que la red de tuberías sea estable y equilibrada.

Para identificar cuáles son los diámetros óptimos se seguirán las dos normativas siguientes:

- La velocidad del agua por el interior de las tuberías debe ser $< 1.2 \text{ m/s}$
- La pérdida de carga admisible debe estar dentro del rango: $200 \text{ Pa/m} < \Delta P < 400 \text{ Pa/m}$

El cálculo necesario para elegir el tamaño de los diámetros óptimos se hará a través de la función Excel creada por el profesor Juan Francisco Conorel Toro, componente del profesorado de la ETSI, concretamente, del Departamento de Ingeniería Energética. Dicha función está destinada al cálculo de redes de agua y está disponible en su página web.

A continuación, se añade una tabla donde aparece el diámetro elegido para cada tramo de tubería, dependiente del caudal y la longitud de dicho tramo. De igual modo, se muestra la pérdida de carga por metro de longitud y la velocidad del agua.

Tramo	V (L/h)	L (m)	D (")	Dp t (Pa/m)	VELOCIDAD m/s
T1	4820	36.06	1.5	325.3	1.17
T2	2410	37.53	1.25	225.4	0.85
T3	482	8.1	0.75	149.9	0.47
T4	1928	7	1.25	151.4	0.68
T5	482	1.1	0.75	149.9	0.47
T6	1446	7	1	264.2	0.79
T7	482	1.1	0.75	149.9	0.47
T8	964	7	1	128.8	0.53
T9	482	1.1	0.75	149.9	0.47
T10	482	8.1	0.75	149.9	0.47
T11	964	7	1	128.8	0.53
T12	1446	7	1	264.2	0.79
T13	1928	7	1.25	151.4	0.68
T14	2410	4.23	1.25	225.4	0.85
T15	2410	37.53	1.25	225.4	0.85
T16	482	8.1	0.75	149.9	0.47
T17	1928	7	1.25	151.4	0.68
T18	482	1.1	0.75	149.9	0.47
T19	1446	7	1	264.2	0.79
T20	482	1.1	0.75	149.9	0.47
T21	964	7	1	128.8	0.53
T22	482	1.1	0.75	149.9	0.47
T23	482	8.1	0.75	149.9	0.47
T24	964	7	1	128.8	0.53
T25	1446	7	1	264.2	0.79
T26	1928	7	1.25	151.4	0.68
T27	2410	4.23	1.25	225.4	0.85

Tabla 10. Diámetro elegido para cada tramo de la instalación.

Se observa que en varios casos no se cumple la condición de una pérdida de carga por metro de longitud comprendida entre 200 y 400 Pa/m. Este hecho se debe a que el diseño está previamente condicionado por los caudales fijos del agua que circula por la red, además de los diámetros comerciales disponibles. Concretamente, en tramos como el 3 o 4 se observa que la pérdida de carga no llega a los 200 Pa/m, sin embargo, se optan por elegir estos diámetros ya que si este aumentase la pérdida de carga se alejaría demasiado del intervalo óptimo.

Una vez elegidos los diámetros se tienen todos los datos necesarios para poder proceder a calcular la pérdida de carga total que se produce en la instalación, la cual una vez calculada permitirá dimensionar la bomba del circuito primario. La pérdida de carga total es la suma de cada pérdida que se produce en lo largo de la instalación, siendo estas:

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{tuberías} + \Delta P_{accesorios} + \Delta P_{equipos}$$

- **Pérdida de carga en la red de tuberías**

Tal y como se muestra en la tabla....., se tiene la pérdida de carga para cada tramo de la instalación en Pa/m y además se tiene la longitud de cada tramo, por lo que:

$$\Delta P_{tuberías} = \Delta P_{\left(\frac{Pa}{m}\right)} * L_{tramo}(m)$$

- **Pérdida de carga por equipos**

En la instalación las únicas pérdidas de carga que se producen en los equipos son las debidas al paso por los captadores y por los interacumuladores, las cuales se justificaron anteriormente con valores de 2.615 kPa y 17 kPa, respectivamente.

- **Pérdida de carga por accesorios**

Los tramos están formados por diferentes tipos de accesorios, como pueden ser válvulas de retención o codos de 90º, los cuales producen una pérdida de carga al paso del fluido por ellos. Cada accesorio se relaciona con una longitud equivalente que permite calcular la pérdida de carga mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P_{\text{accesorios}} = \Delta P_{\left(\frac{Pa}{m}\right)} * L_{\text{equivalente}}(m)$$

Para conocer el valor de la longitud equivalente de cada accesorio y por lo tanto de cada tramo, se recurre a la siguiente tabla:

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

Tabla 11. Longitud equivalente de cada accesorio en función del diámetro de la tubería.

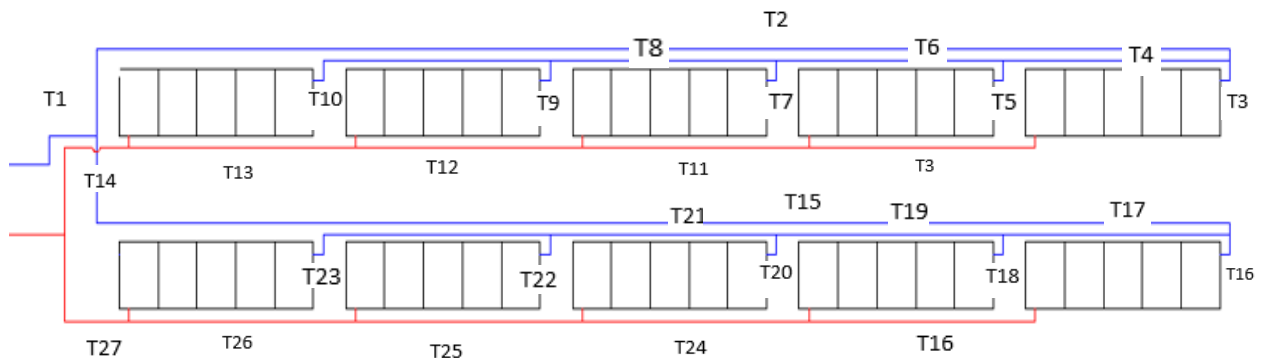


Figura 25. Distribución de los tramos.

Siendo los accesorios pertenecientes a cada tramo de la instalación los siguientes:

TRAMO	ACCESORIOS
T1	22 codos y 4 válvulas de corte
T2	1 T derivada y 2 codos
T3	2 T alineadas, 2 codos y 2 válvulas de corte
T4	1 T derivada
T5	2 T derivada, 2 codos y 2 válvulas de corte
T6	1 T alineada
T7	2 T derivada, 1 codo y 2 válvulas de corte
T8	1 T alineada
T9	2 T derivada, 1 codo y 2 válvulas de corte
T10	1 T alineada, 1 T derivada, 2 codos y 2 válvulas de corte
T11	1 T alineada
T12	1 T alineada
T13	1 T alineada
T14	1 codo doble, 1 codo y 1 T derivada
T15	1 T derivada y 2 codos
T16	2 T alineadas, 2 codos y 2 válvulas de corte
T17	1 T derivada
T18	2 T derivada, 2 codos y 2 válvulas de corte
T19	1 T alineada
T20	2 T derivada, 1 codo y 2 válvulas de corte
T21	1 T alineada
T22	2 T derivada, 1 codo y 2 válvulas de corte
T23	1 T alineada, 1 T derivada, 2 codos y 2 válvulas de corte
T24	1 T alineada
T25	1 T alineada
T26	1 T alineada
T27	1 T derivada y 1 codo

Tabla 12. Accesorio en cada tramo de la red de tuberías.

Finalmente, una vez calculadas las pérdidas de carga en tuberías, accesorios y equipos, estos valores se introducen en el Excel de Juan Francisco Coronel Toro, donde se obtienen directamente las pérdidas totales en cada tramo.

Tramo	V (L/h)	L (m)	D (")	Dp _t (Pa/m)	L _{acc} (m)	Dp _t (kPa)	Dp _{acc} (kPa)	Dp _{ut} (kPa)	Dp _{tot} (kPa)	VELOCIDAD m/s
T1	4820	36.06	1.5	325.3	37.42	11.7	12.2	17.0	40.9	1.17
T2	2410	37.53	1.25	225.4	2.23	8.5	0.5	0.0	9.0	0.85
T3	482	8.1	0.75	149.9	3.6	1.2	0.5	2.6	4.4	0.47
T4	1928	7	1.25	151.4	1.19	1.1	0.2	0.0	1.2	0.68
T5	482	1.1	0.75	149.9	4.29	0.2	0.6	2.6	3.4	0.47
T6	1446	7	1	264.2	0.24	1.8	0.1	0.0	1.9	0.79
T7	482	1.1	0.75	149.9	4.29	0.2	0.6	2.6	3.4	0.47
T8	964	7	1	128.8	0.24	0.9	0.0	0.0	0.9	0.53
T9	482	1.1	0.75	149.9	4.29	0.2	0.6	2.6	3.4	0.47
T10	482	8.1	0.75	149.9	4.09	1.2	0.6	2.6	4.4	0.47
T11	964	7	1	128.8	0.24	0.9	0.0	0.0	0.9	0.53
T12	1446	7	1	264.2	0.24	1.8	0.1	0.0	1.9	0.79
T13	1928	7	1.25	151.4	0.31	1.1	0.0	0.0	1.1	0.68
T14	2410	4.23	1.25	225.4	2.23	1.0	0.5	0.0	1.5	0.85
T15	2410	37.53	1.25	225.4	2.23	8.5	0.5	0.0	9.0	0.85
T16	482	8.1	0.75	149.9	3.6	1.2	0.5	2.6	4.4	0.47
T17	1928	7	1.25	151.4	1.19	1.1	0.2	0.0	1.2	0.68
T18	482	1.1	0.75	149.9	4.29	0.2	0.6	2.6	3.4	0.47
T19	1446	7	1	264.2	0.24	1.8	0.1	0.0	1.9	0.79
T20	482	1.1	0.75	149.9	4.29	0.2	0.6	2.6	3.4	0.47
T21	964	7	1	128.8	0.24	0.9	0.0	0.0	0.9	0.53
T22	482	1.1	0.75	149.9	4.29	0.2	0.6	2.6	3.4	0.47
T23	482	8.1	0.75	149.9	4.09	1.2	0.6	2.6	4.4	0.47
T24	964	7	1	128.8	24	0.9	3.1	0.0	4.0	0.53
T25	1446	7	1	264.2	0.24	1.8	0.1	0.0	1.9	0.79
T26	1928	7	1.25	151.4	0.31	1.1	0.0	0.0	1.1	0.68
T27	2410	4.23	1.25	225.4	1.71	1.0	0.4	0.0	1.3	0.85

Tabla 13. Datos y pérdida de carga de cada tramo de la red de tuberías.

En la siguiente tabla se especifica los tramos por los que está compuesto cada circuito de la instalación:

CIRCUITO	TRAMOS
1	1,2,4,6,8,10,14
2	1,2,4,6,8,9,13,14
3	1,2,4,6,7,12,13,14
4	1,2,4,5,11,12,13,14
5	1,15,17,19,21,23,27
6	1,15,17,19,21,23,27
7	1,15,17,19,2,22,26,27
8	1,15,17,19,20,25,26,27
9	1,15,17,18,24,25,26,27
10	1,15,16,24,25,26,27

Tabla 14. Composición circuitos de la instalación.

A raíz de los valores obtenidos en la tabla 12 se calculan las pérdidas de carga en cada circuito de la instalación. El circuito con mayor pérdida es el 3 con 64.3 kPa, valor calculado a raíz de la suma de la pérdida de carga producida en las tuberías de los tramos que componen dicho circuito (1, 2, 4, 6, 7, 12, 13, 14 y 18) y la pérdida de carga en los captadores e interacumuladores.

CIRCUITO	Dp_circuito	Deseq.	Deseq. %
1	59.9	4.5	7
2	59.9	4.4	6.8
3	64.3	0	0
4	59.9	4.4	6.9
5	59.6	4.7	7.3
6	59.7	4.6	7.2
7	59.8	4.5	7
8	60.8	3.5	5.5
9	62.9	1.5	2.3
10	62.6	1.8	2.7

Tabla 15. Pérdida de carga en cada circuito.

2.6. Dimensionado de la bomba del circuito primario

Para seleccionar la bomba del circuito primario es imprescindible conocer antes la pérdida de carga máxima que esta debe vencer para que el fluido circule sin problemas por la red de tuberías. Dicha pérdida de carga máxima es la que se produce en el circuito 3, tal y como se ha comentado anteriormente, la cual tiene un valor de 64.3 kPa y una potencia nominal de 1.1 kWh.

Para la selección de la bomba se ha recurrido a la marca Grundfos, la cual tiene un sistema de búsqueda que facilita la selección, ya que permite introducir los datos de funcionamiento de la bomba necesaria. Finalmente, se elige la bomba modelo CME10-1 A-R-A-E-AQQE, ya que esta supera los 64.3 kPa y es capaz de vehicular el caudal máximo del circuito primario, siendo su curva característica la siguiente:

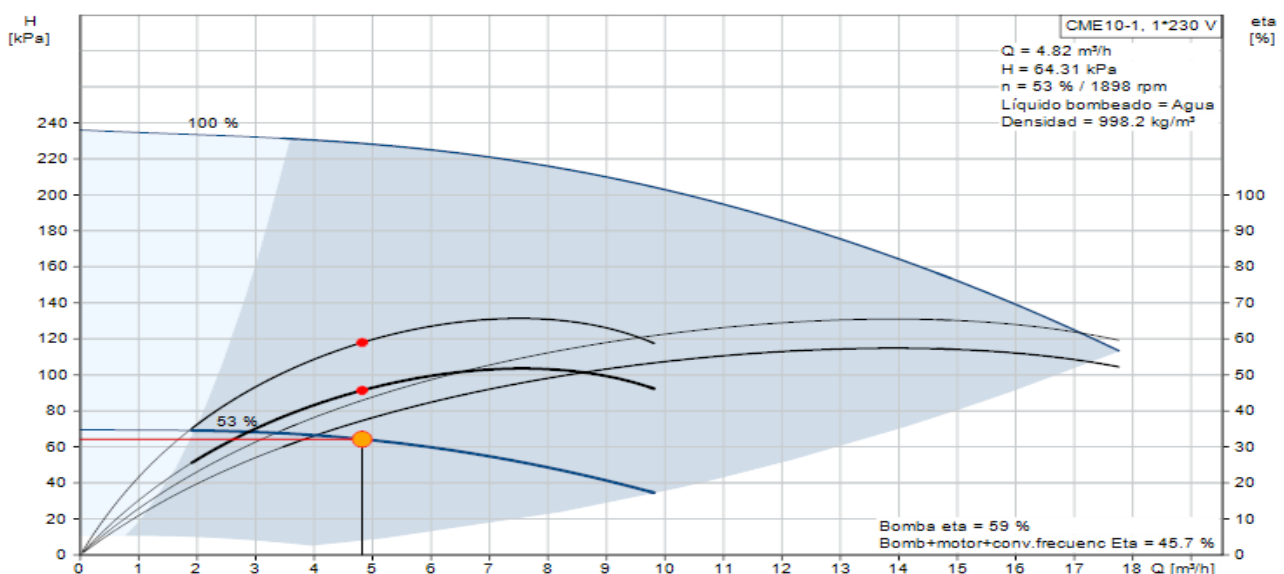


Ilustración 11. Curva característica de la bomba primaria.

2.7. Dimensionado del vaso de expansión del circuito primario.

El objetivo del vaso de expansión del circuito primario es absorber las variaciones de volumen del fluido contenido en el circuito debido a las fluctuaciones de su temperatura, además de mantener la presión entre los límites aceptables y de evitar pérdidas del fluido y reposiciones de agua.

La norma UNE 100155 es la encargada de regir el método de diseño y cálculo de los sistemas de expansión.

El volumen del vaso de expansión se calcula mediante la expresión:

$$V_{vaso} = V_{total} * C_e * C_p$$

Siendo:

- V_{total} = Volumen mínimo del vaso de expansión
- C_e = Coeficiente de expansión del fluido
- C_p = Coeficiente de presión
- V_{total} = Volumen del fluido del circuito primario

El volumen total del circuito primario es la suma del volumen de la red de tuberías de la instalación, el volumen disponible en los captadores y los dos interacumuladores, aplicándole un factor de seguridad del 10%.

$$V_{total} = (V_{captadores} + V_{tuberias} + V_{interacumuladores}) * 1.1$$

- **Cálculo volumen de los captadores.**

El volumen de los captadores consiste en el volumen del serpentín que circula por su interior, siendo este valor proporcionado por el fabricante. Del catálogo se obtiene que el volumen del serpentín es de 1.59 litros.

$$V_{captadores} = N_{captadores} * V_{interior,captador}$$

$$V_{captadores} = 50 \text{ captadores} * 1.59 \frac{\text{litros}}{\text{captador}} * \frac{1m^3}{1000 \text{ l}} = 0.0795 m^3$$

- **Cálculo volumen de los interacumuladores**

Al igual que con los captadores, el fabricante de los interacumuladores proporciona el volumen del serpentín del interior de estos. En el catálogo se observa como este es de 48 litros para el modelo MXV-3500-SS2B y de 56 litros para el modelo MXV-5000-SS2B. Al estar colocados en serie, la capacidad total será la suma de ambos.

$$V_{interacumuladores} = 104 \text{ litros} = 0.104 m^3$$

- *Cálculo volumen en la red de tuberías*

Para su cálculo se recurre únicamente al cálculo del volumen de un cilindro, ya que las tuberías de la instalación son cilindros de los que se conoce tanto su diámetro como su longitud. Para ello se ha realizado una tabla en Excel que se muestra a continuación y gracias a la cual se calcula el volumen total de las tuberías:

$$V_{tuberías} = 0.201 \text{ m}^3$$

	L	D	Vol
Tramo	(m)	(")	(m ³)
T1	36.06	1.5	0.073
T2	37.53	1.25	0.030
T3	8.1	0.75	0.002
T4	7	1.25	0.006
T5	1.1	0.75	0.000
T6	7	1	0.004
T7	1.1	0.75	0.000
T8	7	1	0.004
T9	1.1	0.75	0.000
T10	8.1	0.75	0.002
T11	7	1	0.004
T12	7	1	0.004
T13	7	1.25	0.006
T14	4.23	1.25	0.003
T15	37.53	1.25	0.030
T16	8.1	0.75	0.002
T17	7	1.25	0.006
T18	1.1	0.75	0.000
T19	7	1	0.004
T20	1.1	0.75	0.000
T21	7	1	0.004
T22	1.1	0.75	0.000
T23	8.1	0.75	0.002
T24	7	1	0.004
T25	7	1	0.004
T26	7	1.25	0.006
T27	4.23	1.25	0.003

Tabla 16. Volumen de cada tramo.

Finalmente, el volumen total de la instalación es:

$$V_{total} = (0.0795 + 0.201 + 0.104)m^3 * 1.1 = 0.42295 m^3 = 422.95 \text{ litros}$$

Cabe añadir que el volumen de glicol será el 16.01% del volumen total de la instalación, por lo que finalmente se tienen 68 litros de glicol en agua.

A continuación se calcula el coeficiente de expansión:

$$C_e = (-1.75 + 0.064 * T + 0.0036 * T^2) * 0.001 * f_c$$

Siendo:

- T: Temperatura del fluido que circula por el tramo donde se encuentra el vaso de expansión, 60°C.
- f_c : factor corrector debido a la mezcla agua-glicol

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

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

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

Finalmente:

$$a = 1.7114$$

$$b = -0.2652$$

$$f_c = 0.4599$$

Por tanto, el coeficiente de expansión tiene un valor de:

$$C_e = 0.00692$$

Para acabar se calcula el coeficiente de presión, a través de la ley de gases perfectos para variaciones de volumen a temperatura constante mediante la siguiente expresión:

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

Siendo:

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

El IDAE establece que la presión máxima se calcula a raíz de la presión de tarado de la válvula de seguridad. Siendo esta la presión máxima que admiten los equipos de la instalación, que en este caso es de 8 bar tanto para los captadores como para los interacumuladores tal y como se puede observar en sus respectivos catálogos. Para su cálculo hay que obtener el 90% de la presión máxima de los equipos de la instalación en presión manométrica y pasarla a absoluta:

$$P_M = 0.9 * P_{VS} + 1 = 0.9 * 7 + 1 = 7.3bar$$

Por otra parte, la presión mínima es la presión estática debida a la diferencia de altura entre el punto más elevado de la instalación y la posición del vaso de expansión. En el edificio de estudio la sala de máquinas se encuentra en el último piso, justo debajo de la cubierta con los captadores, con una altura de 3.75 m. Además, se recomienda añadirle un coeficiente de seguridad de 0.5 bar para garantizar una presión mínima de llenado.

$$P_0 = 3.75m * \frac{1bar}{10.21mca} + 0.5bar = 0.867bar$$

$$P_m = P_0 + 1 = 1.867bar$$

El coeficiente de presión será;

$$C_p = \frac{7.3}{7.3 - 1.867} = 1.343$$

Finalmente, el volumen del vaso de expansión necesario es:

$$V_{vaso} = V_{total} * C_e * C_p = 422.95 * 0.00692 * 1.343 = 3.93 \text{ litros}$$

Para la elección del vaso de expansión se recurre a la marca IBAIONDO, en cuyo catálogo encontramos el modelo 5-SMF que se adapta a las exigencias de nuestra instalación ya que tiene una capacidad de 5 litros.



Ilustración 12. Vaso de expansión IBAIONDO, 5-SMF

2.8. Cálculo del sistema de energía auxiliar.

A lo largo de la vida de la instalación habrá ocasiones en las que la demanda de energía térmica supere a la capacidad de producción del sistema primario, esto se debe a una falta de radiación solar. Por ello, para asegurar el suministro de energía térmica demandada en todo momento, se le añade a la instalación un sistema de apoyo energético auxiliar.

Dicho sistema auxiliar estará formado por una caldera auxiliar de condensación a gas mediante gas natural y por un interacumulador auxiliar. Cabe añadir que este sistema únicamente se pondrá en marcha cuando sea estrictamente necesario, es decir, cuando la radiación solar no sea capaz de abastecer la demanda energética por sí sola. Además, el sistema auxiliar se va a diseñar y dimensionar como si no hubiera instalación solar.

2.8.1 Interacumulador auxiliar

Para calcular la potencia útil que debe ser capaz de suministrar la caldera auxiliar previamente es necesario conocer el volumen de acumulación convencional. Para su determinación, se requiere en primer lugar conocer el caudal total de ACS que consume el instituto.

En el apartado 2.1.3 de la sección HS4 del CTE se proporciona la siguiente tabla, donde se encuentran los caudales instantáneos mínimos de ACS para cada tipo de aparato:

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Tabla 17. Caudal instantáneo de ACS para cada tipo de aparato del edificio.

El caudal total instalado es la suma de los caudales de todos los puntos de consumo de ACS que existen en el instituto. En la siguiente tabla se muestra dicha suma, a la par que quedan expuestos la cantidad y los diferentes tipos de aparatos que se pueden encontrar en el edificio.

APARATO	Nº APARATOS	CAUDAL MIN. ACS (l/s)	SUBTOTAL (l/s)
Lavabo	21	0.065	1.365
Ducha	13	0.1	1.3
TOTAL (l/s)			2.665

Tabla 18. Caudal instantáneo total de ACS en el edificio.

Una vez obtenido el valor del caudal total instalado se procede a calcular el caudal total simultáneo, el cual viene definido según la norma UNE 149201:2017 para cada tipo de edificio según la siguiente tabla:

Tipo de Edificación	$Q_t > 20 \text{ l/s}$	$Q_t \leq 20 \text{ l/s}$		
		Si todo $Q_{\min} < 0,5 \text{ l/s}$	Si algún $Q_{\min} \geq 0,5 \text{ l/s}$	
			$Q_t \leq 1 \text{ l/s}$	$Q_t > 1 \text{ l/s}$
Edificios de viviendas	$Q_c = 1,7 \times (Q_t)^{0,21} - 0,7$	$Q_c = 0,682 \times (Q_t)^{0,45} - 0,14$	$Q_c = Q_t$	$Q_c = 1,7 \times (Q_t)^{0,21} - 0,7$
Edificios de oficinas, estaciones, aeropuertos	$Q_c = 0,4 \times (Q_t)^{0,54} + 0,48$			
Edificios de hoteles, discotecas, museos	$Q_c = 1,08 \times (Q_t)^{0,5} - 1,83$	$Q_c = 0,698 \times (Q_t)^{0,5} - 0,12$	$Q_c = Q_t$	$Q_c = (Q_t)^{0,366}$
Edificios de centros comerciales	$Q_c = 4,3 \times (Q_t)^{0,27} - 6,65$			
Edificios de hospitales	$Q_c = 0,25 \times (Q_t)^{0,65} + 1,25$			

Tipo de Edificación	$Q_t > 20 \text{ l/s}$	$Q_t \leq 20 \text{ l/s}$	
		$Q_t \leq 1,5 \text{ l/s}$	$Q_t > 1,5 \text{ l/s}$
Edificios de escuelas, polideportivos	$Q_c = -22,5 \times (Q_t)^{-0,5} + 11,5$	$Q_c = Q_t$	$Q_c = 4,4 \times (Q_t)^{0,27} - 3,41$

Tabla 19. Expresiones para el cálculo del caudal simultáneo de ACS según UNE 149201.

Al tratarse de un instituto, de la tabla se deduce que la expresión para el cálculo del caudal total simultáneo es:

$$Q_c = 4,4 * Q_t^{0,27} - 3,41$$

Siendo:

- Q_t : Caudal total instalado.
- Q_c : Caudal total simultáneo.

Donde se obtiene un valor de:

$$Q_c = 2.323 \text{ l/s}$$

Para el cálculo del volumen de acumulación hay que establecer previamente un tiempo de utilización, el cual suele rondar entre 15 y 30 min. En este proyecto se estima este tiempo en 20 min.

$$V = Q_c * t$$

Siendo:

- t : Tiempo de utilización.

$$V = 2.323 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{60\text{s}}{1 \text{ min}} * 20 \text{ min} = 2787.6 \text{ litros}$$

A la hora de seleccionar el interacumulador auxiliar se vuelve a usar la misma marca que para los interacumuladores primarios, Lapesa. En cuyo catálogo se encuentra el modelo MXV-3000-SSB, con 3000 litros de capacidad y cuyas dimensiones permiten su instalación en la sala de máquinas.

2.8.2 Caldera auxiliar

La potencia nominal útil de la caldera sigue la siguiente expresión:

$$P_{\text{útil}} = V_{\text{interacumulador}} * C_p * \frac{T_{\text{ACS}} - T_{\text{af}}}{t_{\text{preparación}}}$$

Siendo:

- $V_{\text{interacumulador}}$: Volumen del depósito auxiliar.
- C_p : Calor específico del agua supuesto constante.
- T_{ACS} : Temperatura de distribución del agua caliente sanitaria.
- T_{af} : Temperatura de distribución del agua fría. Siendo esta la correspondiente al mes más frío al usarse el caso más desfavorable.
- $t_{\text{preparación}}$: Tiempo de preparación. Supuesto en 1 hora.

Finalmente, se necesita una caldera con una potencia nominal útil de:

$$P_{\text{útil}} = 3000 \text{ l} * 4.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * \frac{(60 - 12)\text{K}}{1\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 167.6 \text{ kW}$$

Sin embargo, no es suficiente con esta potencia útil ya que hay que tener en cuenta las pérdidas que se pueden producir durante el transporte y el almacenamiento auxiliar del fluido. Por ello, se aplica un coeficiente de seguridad estimado entre 1.25 y 1.3. Adoptando el caso más desfavorable queda una potencia nominal útil de:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{útil}} * 1.3 = 217.88 \text{ kW}$$

La caldera auxiliar seleccionada es de la marca VIESSMANN. Concretamente, se trata del modelo Vitocrossal 100 CI 1, una caldera de condensación a gas alimentada por gas natural y GLP, con quemador cilíndrico Matrix modulante. La potencia nominal que es capaz de suministrar esta caldera es de 264 kW y sus dimensiones son compatibles con el espacio disponible en la sala de máquinas.



Ilustración 13. Caldera Vitocrossal 100 CI 1

2.8.3 Bomba auxiliar

En primer lugar hay que calcular el caudal que maneja la bomba auxiliar, el cual se obtiene a raíz de la potencia útil de la caldera y del salto de temperatura que se produce en esta:

$$Q_{aux} = \frac{P_{util}}{C_p * \Delta T} = \frac{217.88 \text{ kW}}{4.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 20 \text{ K}} = 2.6 \text{ litros/s}$$

$$Q_{aux} = 2.6 \frac{\text{litros}}{\text{s}} * 60\text{s} * 60 \text{ min} = 9360 \text{ l/h}$$

Al igual que para el circuito primario, para elegir la bomba antes hay que calcular la pérdida de carga máxima que se produce en el sistema auxiliar. En este caso, únicamente existe un tramo y por lo tanto, un circuito, el cual conecta al interacumulador con la caldera. A través del Excel de Juan Francisco Coronel Toro se calcula la pérdida de carga:

	V	L	D	Dp t	L acc	Dp t	Dp acc	Dp ut	Dp tot
Tramo	(L/h)	(m)	(")	(Pa/m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
T1	9360	3.04	2	269.5	6.96	0.8	1.9	30.4	33.1

Tabla 20. Datos y pérdida de carga del circuito auxiliar.

Finalmente, se obtiene una pérdida de carga de 33.1 kPa. En esta pérdida va incluida la producida en la caldera y el interacumulador auxiliar, estos han sido introducidos en el Excel en la columna Dp_ut. Con este valor y el caudal de la bomba se encuentra en el catálogo de Grundfos el modelo SQ 7-15

2.8.4 Vaso de expansión auxiliar.

Para el dimensionado del vaso de expansión auxiliar se siguen los mismos pasos y expresiones que para el vaso de expansión del circuito primario. Por ello, se vuelve a seguir la norma UNE 100155: Diseño y cálculo de sistemas de expansión.

$$V_{vaso} = V_{total} * C_e * C_p$$

$$V_{total} = (V_{caldera} + V_{tuberias} + V_{interacumuladores}) * 1.1$$

El volumen de la caldera lo proporciona el fabricante, el cual viene marcado en el catálogo en 180 litros.

$$V_{caldera} = 180 \text{ litros}$$

$$V_{tuberias} = 6.16 \text{ litros}$$

$$V_{interacumulador} = 48 \text{ litros}$$

$$C_e = 0.00692$$

Cabe añadir que la presión máxima vuelve a ser de 8 bar tanto en la caldera como en el interacumulador auxiliar. Sin embargo, la presión mínima varía con respecto a la del circuito primario, ya que en este caso la altura corresponde con la propia altura del interacumulador auxiliar, la cual es de 2.3 m, por lo tanto:

$$P_0 = 2.3m * \frac{1bar}{10.21mca} + 0.5bar = 0.725 bar$$

$$P_m = P_0 + 1 = 1.725 bar$$

El coeficiente de presión será;

$$C_p = \frac{7.3}{7.3 - 1.725} = 1.309$$

Finalmente, el volumen del vaso de expansión auxiliar será:

$$V_{vaso} = 257.57 * 0.00692 * 1.26 = 2.333 \text{ litros}$$

El modelo elegido es el mismo que para el circuito primario, el vaso de expansión 5- SMF de la marca IBAIONDO, con una capacidad de 5 litros.

2.9. Cálculo de espesores de aislamiento.

Los equipos que componen la instalación tienen un espesor de aislamiento que viene especificado por cada fabricante. Por ello, en este apartado se va a tratar únicamente el espesor de aislamiento de las tuberías que componen el circuito primario, habiendo una distinción entre las tuberías externas e internas.

Para determinar estos espesores se hace uso del RITE y del CTE, donde se asocia un espesor concreto para cada tubería en función de su diámetro exterior y de la temperatura máxima del fluido que circula por su interior.

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 21. Espesores mínimos de aislamiento para tuberías exteriores que transportan fluidos calientes.

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

Tabla 22. Espesores mínimos de aislamiento para tuberías internas que transportan fluidos calientes.

Haciendo uso de las tablas, y estimando que el fluido que circula por el circuito primario va a permanecer entre 60°C y 100°C y que el diámetro exterior de las tuberías es alrededor de 45 mm, se determina:

$$e_{\text{aislamiento,interior}} = 25 \text{ mm}$$

$$e_{\text{aislamiento,exterior}} = 45 \text{ mm}$$

En cuanto al espesor de aislamiento de las tuberías exteriores, de la tabla se obtiene que este debe ser de 40 mm, sin embargo, al tener una longitud mayor de 25 metros, el espesor de aislamiento debe aumentar en 5 mm tal para cumplir la normativa del RITE.

2.10. Accesorios.

- Válvulas de corte: Situadas a la entrada y salida de los distintos equipos de la instalación, hay un total de 37 válvulas.
- Válvulas de retención: Situadas a la salida de las bombas de la instalación y en los dos sistemas de llenado. Hay un total de 6 válvulas de retención.
- Válvulas de seguridad: A la salida del vaso de expansión, en esta instalación hay dos al tener dos vasos de expansión, uno en el circuito primario y otro en el auxiliar.
-
- Purgadores: Aquellos puntos donde exista la posibilidad de retener aire. Suele ser en la parte alta de la instalación, por lo que se colocan en la cubierta, uno a la salida de cada bloque de captadores, habiendo un total de 10 purgadores.
- Manómetros: Situado uno en cada una de las cuatro bombas de la instalación.
- Filtros: Uno en cada sistema de llenado, es decir, uno en el sistema primario y otro en el auxiliar.
- Sondas de temperatura: Situada una a la salida del conjunto de captadores, otra en la parte inferior del interacumulador auxiliar y otra a la salida del interacumulador primario que comunica con la entrada a la bomba.

2.11. Modelo y marca central de control.

Para el sistema de control se usará una centralita de la marca Termicol, modelo LTDC-V3 con 6 sondas.

- 6 entradas para sensores PT1000 de temperatura.
- 2 salidas relé 230VAC (on/off).
- 2 entradas VFS/RPS Directsensor para medir caudal.
- 2 salida PWM (control velocidad bombas alta eficiencia).
- 42 variantes hidráulicas.

3 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

3.1 Objeto.

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

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

3.2 Normativa.

Los reglamentos que rigen los requisitos a cumplir de este tipo de instalaciones son:

- *Código Técnico de la edificación:*
 - Acciones en la edificación (CTE-DB-AE)
 - Seguridad en caso de incendio (CTE-DBSI)
 - Protección frente al ruido (CTE-DB-HR)
- *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)*, además de las instrucciones técnicas complementarias (ITE)
- *Norma UNE-EN 12975-1:2006. "Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares"*
- *Pliego de especificaciones Técnicas de Instalaciones de Energía Solar térmica a Baja Temperatura.*
- *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones complementarias MI.BT.*
- *Normativa regional o local.*

Además se usarán otras normas que sirvan de guía para la realización del proyecto:

- *Normas UNE de AENOR*
- *Normas NTE del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.*

3.3 Condiciones de materiales y equipos.

3.3.1 Captadores.

El captador llevará una etiqueta visible y duradera, que además de cumplir los requisitos establecidos en el CTE, disponga de los datos establecidos en la norma UNE 12975-1:

- Nombre del fabricante.
- Tipo.

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

Para la instalación de estos dispositivos en la cubierta del edificio se debe disponer de un procedimiento adecuado que debe proporcionar el fabricante para garantizar la seguridad, calidad y buen uso de la instalación. Se debe caracterizar el captador de manera térmica, mecánica e hidráulica. Los resultados para dicha caracterización deben provenir del resultado del ensayo realizado acorde con la norma UNE 12975. Se debe también conocer que el rendimiento del captador dependerá de dos parámetros fundamentalmente que son el caudal de ensayo del captador y la superficie útil del mismo.

Cabe destacar también que es altamente recomendable que los captadores sean del mismo tipo ya que si no son del mismo tipo se deberá recurrir a un sistema de regulación de caudal mediante baterías permitiendo así que todas las baterías presenten el mismo caudal. Si la instalación consta solo de una batería los requisitos que se han de cumplir para poder instalar distintos modelos de captadores son los siguientes:

- El caudal no debe salirse de un rango del 5% del caudal previo de los otros modelos de captadores.
- No se debe disminuir notablemente el rendimiento de la instalación.
- No deben romper con la estética del edificio.

En caso de necesitar estructura soporte o sujeción para el captador dicha estructura debe cumplir con las condiciones que se describen en el CTE-SE. Una de las especificaciones más importantes es que los materiales de estos soportes sean resistentes a las distintas condiciones climatológicas a las que se van a ver expuestos. Todas estas especificaciones deben ser tenidas en cuenta por el fabricante y deben ser detalladas antes del montaje de la instalación. El acero se protege mediante galvanizado por inmersión en caliente, pinturas de zinc o tratamientos anticorrosivos. El material auxiliar como pueden ser los tornillos deben también estar protegidos.

3.3.2 Acumuladores.

- *Generalidades*

Los acumuladores para A.C.S. y las partes de acumuladores combinados que estén en contacto con agua potable, deberán cumplir los requisitos de UNE EN 12897.

Preferentemente, los acumuladores serán de configuración vertical y se ubicarán en zonas interiores. Para aplicaciones combinadas con acumulación centralizada es obligatoria la configuración vertical del depósito, debiéndose además cumplir que la relación altura/diámetro del mismo sea mayor de dos.

En caso de que el acumulador esté directamente conectado con la red de distribución de agua caliente sanitaria, deberá ubicarse un termómetro en un sitio claramente visible por el usuario. El sistema deberá ser capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60°C y hasta 70°C con objeto de prevenir la legionelosis, tal como dispone el RD 865/2003, de 4 de julio.

En caso de aplicaciones para A.C.S. es necesario prever un conexionado puntual entre el sistema auxiliar y el solar de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar, para poder cumplir con las medidas de

prevención de legionella. Se podrán proponer otros métodos de tratamiento anti-legionella. Los acumuladores de los sistemas grandes a medida con un volumen mayor de 2 m³ deberán llevar válvulas de corte u otros sistemas adecuados para cortar flujos al exterior del depósito no intencionados en caso de daños del sistema. El acumulador deberá indicar el tipo y las siguientes características:

- Volumen total.
- Dimensiones.
- Presión máxima de trabajo.
- Situación y diámetro de las bocas de conexión.
- Situación y especificación de los puntos de sujeción o apoyos.
- Temperatura máxima de trabajo.
- Tratamientos y protección.
- Material y espesor de aislamiento y características de su protección.

Por otra parte, el acumulador deberá llevar incorporado una placa o etiqueta de identificación con los siguientes datos:

- Fabricante.
- Contraseña y fecha de registro
- N° de fabricación.
- Volumen neto.
- Presión máxima de operación.

Cuando el acumulador lleve incorporada una superficie de intercambio térmico entre el fluido primario y el agua sanitaria, en forma de serpentín o camisa de doble envolvente, se denominará interacumulador. Cuando el intercambiador esté incorporado al acumulador, la placa de identificación indicará además, los siguientes datos:

- Superficie de intercambio térmico en *m* .
- Presión máxima de trabajo del circuito primario.

Cada acumulador vendrá equipado de fábrica de los necesarios manguitos de acoplamiento, soldados antes del tratamiento de protección, para las siguientes funciones:

- Manguitos roscados para la entrada de agua fría y la salida de agua caliente.
- Registro embreadado para inspección del interior del acumulador y eventual acoplamiento del serpentín.
- Manguitos roscados para la entrada y salida del fluido primario.
- Manguitos roscados para accesorios como termómetro y termostato.
- Manguito para el vaciado.

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

El acumulador estará enteramente recubierto con material aislante, y es recomendable disponer una protección mecánica en chapa pintada al horno, PRFV, o lámina de material plástico.

Todos los acumuladores irán equipados con la protección catódica o anticorrosiva establecida por el fabricante para garantizar su durabilidad. En general, podrán utilizarse acumuladores de las características y tratamiento descritos a continuación:

- Acumuladores de acero vitrificado.
- Acumuladores de acero con tratamiento epoxídico.
- Acumuladores de acero inoxidable, adecuados al tipo de agua y temperatura de trabajo.
- Acumuladores de cobre.

- Acumuladores no metálicos que soporten la temperatura máxima del circuito, cumplan las normas UNE que le sean de aplicación y esté autorizada su utilización por las Compañías de suministro de agua potable.
- Acumuladores de acero negro (sólo en circuitos cerrados, sin agua de consumo).
- *Varios acumuladores.*

Cuando sea necesario que el sistema de acumulación solar esté formado por más de un depósito, éstos se conectarán en serie invertida en el circuito de consumo o en paralelo con los circuitos primarios y secundarios equilibrados. La conexión de los acumuladores permitirá la desconexión individual de los mismos sin interrumpir el funcionamiento de la instalación.

3.3.3 Vasos de expansión.

En primer lugar hay que decir que los vasos de expansión serán siempre cerrados. Al igual que las bombas y los captadores el vaso de expansión también debe llevar una placa para su identificación en un lugar claramente visible que debe contener las siguientes especificaciones:

- Fabricante
- Marca
- Modelo

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

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

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

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

3.3.4 Bombas.

Al igual que en los captadores, para la correcta identificación de la bomba, se debe disponer en un lugar visible de la siguiente información:

- Marca
- Fabricante
- Modelo
- Características eléctricas

En cuanto a los grupos de bombas se debe hacer referencia a las siguientes características en lo que a materiales respecta:

- Eje de acero inoxidable AISI 316.
- Rodete de fundición.

- Tubo de estanqueidad en acero inoxidable.
- Cuerpo en fundición o bronce. Se basarán en los planos para determinar si están partidos o no. Se deben de incluir todas las conexiones necesarias.
- Juntas torcas de EPDM.
- Cierres mecánicos: Se utilizarán en las bombas.
- Cojinete a bolas de carbon.
- El rotor debe ser húmedo o seco según se especifique en el proyecto.
- Los materiales del circuito primario deben ser acordes con el fluido que circula por ellos.
- Los materiales de la bomba deben ser resistentes a la corrosión y esto debe ser una condición indispensable para la elección de los mismos.
- El motor será de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220 V/1 o 220/380V/3, 50 Hz, IP.44, clase F.
- Los acoplamientos serán flexibles de acero en los que se deberá tener en cuenta el mantenimiento del grupo.
- Datos como el caudal, la altura manométrica, potencia del motor, número de velocidades, etc, se debe especificar en las especificaciones técnicas del proyecto.

3.3.5 Tuberías.

En las tuberías del circuito primario podrán utilizarse como materiales el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embridadas. En el circuito secundario o de servicio de agua caliente sanitaria podrá utilizarse cobre y acero inoxidable. Además, podrán utilizarse materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito, cumplan las normas UNE que le sean de aplicación y esté autorizada su utilización por las Compañías de suministro de agua potable.

Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y uniones por capilaridad (UNE 37153). No se utilizarán tuberías de acero negro para circuitos de agua sanitaria.

Cuando se utilice aluminio en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 1,5 m/s y su pH estará comprendido entre 5 y 7. No se permitirá el uso de aluminio en sistemas abiertos o sistemas sin protección catódica.

Cuando se utilice acero en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 3 m/s en sistemas cerrados y el pH del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9.

El diámetro de las tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discurra por locales habitados y a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.

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

Las pérdidas térmicas globales del conjunto de conducciones no superarán el 4% de la potencia máxima que transporten.

Todas las redes de tuberías deben diseñarse de tal manera que puedan vaciarse de forma parcial y total, a través de un elemento que tenga un diámetro nominal mínimo de 20 mm.

3.3.6 Intercambiadores.

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

El intercambiador llevará una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrita con caracteres

indelebles en las que aparecerán los siguientes datos:

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

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

3.3.7 Aislamiento.

El espesor mínimo del aislamiento de acumuladores será el que corresponda a las tuberías de más de 140 mm de diámetro.

El espesor del aislamiento del cambiador de calor no será inferior a 30 mm.

El material aislante se sujetará con medios adecuados, de forma que no pueda desprenderse de las tuberías o accesorios.

Cuando el material aislante de tubería y accesorios sea de fibra de vidrio, deberá cubrirse con una protección no inferior a la proporcionada por un recubrimiento de venda y escayola. En los tramos que discurran por el exterior será terminada con pintura asfáltica u otra protección de características equivalentes.

El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.

Para la protección del material aislante situado en intemperie 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 depósitos o cambiadores de calor situados en intemperie, podrán utilizarse forros de telas plásticas.

3.3.8 Válvulas.

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

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

- Para aislamiento: válvulas de compuerta.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvula de resorte.

- Para retención: válvulas de disco, de clapeta o de muelle.

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.

Los purgadores automáticos de aire se construirán con los siguientes materiales:

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

3.3.9 Purga de aire.

En general, el trazado del circuito evitará los caminos tortuosos, para favorecer el desplazamiento del aire atrapado hacia los puntos altos.

Los trazados horizontales de tubería tendrán siempre una pendiente mínima del 1 % en el sentido de circulación.

Si el sistema está equipado con líneas de purga, deberán ser colocadas de tal forma que no se puedan helar y no se pueda acumular agua en las líneas. Los orificios de descarga deberán estar dispuestos de tal forma que el vapor o el medio de transferencia de calor que salga por las válvulas de seguridad no cause ningún riesgo a las personas, materiales o medio ambiente.

Se evitará el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito. Los purgadores automáticos deberán soportar, al menos, la temperatura de estancamiento del captador, y en cualquier caso hasta 130 °C.

3.3.10 Sistema eléctrico y de control.

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

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

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

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

- Activar la bomba de circulación en función del salto de temperatura entre la salida de la batería de captadores y la parte baja del acumulador o la tubería de retorno.
- La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que detecten exactamente las temperaturas que se desean, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los captadores y las zonas de estancamiento.

- La precisión de los sistemas de control y la regulación de los puntos de consigna asegurará que en ningún caso las bombas estén en marcha con diferencias de temperaturas menores de 3 °C ni paradas con diferencias superiores a 7 °C.
- La diferencia de temperatura entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial no será inferior a 3 °C.
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.

3.3.11 Aparatos de medida.

- *Medida de temperatura.*

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

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

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

- *Medida de caudal.*

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

Cuando exista un sistema de regulación exterior, éste estará precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas.

Se suministrarán los siguientes datos, que deberán ser facilitados por el fabricante:

- Calibre del contador.
- Temperatura máxima del fluido.
- Caudales: en servicio continuo, máximo (durante alguno 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.

Cuando exista, el medidor se ubicará en la entrada de agua fría del acumulador solar.

- *Medida de energía térmica.*

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

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

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

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

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

- *Medida de presión.*

Las medidas de presión en circuitos de líquidos se harán con manómetros equipados con dispositivos de amortiguación de las oscilaciones de la aguja indicadora.

El equipamiento mínimo de aparatos de medición será el siguiente:

- Vasos de expansión: un manómetro.
- Bombas: un manómetro para la lectura de la diferencia de presión entre aspiración y descarga de cada bomba.
- Intercambiadores de calor: manómetros a la entrada y a la salida.

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 colocarán con un ángulo mínimo de 20° y máximo de 80°.

3.5 Condiciones de montaje.

3.5.1 Generalidades.

La instalación se construirá en su totalidad con materiales y procedimientos de ejecución que garanticen las exigencias del servicio, durabilidad, salubridad y mantenimiento.

Se tendrán en cuenta las especificaciones dadas por los fabricantes de cada uno de los componentes.

A efectos de las especificaciones de montaje de la instalación, éstas se complementarán con la aplicación de las reglamentaciones vigentes que tengan competencia en el caso.

Es responsabilidad de suministrador comprobar que el edificio reúne las condiciones necesarias para soportar la instalación, indicándolo expresamente en la documentación.

Es responsabilidad del suministrador comprobar la calidad de los materiales y agua utilizados, evitando el uso de materiales incompatibles entre sí.

El suministrador será responsable de la vigilancia de sus materiales durante el almacenaje y el montaje, hasta la recepción provisional.

Las aperturas de conexión de todos los aparatos y máquinas deberán estar convenientemente protegidas durante el transporte, el almacenamiento y el montaje, hasta tanto no se proceda a su unión, por medio de elementos de taponamiento de forma y resistencia adecuada para evitar la entrada de cuerpos extraños y suciedades dentro del aparato.

Especial cuidado se tendrá con materiales frágiles y delicados, como mecanismos, equipos de medida, etc, que deberán quedar debidamente protegidos.

Durante el montaje, el suministrador deberá evacuar de la obra todos los materiales sobrantes de trabajos efectuados con anterioridad, en particular de retales de conducciones y cables.

Asimismo, al final de la obra, deberá limpiar perfectamente todos los equipos (captadores, acumuladores, etc), cuadros eléctricos, instrumentos de medida, etc, de cualquier tipo de suciedad, dejándolos en perfecto estado.

Antes de su colocación, todas las canalizaciones deberán reconocerse y limpiarse de cualquier cuerpo extraño, como rebabas, óxidos, suciedades, etc.

La alineación de las canalizaciones en uniones y cambios de dirección se realizará con los correspondientes accesorios y/o cajas, centrando los ejes de las canalizaciones con los de las piezas especiales, sin tener que recurrir a forzar la canalización.

En las partes dañadas por roces en los equipos, producidos durante el traslado o montaje, el suministrador aplicará pintura rica en zinc u otro material equivalente.

La instalación de los equipos, válvulas y purgadores permitirá su posterior acceso a las mismas a efectos de su mantenimiento, reparación o montaje.

Una vez instalados, se procurará que las placas de características de los equipos sean visibles.

Todos los elementos metálicos que no estén debidamente protegidos contra la oxidación por el fabricante, será recubiertos con dos manos de pintura antioxidante.

Los circuitos de distribución de agua caliente sanitaria se protegerán contra la corrosión por medio de ánodos de sacrificio.

Todos los equipos y circuitos podrán vaciarse total o parcialmente, realizándose esto desde los puntos más bajos de la instalación.

Las conexiones entre los puntos de vaciados y desagües se realizarán de forma que el paso del agua quede perfectamente visible.

Los botellines de purga estarán siempre en lugares accesibles y visibles.

3.5.2 Montaje de estructura soporte y captadores.

Si los captadores son instalados en los tejados de edificios, deberá asegurarse la estanqueidad en los puntos de anclaje.

La instalación permitirá el acceso a los captadores de forma que su desmontaje sea posible en caso de rotura, pudiendo desmontar cada captador con el mínimo de actuaciones sobre los demás.

Las tuberías flexibles se conectarán a los captadores utilizando, preferentemente, accesorios para mangueras flexibles.

Cuando se monten tuberías flexibles se evitará que queden retorcidas y que se produzcan radios de curvatura superiores a los especificados por el fabricante.

El suministrador evitará que los captadores queden expuestos al sol por períodos prolongados durante el montaje. En este período las conexiones del captador deberán estar abiertas a la atmósfera, pero impidiendo la entrada de suciedad.

Terminado el montaje, durante el tiempo previo al arranque de la instalación, si se prevé que éste pueda prolongarse, el suministrador procederá a tapar los captadores.

3.5.3 Montaje de la bomba.

Las bombas en línea se instalarán con el eje de rotación horizontal y con espacio suficiente para que el conjunto motor-rodete pueda ser fácilmente desmontado. El acoplamiento de una bomba en línea con la tubería podrá ser de tipo roscado hasta el diámetro DN 32.

El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

Las tuberías conectadas a las bombas en línea se soportarán en las inmediaciones de las bombas de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos. Se utilizarán manguitos antivibratorios cuando la potencia de accionamiento sea superior a 700 W.

Todas las bombas estarán dotadas de tomas para la medición de presiones en aspiración e impulsión.

Todas las bombas deberán protegerse, aguas arriba, por medio de la instalación de un filtro de malla o tela metálica.

3.5.4 Montaje de tuberías y accesorios.

Antes del montaje deberá comprobarse que las tuberías no estén rotas, fisuradas, dobladas, aplastadas, oxidadas o de cualquier manera dañadas.

Se almacenarán en lugares donde estén protegidas contra los agentes atmosféricos. En su manipulación se evitarán roces, rodaduras y arrastres, que podrían dañar la resistencia mecánica, las superficies calibradas de las extremidades o las protecciones anti-corrosión.

Las piezas especiales, manguitos, gomas de estanqueidad, etc, se guardarán en locales cerrados.

Las tuberías serán instaladas de forma ordenada, utilizando fundamentalmente tres ejes perpendiculares entre sí y paralelos a elementos estructurales del edificios, salvo las pendientes que deban darse.

Las tuberías se instalarán lo más próximas posible a paramentos, dejando el espacio suficiente para manipular el aislamiento y los accesorios. En cualquier caso, la distancia mínima de las tuberías o sus accesorios a elementos estructurales será de 5 cm.

Las tuberías discurrirán siempre por debajo de canalizaciones eléctricas que crucen o corran paralelamente.

La distancia en línea recta entre la superficie exterior de la tubería, con su eventual aislamiento, y la del cable o tubo protector no deberá ser inferior a:

- 5 cm para cables bajo tubo con tensión inferior a 1000 V.
- 30 cm para cables sin protección con tensión inferior a 1000 V.
- 50 cm para cables con tensión superior a 1000 V.

Las tuberías no se instalarán nunca encima de equipos eléctricos como cuadros o motores.

No se permitirá la instalación de tuberías en huecos y salas de máquinas de ascensores, centros de transformación, chimeneas y conductos de climatización o ventilación.

Las conexiones de las tuberías a los componentes se realizarán de forma que no se transmitan esfuerzos mecánicos.

Las conexiones de componentes al circuito deberán ser fácilmente desmontables por bridas o racores, con el fin de facilitar su sustitución o reparación.

Los cambios de dirección en tuberías horizontales se realizarán de forma que se evite la formación de bolsas de aire, mediante manguitos de reducción excéntricos o enrasado de generatrices superiores para uniones soldadas.

Para evitar la formación de bolsas de aire, los tramos horizontales de tubería se montarán siempre con una pendiente ascendente, en el sentido de circulación, del 1 %.

Se facilitarán las dilataciones de tuberías utilizando los cambios de dirección o dilatadores axiales.

Las uniones de tuberías de acero podrán ser por soldadura o roscadas. Las uniones con valvulería y equipos podrán ser roscadas hasta 2", para diámetros superiores se realizarán las uniones por bridas.

En ningún caso se permitirá ningún tipo de soldadura en tuberías galvanizadas.

Las uniones de tuberías de cobre se realizarán mediante manguitos soldados por capilaridad.

En circuitos abiertos el sentido del flujo del agua deberá ser siempre del acero al cobre.

Durante el montaje de las tuberías se evitarán en los cortes para la unión de tuberías, las rebabas y escorias.

En las ramificaciones soldadas, el final del tubo ramificado no deberá proyectarse en el interior del tubo principal.

Los sistemas de seguridad y expansión se conectarán de forma que se evite cualquier acumulación de suciedad o impurezas.

Las dilataciones que sufren las tuberías al variar la temperatura del fluido, deberán compensarse a fin de evitar roturas en los puntos más débiles, que suelen ser las uniones entre tuberías y aparatos, donde suelen concentrarse los esfuerzos de dilatación y contracción.

En las salas de máquinas se aprovecharán los frecuentes cambios de dirección, para que la red de tuberías tenga la suficiente flexibilidad y pueda soportar las variaciones de longitud.

En los trazados de tuberías de gran longitud, horizontales o verticales, se compensarán los movimientos de tuberías mediante dilatadores axiales.

3.5.5 Montaje del aislamiento.

El aislamiento no podrá quedar interrumpido al atravesar elementos estructurales del edificio.

El manguito pasamuros deberá tener las dimensiones suficientes para que pase la conducción con su aislamiento, con una holgura máxima de 3 cm.

Tampoco se permitirá la interrupción del aislamiento térmico en los soportes de las conducciones, que podrán estar o no completamente envueltos por el material aislante.

El puente térmico constituido por el mismo soporte deberá quedar interrumpido por la interposición de un material elástico (goma, fieltro, etc) entre el mismo y la conducción.

Después de la instalación el aislamiento térmico, los instrumentos de medida y de control, así como válvulas de desagües, volante, etc, deberán quedar visibles y accesibles.

Las franjas y flechas que distinguen el tipo de fluido transportado en el interior de las conducciones, se pintarán o se pegarán sobre la superficie exterior del aislamiento o de su protección.

3.5.6 Montaje de acumulador.

La estructura soporte para depósitos y su fijación se realizará según la normativa vigente.

La estructura soporte y su fijación para depósitos de más de 1000 l situados en cubiertas o pisos deberá ser diseñada por un profesional competente. La ubicación de los acumuladores y sus estructuras de sujeción cuando se sitúen en cubiertas de piso tendrá en cuenta las características de la edificación, y requerirá para depósitos de más de 300 l el diseño de un profesional competente.

3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción.

3.6.1 Generalidades.

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

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

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

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

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.

- *Pruebas de equipo.*

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

- *Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas.*

Todas las redes de circulación de fluidos 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.

- *Pruebas de libre dilatación.*

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

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

3.6.3 Pruebas finales.

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

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

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

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

3.6.4 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.

- *Sistema de distribución de agua:* Se comprobará que el fluido anticongelante contenido en los circuitos expuestos a heladas cumple con los requisitos especificados en el proyecto.

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

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

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

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

Cuando exista más de un grupo de captadores solares en el circuito primario del subsistema de energía solar, se debería probar el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales de la instalación mediante el procedimiento previsto en el proyecto.

Se comprobará el mecanismo del subsistema de energía solar en condiciones de estancamiento así como el retorno a las condiciones de operación nominal sin intervención del usuario con los requisitos especificados en el proyecto.

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

3.6.5 Recepción.

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.

- *Recepción provisional:* 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.

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

- Recepción definitiva: 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 Mantenimiento preventivo.

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

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

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

En las tablas siguientes se definen las operaciones de mantenimiento preventivo que deben realizarse en las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente, la periodicidad mínima establecida (en meses) y descripciones en relación con las prevenciones a observar.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Captadores	6	IV- Diferencias sobre original.
		IV- Diferencias entre captadores.
Cristales	6	IV- Condensaciones y suciedad.
Juntas	6	IV- Agrietamientos, deformaciones.
Absorbedor	6	IV- Corrosión, deformaciones.
Carcasa	6	IV- Deformación, oscilaciones, ventanas de respiración.
Conexiones	6	IV- Aparición de fugas.
Estructura	6	IV- Degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos.
Captadores (*)	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Llenado parcial del campo de captadores

Tabla 23. Mantenimiento preventivo en sistema de captación.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo.
Ánodos de sacrificio	12	Comprobación del desgaste.
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento.
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad.

Tabla 24. Mantenimiento preventivo en sistema de acumulación.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Intercambiador de placas	12	CF - Eficiencia y prestaciones.
	12	Limpieza.
Intercambiador de serpentín	12	CF - Eficiencia y prestaciones.
	12	Limpieza.

Tabla 25. Mantenimiento en sistema de intercambio.

CF: control de funcionamiento.

IV: Inspección visual.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está bien cerrado para que no entre polvo.
Control diferencial	12	CF- Actuación.
Termostato	12	CF- Actuación.
Verificación del sistema de medida	12	CF- Actuación.

Tabla 26. Mantenimiento preventivo en sistema eléctrico y de control.

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Sistema auxiliar	12	CF- Actuación.
Sondas de temperatura	12	CF- Actuación.

Tabla 27. Mantenimiento preventivo en sistema de energía auxiliar.

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

Tabla 28. Mantenimiento preventivo en circuito hidráulico.

Dado que el sistema de energía auxiliar no forma parte del sistema de energía solar propiamente dicho, sólo será necesario realizar actuaciones sobre las conexiones del primero a este último, así como la verificación del funcionamiento combinado de ambos sistemas. Se deja un mantenimiento más exhaustivo para la empresa instaladora del sistema auxiliar.

3.7.2 Mantenimiento correctivo.

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

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

3.7.3 Vigilancia.

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Será llevado a cabo, normalmente, por el usuario, que asesorado por el instalador, observará el correcto comportamiento y estado de los elementos, y tendrá un alcance similar al descrito en la siguiente tabla:

<i>Elemento de la instalación</i>	<i>Operación</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Captadores	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados.
	Cristales	3	IV - Condensaciones en las horas centrales del día.
	Juntas	3	IV - Agrietamientos y deformaciones.
	Absorbedor	3	IV - Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV - Fugas.
	Estructura	3	IV- Degradación, indicios de corrosión.
Circuito primario	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV - Ausencia de humedad y fugas.
	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín.
Circuito secundario	Termómetro	Diaria	IV - Temperatura.
	Tubería y aislamiento	6	IV - Ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte superior del depósito.

Tabla 29. Plan de vigilancia.

4 MEDICIONES Y PRESUPUESTO

4.1 Sistema de captación.

NºORD.	CONCEPTO	PRECO UD/ €	UNIDADES	PRECIO TOTAL/ €
1.1	Captador Solar TERMICOL modelo T25MS o similar Dimensiones: 2,13x1,2 metros. Área neta: 2,41 m ² . Peso: 38.4 kg. V=1,59 litros. Factor óptico: 0.792 Caudal óptico: $40 \frac{\text{litros}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$ Coef. de pérdidas K1: 3,674 (W/Km ²) Coef. de pérdidas K2: 0,019 (W/Km ²) Término lineal para caída de presión: 50.796 Término cuadrático para caída de presión: 71.423	655	50	32750
1.2	Soporte vertical TERMICOL modelo T25MS o similar Cubierta plana. Capacidad 5 unidades. Material: Aluminio	707	10	7070
1.3	Anticongelante "Fluidosol" o similar Garrafa de 5 L	180	14	2520
TOTAL				42340

4.2 Sistema de acumulación e intercambio.

NºORD.	CONCEPTO	PRECIO UD/ €	UNIDADES	PRECIO TOTAL/ €
2.1	Interacumulador LAPESA MXV-3500-SS2B o similar Capacidad: 3500 L.	16784	1	16784

	Material: Acero inoxidable. Temperatura máxima de trabajo: 90°C Presión máxima de trabajo: 8 bar. Aislamiento térmico: PU rígido inyectado en molde. Superficie de intercambio: 12.8 m ²			
2.2	Interacumulador LAPESA MXV- 5000-SS2B o similar Capacidad: 5000 L . Material: Acero inoxidable. Temperatura máxima de trabajo: 90°C Presión máxima de trabajo: 8 bar. Aislamiento térmico: PU rígido inyectado en molde. Superficie de intercambio: 15 m ²	20084	1	20084
TOTAL				36868

4.3 Sistema hidráulico.

NºORD.	CONCEPTO	PRECIO UD/€	UNIDADES	PRECIO TOTAL/€
3.1	Bomba de circulación GRUNDFOS CME10-1 A- R-A-E-AQQE o similar Caudal calculado: 4820 L/h Altura de la bomba: 64.31 kPa Presión de trabajo máxima: 10 bar Potencia nominal: 1.1 kW Tensión nominal: 200-240 V	1126	2	2252
3.2	Vaso de expansión IBAIONDO 5-SMF o similar Capacidad: 5 litros Presión máxima: 10 bar.	22.41	1	22.41
3.3	Tubería cobre rígido 1 ½” Norma EN 12735-1-2001	15.72 €/metros	36.03	566.39

	Salvador Escoda S.A. o similar			
3.4	Tubería cobre rígido 1 ¼” Norma EN 12735-1-2001 Salvador Escoda S.A. o similar	13.48 €/metro	111.52	1503.28
3.5	Tubería cobre rígido 1” Norma EN 12735-1-2001 Salvador Escoda S.A. o similar	11.63 €/metro	56	651.28
3.6	Tubería cobre rígido ¾” Norma EN 12735-1-2001 Salvador Escoda S.A. o similar	8.59 €/metro	39	335.01
3.8	Codo 90° 1 ½”	19.25	22	423.5
3.9	Codo 90° 1 ¼”	11.75	6	70.5
3.10	Codo 90° ¾”	1.61	17	27.37
3.11	T de 1 ¼” x 1 ¼” x 1”	47.42	2	95.44
3.12	T de 1 ¼” x 1 ¼” x ¾”	50.18	4	200.72
3.13	T de 1 ¼” x 1” x ¾”	41.12	4	164.48
3.14	T de 1 ¼” x ¾” x ¾”	28.05	4	112.2
3.15	Válvula de corte ¾”	7.76	20	155.2
3.16	Válvula de corte 1 ½”	15.24	17	259.08
3.17	Filtro de asiento inclinado GENEBRE o similar	55.08	1	55.08
3.12	Válvula de seguridad 1 ½”	133.99	1	133.99
3.13	Válvula de retención 1 ½”	17.74	3	53.22
3.14	Purgador de aire GENEBRE o similar	12.12	10	121.2
3.15	Aislamiento Coquillas Armacell modelo Armaflex XG o similar Diámetro: 1 ½” Espesor 45 mm	21.48 €/metro	18.76 metros	402.96
3.16	Aislamiento Coquillas Armacell modelo Armaflex XG o similar	18.25 €/metro	111.52 metros	2035.24

	Diámetro: 1 ¼” Espesor 45 mm			
3.17	Aislamiento Coquillas Armacell modelo Armaflex XG o similar Diámetro: 1 ” Espesor 45 mm	16.44 €/metro	56 metros	920.64
3.18	Aislamiento Coquillas Armacell modelo Armaflex XG o similar Diámetro: ¾ ” Espesor 45 mm	15.81 €/metro	39 metros	616.59
3.19	Aislamiento Coquillas Armacell modelo Armaflex XG o similar Modelo: Armaflex XG Diámetro: 1 ½” Espesor 25 mm	9.6 €/metro	17.3 metros	166.08
TOTAL				11343.86

4.4 Sistema auxiliar.

NºORD.	CONCEPTO	PRECIO UD/ €	UNIDADES	PRECIO TOTAL/ €
4.1	Interacumulador LAPESA MXV-3000-SSB o similar Capacidad: 300 L. Material: Acero inoxidable. Temperatura máxima de trabajo: 90°C Presión máxima de trabajo: 8 bar. Aislamiento térmico: PU rígido inyectado en molde. Superficie de intercambio: 8.4 m ²	14409	1	14409
4.2	Caldera Vitocrossal modelo 100 CI 280 o similar Combustible: Gas Natural. Potencia térmica nominal: 264 kW	13480	1	13480

	Presión máxima de servicio: 6 bar. Peso: 385 kg			
4.3	Vaso de expansión IBAIONDO 5-SMF o similar Capacidad: 5 litros Presión máxima: 10 bar.	22.41	1	22.41
4.4	Bomba de circulación Grundfos SQ 7-15 o similar Caudal calculado: 86310 l/h Altura de la bomba: 32.6 kPa Presión de trabajo máxima: 10 bar Alimentación eléct.: 1x 200- 240V, 50Hz Potencia nominal: 0,7 kW.	1078	2	2156
4.5	Tubería cobre rígido 2" Norma EN 12735-1-2001 Salvador Escoda S.A. o similar	31.92 €/metro	3.04	97.03
4.6	Aislamiento Coquillas Armacell modelo Armaflex XG o similar Diámetro: 2" Espesor 25 mm	11.47 €/metros	3.04	34.86
4.7	Válvula de corte 2"	43.4	16	694.4
4.8	Codo 90° 2"	22.11	8	176.88
4.9	Válvula de seguridad 2" Salvador Escoda S.A o similar	166.61	1	166.61
4.10	Válvula de retención 2" Salvador Escoda S.A. o similar	57.21	3	114.42
4.11	Filtro de asiento inclinado GENEBRE o similar	55.08	1	55.08
TOTAL				31406.69

4.5 Sistema de control y medida.

NºORD.	CONCEPTO	PRECIO UD./ €	UNIDADES	PRECIO TOTAL/ €
5.1	Termómetro Salvador Escoda S.A. o similar Escala 0 a 200°C	17.5	3	52.5
5.2	Manómetro Salvador Escoda S.A. Escala 2,5 a25 bar o similar	5.75	4	23
5.3	Centralita Termicol LTDC- V3 o similar	473	1	473
TOTAL				548.5

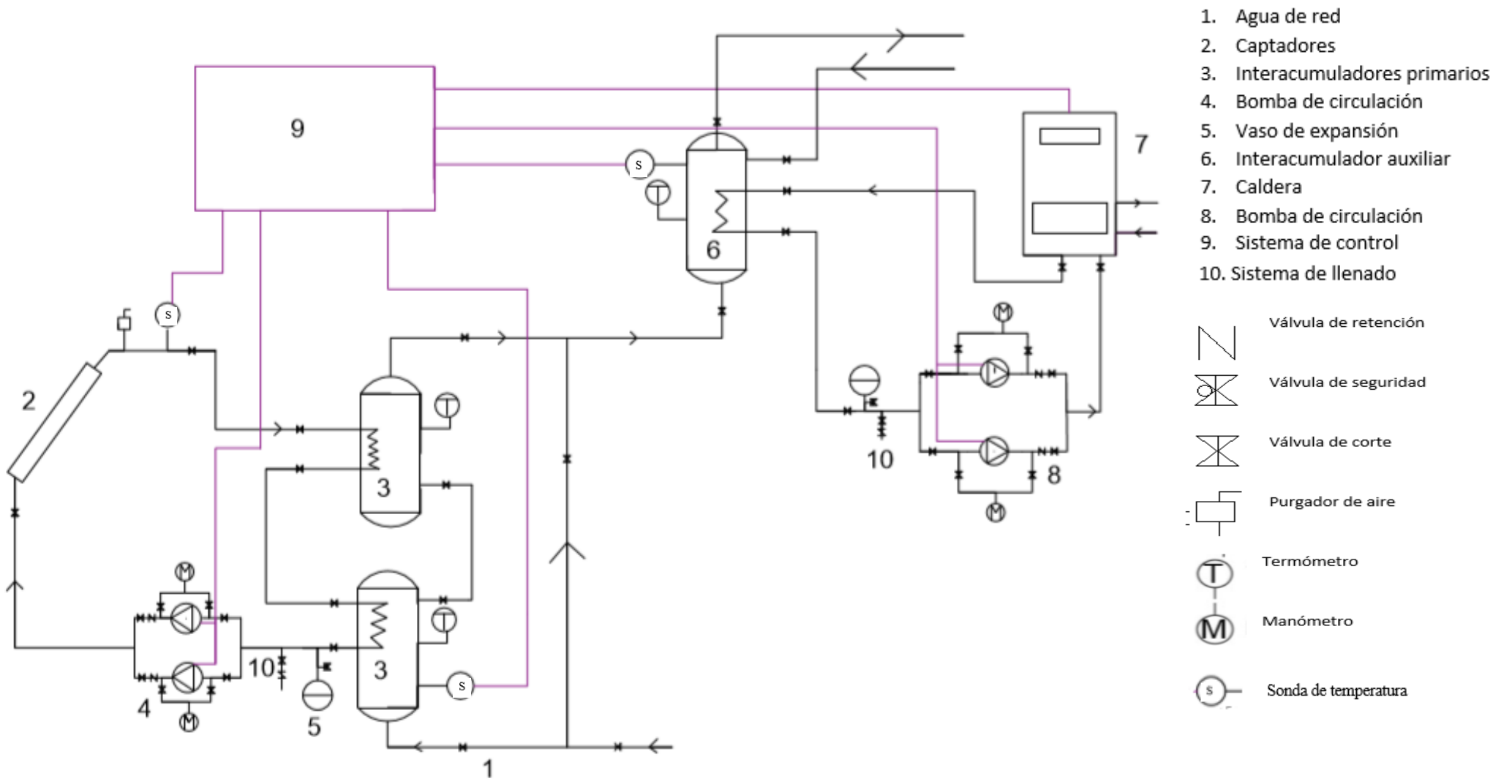
4.6 Presupuesto total.

CONCEPTO	PRECIO /€
Sistema de captación.	42340
Sistema de intercambio y acumulación.	36868
Sistema hidráulico.	11343.86
Sistema auxiliar.	31406.69
Sistema de control.	548.5
TOTAL	122507.05

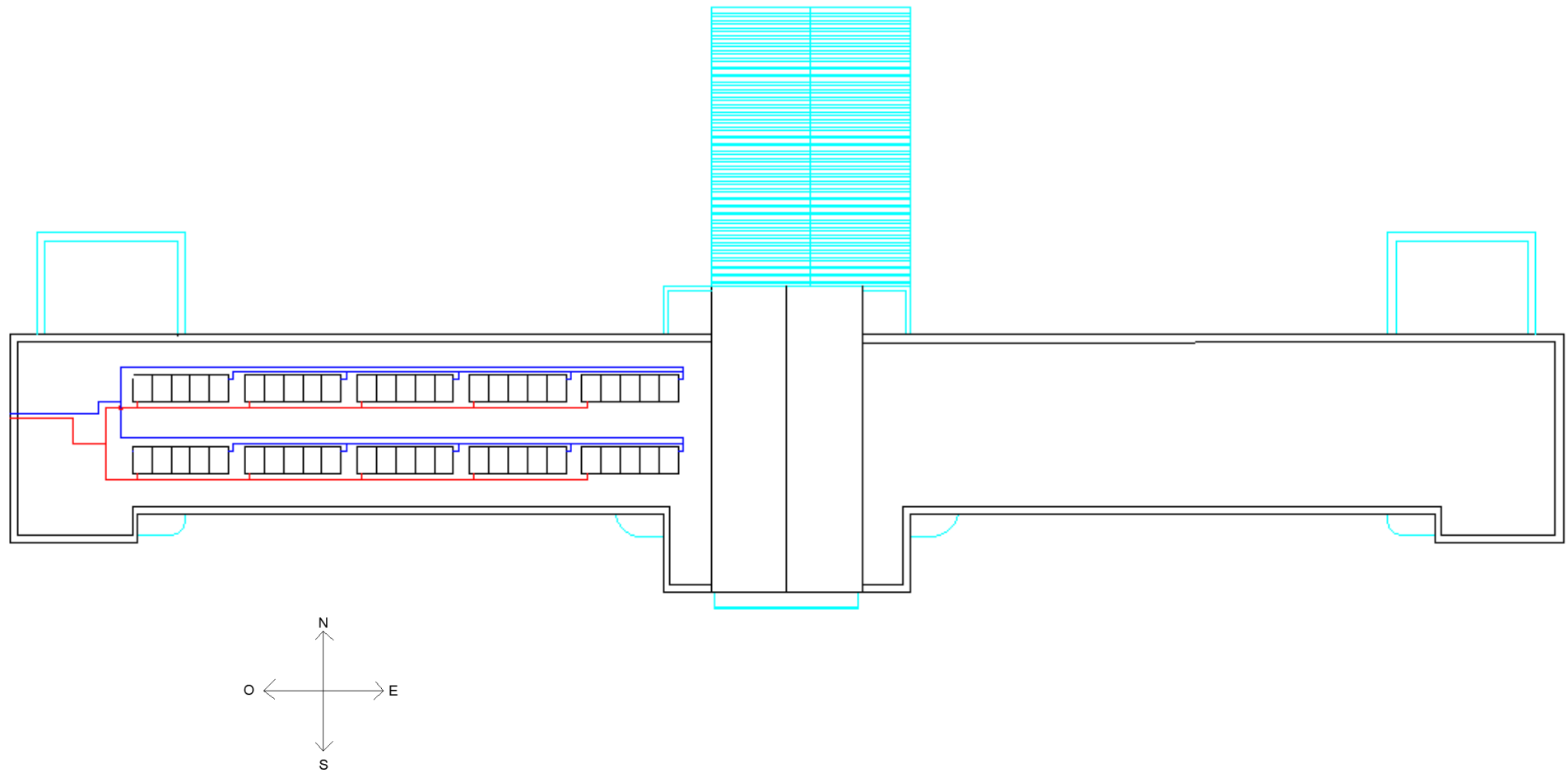
Aplicando los impuestos:

TOTAL SIN IVA	122507.05 €
IVA 21%	25726.48 €
PRESUPUESTO TOTAL	148233.53 €
RATIO (Presupuesto total/ m ² superficie captación)	1167.19 €/m ²

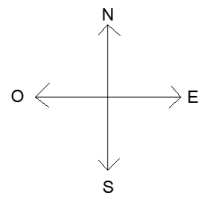
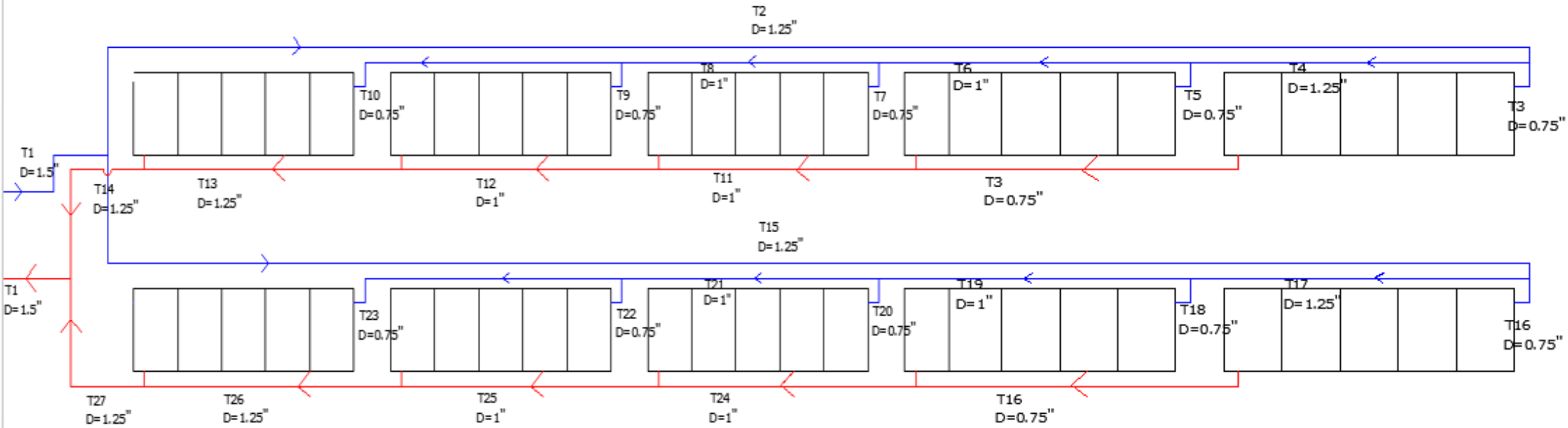
5 PLANOS



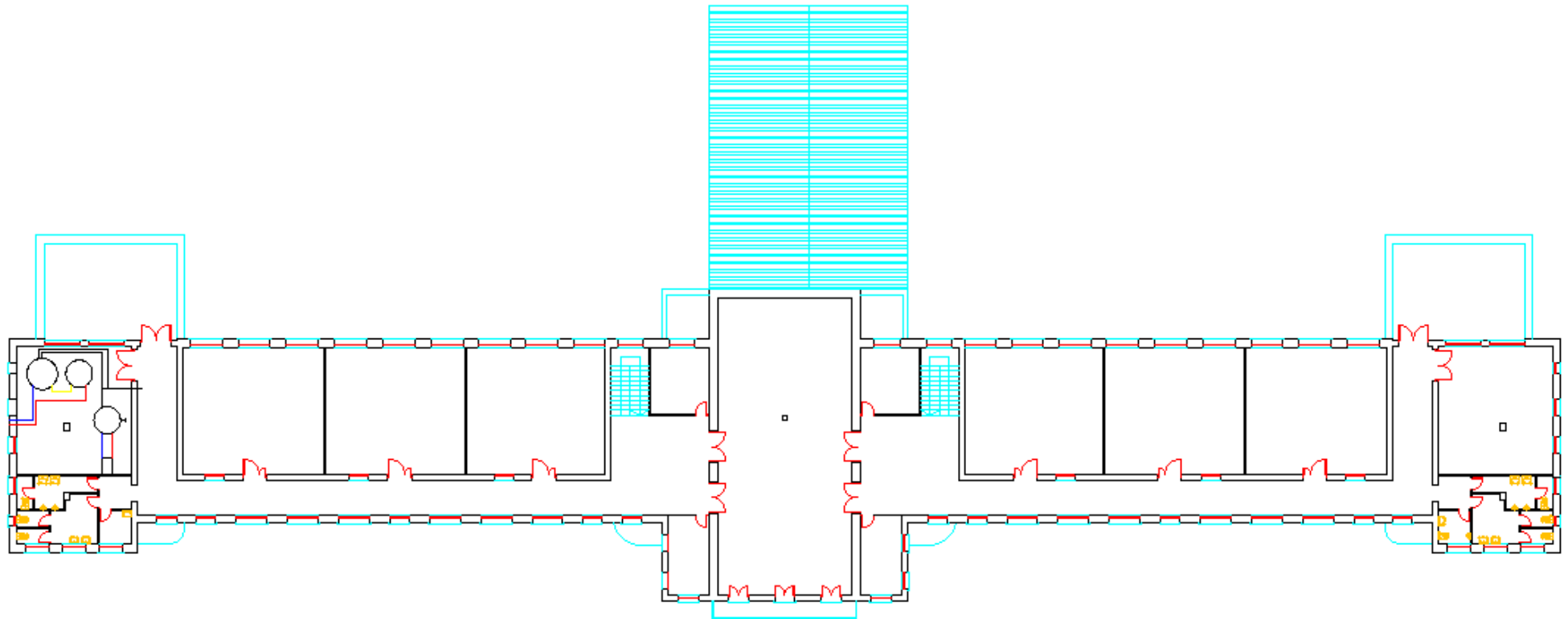
TRABAJO FIN DE GRADO		
Diseño de una instalación de energía solar térmica en un instituto		
Esquema de principio		Nº1
Septiembre 2019	Julia Pacheco Martínez	Escala -



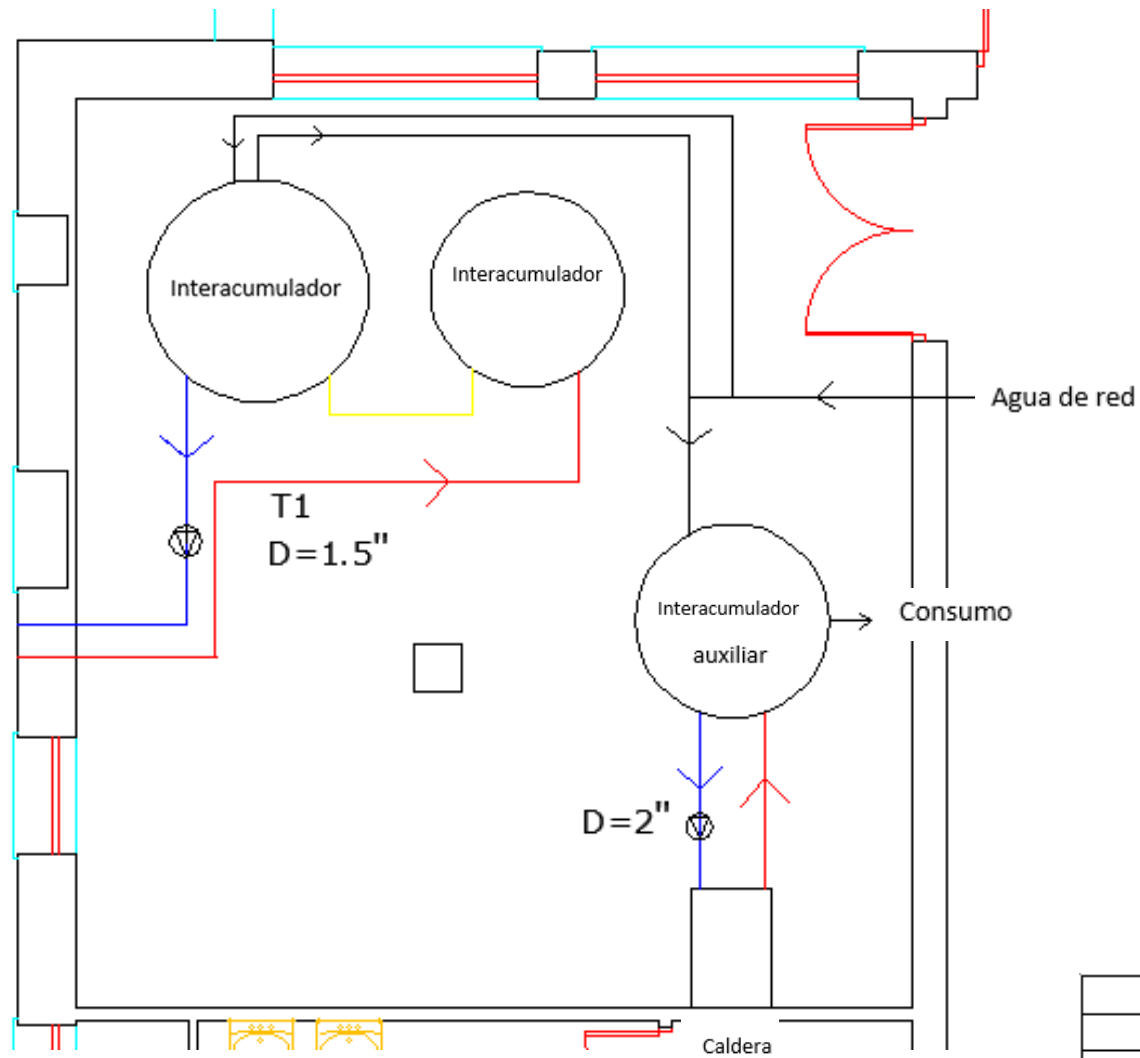
TRABAJO FIN DE GRADO		
Diseño de una instalación de energía solar térmica en un instituto		
Cubierta del edificio	Nº2	
Septiembre 2019	Julia Pacheco Martínez	Escala -



TRABAJO FIN DE GRADO		
Diseño de una instalación de energía solar térmica en un instituto		
Campo de captadores solares	Nº3	
Septiembre 2019	Julia Pacheco Martínez	Escala -



TRABAJO FIN DE GRADO		
Diseño de una instalación de energía solar térmica en un instituto		
Planta de la sala de máquinas		Nº4
Septiembre 2019	Julia Pacheco Martínez	Escala -



TRABAJO FIN DE GRADO		
Diseño de una instalación de energía solar térmica en un instituto		
Sala de máquinas	Nº5	
Septiembre 2019	Julia Pacheco Martínez	Escala -