

Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Diseño de una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel

Autor:

Moisés Jiménez Carmona

Tutor:

José Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

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

Sevilla, 2020

Resumen

En este proyecto se elabora un estudio y diseño para implantar un sistema de energía solar para la producción de agua caliente sanitaria, de ahora en adelante ACS, en un hotel de cuatro estrellas situado en Écija (Sevilla). El objetivo es cumplir con las especificaciones técnicas exigidas por la normativa vigente y al mismo tiempo lograr preservar el medioambiente fomentando el uso de energías renovables.

En el diseño, se realizarán todos los cálculos necesarios con el fin de dimensionar y seleccionar los equipos que sean necesarios en la instalación y por otro lado se analizará el presupuesto de la instalación completa.

Agradecimientos	9
Resumen	11
Abstract	13
Índice	14
Índice de Tablas	16
Índice de Figuras	18
1 MEMORIA DESCRIPTIVA	20
1.1 <i>Objetivo del proyecto</i>	21
1.2 <i>Antecedentes del proyecto</i>	21
1.3 <i>Método de cálculo</i>	23
1.4 <i>Descripción del edificio</i>	25
1.5 <i>Descripción de la instalación</i>	27
1.5.1 Principio de funcionamiento	27
1.5.2 Esquema de principio	29
1.5.3 Elementos principales de la instalación	30
1.6 <i>Características de los equipos</i>	32
1.6.1 Captadores	33
1.6.2 Interacumulador	33
1.6.3 Caldera auxiliar	34
1.6.4 Bomba	35
1.6.5 Vasos de expansión	35
1.7 <i>Normativa</i>	36
1.7.1 Código Técnico de la Edificación (CTE)	36
1.7.2 Norma UNE	37
1.7.3 Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)	38
1.8 <i>Bibliografía</i>	38
2 MEMORIA DE CÁLCULO	39
2.1 <i>Introducción</i>	40
2.2 <i>Datos de partida</i>	40
2.2.1 Datos geográficos	40
2.2.2 Datos climatológicos	40
2.2.3 Radiación solar sobre superficie inclinada	41
2.3 <i>Cálculo de la demanda</i>	44
2.3.1 Cálculo del consumo del agua	44
2.3.2 Cálculo de la demanda energética	45
2.4 <i>Cálculo del volumen de acumulación y de la superficie de captación</i>	46
2.5 <i>Cálculo de la red de tuberías del circuito primario</i>	49
2.5.1 Pérdida de carga en la red de tuberías	52
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 de espesores de aislamiento para tuberías del circuito primario</i>	59
2.9	<i>Selección de accesorios</i>	60
Anexo I		61
3	PLIEGO DE CONDICIONES	64
3.1	<i>Objeto</i>	65
3.2	<i>Normativa aplicable</i>	65
3.3	<i>Condiciones de materiales y equipos</i>	65
3.3.1	Tuberías	65
3.3.2	Accesorios	65
3.3.3	Captadores	67
3.3.4	Acumuladores	67
3.3.5	Bombas	68
3.3.6	Vasos de expansión	68
3.3.7	Válvulas	68
3.3.8	Aislamiento	69
3.3.9	Sistema eléctrico y de control	69
3.3.10	Sistema de medida	69
3.4	<i>Condiciones de montaje</i>	70
3.5	<i>Provisión de material</i>	70
3.6	<i>Pruebas, puesta en marcha y recepción</i>	70
3.6.1	General	70
3.6.2	Pruebas parciales	71
3.6.3	Pruebas finales	71
3.6.4	Ajustes y equilibrado	71
3.6.5	Recepción	72
3.7	<i>Mantenimiento</i>	72
3.7.1	Vigilancia	72
3.7.2	Mantenimiento preventivo	72
3.7.3	Mantenimiento correctivo	74
4	PRESUPUESTO	75
4.1	<i>Sistema de captación</i>	76
4.2	<i>Sistema de acumulación</i>	76
4.3	<i>Sistema de control y seguridad</i>	76
4.4	<i>Sistema hidráulico</i>	77
4.5	<i>Presupuesto total</i>	77
5	PLANOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Potencia nacional instalada	22
Tabla 2: Contribución mínima solar para ACS	36
Tabla 3: Pérdidas límite	37
Tabla 4: Datos geográficos del hotel	40
Tabla 5: Datos de radiación, temperatura del agua de red y ambiente de Écija	41
Tabla 6: Declinación solar y ángulo horario	42
Tabla 7: Irradiación goblal extraterrestre horizontal e índice de claridad medio	42
Tabla 8: Irradiación global, directa y difusa	43
Tabla 9: Irradiación global sobre superficie horizontal e inclinada	44
Tabla 10: Demanda L/día por persona a 60°C	44
Tabla 11: Resultados del cálculo de la demanda mensual	46
Tabla 12: Datos de partida en CHEQ4	47
Tabla 13: Posibilidades del número de captadores	48
Tabla 14: Resultados CHEQ4	49
Tabla 15: Velocidad del fluido en función del caudal y el diámetro de las tuberías	52
Tabla 16: Pérdida de carga en función del caudal y del diámetro de las tuberías	52
Tabla 17: Pérdidas de carga en los diferentes tramos del circuito primario	53
Tabla 18: Longitudes equivalentes de los diferentes accesorios en función del diámetro	54
Tabla 19: Accesorios en cada tramo	54
Tabla 20: Pérdidas de carga en los distintos circuitos posibles	56
Tabla 21: Volumen de cada tramo del circuito primario	58
Tabla 22: Vasos de expansión IBAIONDO, modelo SMF	59
Tabla 23: Espesor mínimo del aislamiento (mm) en función del diámetro de tubería que discurre por el interior de un edificio	59
Tabla 24: Espesor mínimo del aislamiento (mm) en función del diámetro de tubería que discurre por el exterior de un edificio	59
Tabla 25: Espesores de aislamiento de tuberías para cada tramo	60
Tabla 26: Plan de vigilancia de la instalación solar	73
Tabla 27: Plan de mantenimiento preventivo del sistema de captación	73
Tabla 28: Plan de mantenimiento preventivo del sistema de acumulación	73
Tabla 29: Plan de mantenimiento preventivo del sistema hidráulico	74
Tabla 30: Plan de mantenimiento preventivo del sistema de control	74
Tabla 31: Presupuesto del sistema de captación	76
Tabla 32: Presupuesto del sistema de acumulación	76
Tabla 33: Presupuesto del sistema auxiliar	76
Tabla 34: Presupuesto del sistema hidráulico	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución del consumo de energía primaria en España en 2018	21
Figura 2: Generación de energía en los dos últimos años	22
Figura 3: Pantalla “Localización” en CHEQ4	23
Figura 4: Pantalla “Configuración” en CHEQ4	24
Figura 5: Pantalla “Demanda” en CHEQ4	24
Figura 6: Pantalla “Solar/Apoyo” en CHEQ4	25
Figura 7: Pantalla “Otros parámetros” en CHEQ4	26
Figura 8: Pantalla “Resultados” en CHEQ4	26
Figura 9: Localización de la parcela donde está situado el hotel	26
Figura 10: Vista satélite de la ubicación del hotel	27
Figura 11: Vista del hotel	28
Figura 12: Esquema de las partes de una instalación solar	28
Figura 13: Esquema de principio de la instalación solar de producción de ACS	29
Figura 14: Partes de un captador solar plano	30
Figura 15: Vista interior de un sistema de acumulación con serpentín	31
Figura 16: Bomba de circulación	31
Figura 17: Vaso de expansión	32
Figura 18: Dimensiones y características del captador Chromagen QR-E	33
Figura 19: Calidades de fabricación del captador Chromagen QR-E	33
Figura 20: Hoja de características del interacumulador LAPESA con serpentín	34
Figura 21: Hoja de características del interacumulador LAPESA con serpentín	34
Figura 22: Características de la caldera auxiliar BAXI	35
Figura 23: Ficha técnica bomba WILO Stratos 50/1-8	35
Figura 24: Características vaso de expansión IBAIONDO 2 SMF	36
Figura 25: Gráfica Irradiación global sobre superficie horizontal e inclinada	43
Figura 26: Gráfica de la demanda mensual energética de ACS	46
Figura 27: Gráfica de la variación de f con el número de captadores	48
Figura 28: Gráfica de variación de f , área de captación y ratio V/A con respecto al número de captadores	49
Figura 29: Distribución de captadores y red de tuberías del circuito primario	50
Figura 30: Esquema de los tramos de la red de tuberías del circuito primario	50
Figura 31: Esquema de la red de tuberías y los diferentes tramos para cada fila de captadores	51
Figura 32: Pérdida de carga en el interacumulador	55
Figura 33: Curva característica de la bomba de circulación	56
Figura 34: Características centralita de control TERMICOL, marca XTDC.	60
Figura 35: Distribución del presupuesto total	78

1 MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Objetivo del proyecto

Este trabajo de fin de grado tiene como objetivo diseñar una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel de cuatro estrellas. Esta instalación se ha hecho en un hotel diseñado en un proyecto final de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Sevilla, realizado por María del Valle Huertas Ariza. El hotel de cuatro estrellas está situado en la avenida del Genil, frente a la actual estación de autobus de la ciudad astigitana.

En primer lugar, se determinará la demanda necesaria de ACS y siguiendo las directrices fijadas por la normativa vigente se calculará la fracción de demanda que debe cubrirse con energía solar.

Una vez calculada la demanda, se realizará un cálculo de los equipos necesarios y se hará la elección de los mismo en función de su características técnicas. Posteriormente, se realizará una evaluación económica del proyecto con el fin de obtener un presupuesto del mismo.

1.2 Antecedentes del proyecto

Históricamente, uno de los elementos que ha limitado el desarrollo económico de España ha sido la pobreza de recursos energéticos, en concreto la carencia de hidrocarburos líquidos y gaseosos y la mala calidad y carestía del carbón existente. La escasez de recursos ha condenado tradicionalmente al sistema energético nacional a una situación de déficit y dependencia exterior.

Este hecho, junto a la elevada demanda de energía y los problemas asociados a las energías procedentes de los combustibles fósiles, han provocado la conciencia de la sociedad en el uso de las energías no renovables y una mayor sensibilidad climática.

Tradicionalmente, las energías renovables han tenido poco peso en relación a la gran demanda de energía primaria. Es por ello que, en los últimos años, han promovido el uso de este tipo de energías. De esta forma, han conseguido aumentar la cobertura de energía primaria de las renovables. En la figura 1 se puede observar el consumo de energía primaria en España en 2018.

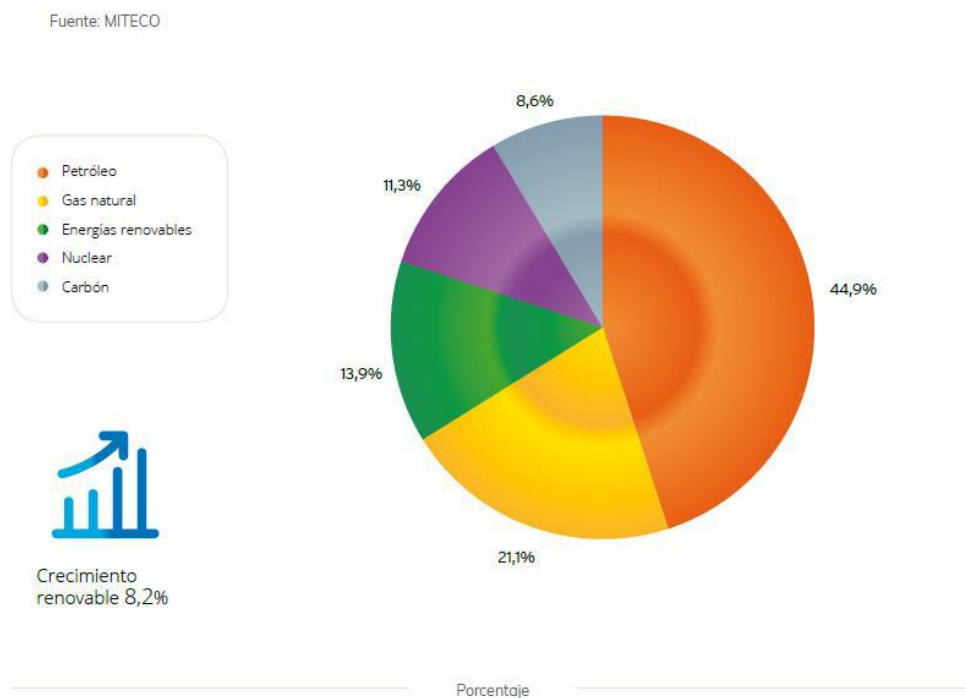


Figura 1: Distribución del consumo de energía primaria en España en 2018

Las principales ventajas de las energías renovables son:

- Son más respetuosas con el medio ambiente. Son limpias y disminuyen la emisión de gases de efecto invernadero.
- Son inagotables, ya que se obtienen de recursos con amplias magnitudes o que se regeneran de manera natural.
- Reducen la dependencia con el exterior y promueven la autonomía del territorio nacional en la producción de energía.

España es uno de los países con mejores condiciones climatológicas para el uso y producción de este tipo de energías. La figura 2 muestra la generación de energía en el último año y su evolución respecto a datos de 2018.

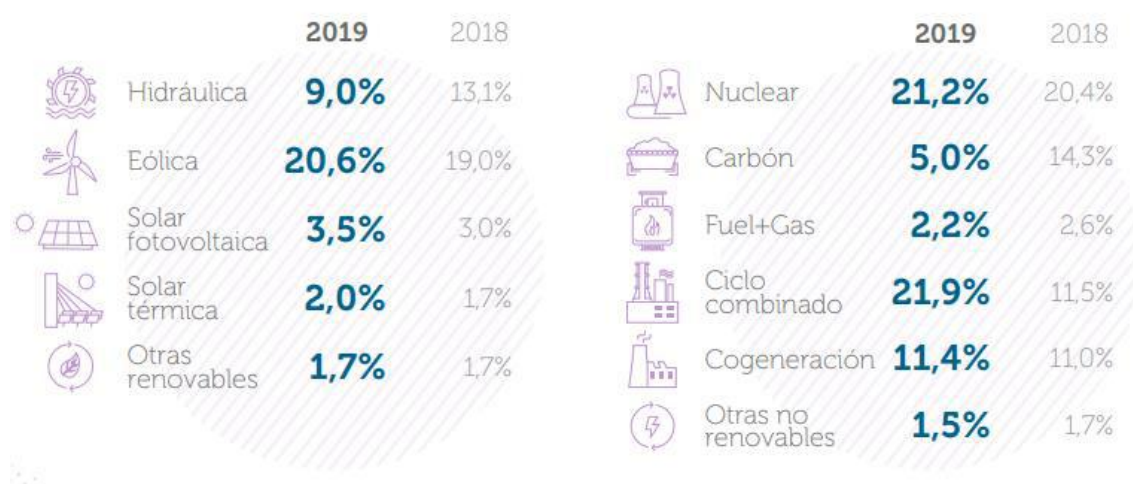


Figura 2: Generación de energía en los dos últimos años

Por último, en la tabla 1 se puede ver la potencia nacional instalada en los últimos 5 años.

	2016	2017	2018	2019	2020
Hidráulica convencional y mixta	17.030	17.028	17.046	17.085	17.085
Bombeo puro	3.329	3.329	3.329	3.329	3.329
Nuclear	7.573	7.117	7.117	7.117	7.117
Carbón	10.004	10.004	10.030	9.683	9.456
Fuel + Gas	2.490	2.490	2.490	2.447	2.447
Ciclo combinado	26.670	26.670	26.284	26.284	26.284
Hidroeólica	11	11	11	11	11
Eólica	23.001	23.082	23.545	25.783	25.806
Solar fotovoltaica	4.683	4.685	4.712	8.913	9.049
Solar térmica	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304
Térmica renovable/Otras renovables	870	872	877	1.076	1.076
Térmica no renovable/Cogeneración y resto/Cogeneración	5.965	5.801	5.727	5.677	5.672
Residuos no renovables	496	496	490	490	490
Residuos renovables	160	160	160	160	160
total	104587,554	104049,99	104123,129	110360,45	110287,476

Tabla 1: Potencia nacional instalada

1.3 Método de cálculo

El principal objetivo para el diseño de la instalación es determinar la demanda de ACS y calcular el porcentaje de la demanda cubierta por energía solar, según la normativa vigente.

Uno de los métodos más utilizados para determinar la fracción de demanda cubierta en instalaciones de ACS mediante captadores solares planos es el método F-Chart. Es conocido por ser un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones. Este método se basa en varias ecuaciones de transmisión de calor y, mediante una serie de parámetros adimensionales, nos facilita los parámetros de diseño de nuestra instalación.

Para que el software pueda desarrollar los cálculos y determinar si nuestra instalación cumple o no los requisitos de la normativa vigente, hay que introducir una serie de datos.

1. **Localización.** En primer lugar, el CHEQ4 pide que se introduzcan los datos de dónde se encuentra la instalación. El programa pedirá la localidad y provincia y dará como resultados la zona climática a la que pertenece dicha localidad, la latitud, la altura con respecto al nivel del mar y los datos de la radiación solar mensual y las correspondientes temperaturas de la red y ambiente. En la figura 3 se puede ver la primera pantalla del programa.

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

Provincia: Sevilla Municipio: Écija Zona climática: Zona V Latitud: 37° 32'

Mapa provincia

Altura municipio seleccionado (m): 109

Altura de la instalación (m): 109

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	9,8	10,4	9,7
Febrero	13,2	10,4	10,9
Marzo	18,1	12,4	13,0
Abril	22,1	13,4	15,0
Mayo	25,2	15,4	18,6
Junio	28,4	18,4	22,4
Julio	29,2	20,4	25,8
Agosto	25,9	20,4	25,8
Septiembre	20,8	19,4	23,4
Octubre	14,5	15,4	18,5
Noviembre	10,5	12,4	13,3
Diciembre	8,4	10,4	10,1
Promedio	18,8	14,9	17,2

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura 3: Pantalla “Localización” en CHEQ4

2. **Configuración.** Una vez se han introducido los datos de la localización de nuestra instalación, el programa nos pedirá que seleccionemos entre varias opciones la configuración más adecuada o que más se asemeja a la nuestra. En la figura 4 se pueden observar las distintas posibilidades.

Como se puede ver en dicha imagen, las distintas configuraciones posibles se dividen en las de consumo único y consumo múltiple.

3. **Demanda.** El siguiente paso, si se ha escogido una configuración de consumo único, es introducir los datos respecto a la demanda. Primero hay que especificar entre las distintas opciones cuál es la aplicación de nuestra instalación solar. En el caso de este proyecto, la instalación es un hotel de 4 estrellas. Introduciendo el número de personas que van a usar la instalación, el programa determinará cuál es la demanda energética en L/día a 60°C. En el caso de que se hubiese escogido consumo múltiple, habría que introducir el número de viviendas y de dormitorios de la instalación.

Con respecto al consumo total, el programa pedirá “Otras demandas” que no se hayan incluido en la demanda anterior. La pantalla del programa correspondiente a la demanda se puede ver en la figura 5.



Figura 4: Pantalla “Configuración” en CHEQ4

CONSUMO MÚLTIPLE		Personas	Litros/día
Tipo A	0	0	0
Tipo B	0	0	0
Tipo C	0	0	0
Tipo D	0	0	0

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)						
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	
100	100	100	100	100	100	
Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
100	100	100	100	100	100	

Figura 5: Pantalla “Demanda” en CHEQ4

4. **Solar/Apoyo.** En este apartado, se deben introducir las características o parámetros fundamentales de nuestra instalación. Se puede ver en la figura 6 los parámetros a especificar en el software.
- Captadores:** Hay que elegir una marca y modelo de captador para nuestra instalación de una base de datos de captadores certificados. Además, habrá que hallar cuántos captadores tiene la instalación y cuántos de ellos van conectados en serie, su orientación e inclinación.
 - Circuito primario/secundario:** caudal, diámetro, espesor de aislante y longitudes de las tuberías que conforman la instalación.
 - Sistema de apoyo:** hay que elegir un sistema auxiliar para cuando la instalación solar no sea capaz de cubrir la demanda energética.

Figura 6: Pantalla “Solar/Apoyo” en CHEQ4

5. **Otros parámetros del sistema:** En este apartado hay que definir otros parámetros de la instalación como son el volumen de acumulación, datos del circuito de distribución y datos de la piscina, en el caso de que hubiese, tal y como se muestra en la figura 7.
6. **Resultados:** Por último, una vez introducidos todos los datos y parámetros de la instalación, el programa muestra los resultados. En primer lugar, especifica si la instalación cumple los requisitos de contribución solar mínima del HE 4. Además, proporciona una tabla con los resultados de la fracción solar cubierta (%), demanda neta y bruta, así como el aporte solar y el consumo auxiliar. En la figura 8, se observan los resultados que arroja el software una vez se han introducido todos los parámetros de la instalación objeto de estudio.

1.4 Descripción del edificio

Nuestra instalación solar de producción se encuentra en Écija, concretamente en una parcela colindante con la estación de autobús. En la figura 9, se puede observar la parcela colindante a la estación de autobús donde está construido el hotel.

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

VOLUMEN DE ACUMULACIÓN

Volumen total (l)

Vol/Área (l/m2) 53,65

DISTRIBUCIÓN

Long. circuito (m)

Diám. tubería (mm)

Esp. aislante (mm) T. imp.(°C)

Aislante

VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES

Tipo A (l) Tipo C (l)

Tipo B (l) Tipo D (l)

Volumen total (l) Vol/Área (l/m2)

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)

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura 7: Pantalla “Otros parámetros” en CHEQ4

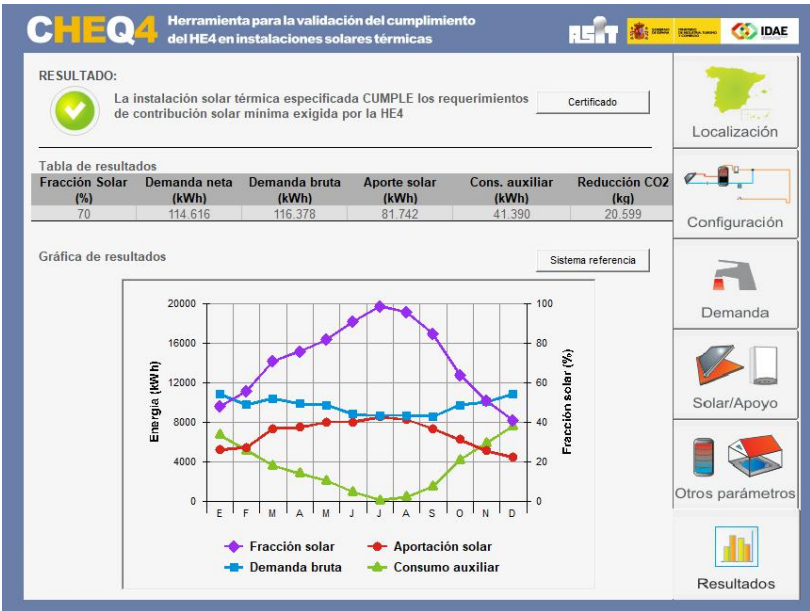


Figura 8: Pantalla “Resultados” en CHEQ4



Figura 9: Localización de la parcela donde está situado el hotel



Figura 11: Vista del hotel

- ✓ **Sistema de captación:** es el encargado de transformar la energía procedente del sol en energía térmica mediante los captadores solares.
- ✓ **Sistema de intercambio:** tiene como función transferir la energía que circula por el fluido caloportador anterior a otro fluido, normalmente agua, posteriormente usada como ACS. Este sistema puede estar integrado en el sistema de acumulación.
- ✓ **Sistema de acumulación:** su finalidad es almacenar el agua para cuando se necesite usarla intentando aislarla en la medida de lo posible para mantener la temperatura.
- ✓ **Sistema auxiliar:** este sistema requiere la producción de la energía adicional que es necesaria cuando el sistema de captación no es capaz de cubrir toda la demanda requerida.
- ✓ **Sistema hidráulico:** transporta la energía contenida en el fluido por toda la instalación. Desde el sistema de captación y auxiliar hasta el punto de consumo pasando por el sistema de intercambio y de acumulación.
- ✓ **Sistema de regulación y control:** este sistema se ocupa de la producción de un buen funcionamiento en todo momento de la instalación.

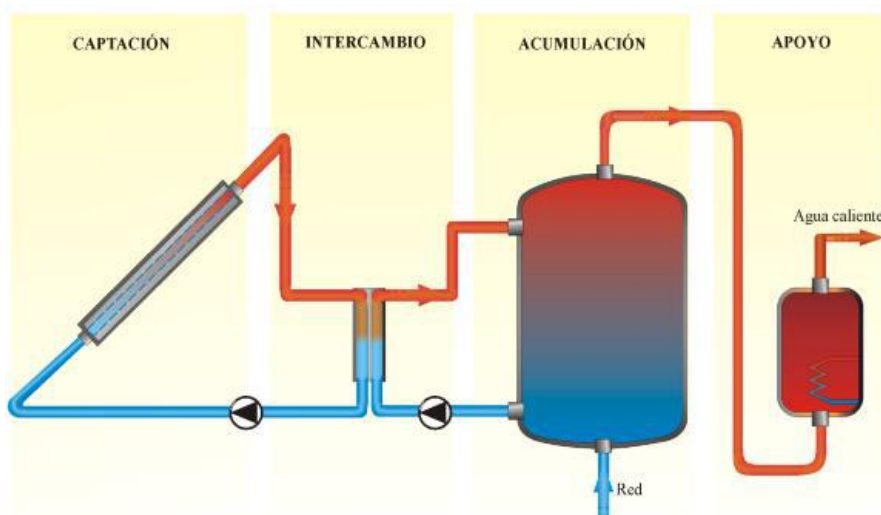


Figura 12: Esquema de las partes de una instalación solar

1.5.2 Esquema de principio

En primer lugar, hay que definir el esquema de principio de la instalación solar, incluyendo los elementos anteriormente mencionados así como otros detalles que hacen que la instalación cumpla su objetivo.

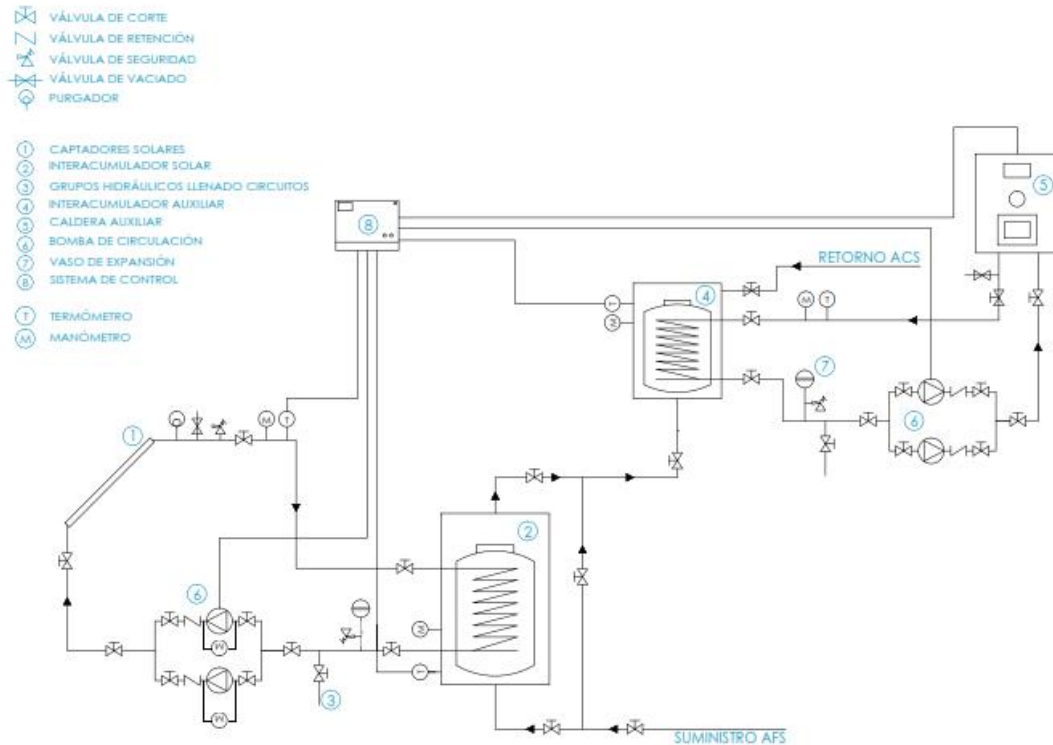


Figura 13: Esquema de principio de la instalación solar de producción de ACS

A través del esquema de la figura 13, se puede hacer una pequeña descripción del funcionamiento de esta instalación:

- 1) Los captadores obtienen la radiación solar y la transmiten a un fluido que será impulsado por el circuito primario hasta el serpentín del interacumulador para luego regresar hacia los captadores comenzando el ciclo.
- 2) En el interacumulador se transfiere la energía térmica del circuito primario al agua del circuito secundario a través de un serpentín que es el que hace de intercambiador de calor.
- 3) El agua de red es llevada hasta el depósito de acumulación o interacumulador por la parte inferior para que sea calentada con el fluido caloportador del circuito primario. En el caso de que la demanda energética no pueda ser satisfecha con la instalación solar, se hará con el sistema auxiliar formado por una caldera convencional.
- 4) Además, existe un sistema de control que asegura el buen funcionamiento de la instalación. Este sistema no dejará que la temperatura del fluido caloportador baje de los 3°C, superior a la temperatura de congelación del fluido. Actuará de tal forma que las bombas no estén funcionando cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y que funcionen si esta diferencia es mayor de 7°C. Así mismo, es necesario que, mediante el termómetro en el interacumulador auxiliar, se active la caldera auxiliar cuando se detecte que el agua de éste se encuentra por debajo de los 60°C. De esta forma, el sistema de control activa la caldera auxiliar cuando la energía térmica almacenada no es suficiente para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria.

Es necesario que el sistema de control esté bien diseñado para que los distintos equipos que conforman la instalación no se vean dañados con los cambios de temperatura.

1.5.3 Elementos principales de la instalación

➤ Captadores solares planos

Un captador solar plano actúa como un intercambiador de calor que transforma energía radiante en energía térmica. En un captador se produce un efecto invernadero, dejando pasar la radiación solar y de esta forma aumentando la energía dentro del captador. Así, se aumenta la temperatura. Dentro de los captadores hay una serie de conductos por los que circula un fluido caloportador al que se transfiere la energía captada. En la figura 14, se detallan las partes internas de un captador para que así entender mejor su funcionamiento.

El funcionamiento del captador solar plano está basado en los siguientes principios tales como:

- a) La aportación de energía solar no es “controlable”.
- b) La demanda y el aporte de energía solar están desfasados.
- c) La orientación e inclinación del captador influyen fuertemente en el rendimiento.
- d) El rendimiento de captación aumenta al disminuir la temperatura del fluido a la entrada.
- e) Interesa captar la energía solar a la mayor temperatura posible.
- f) Dar prioridad al consumo de la energía solar frente a la convencional.

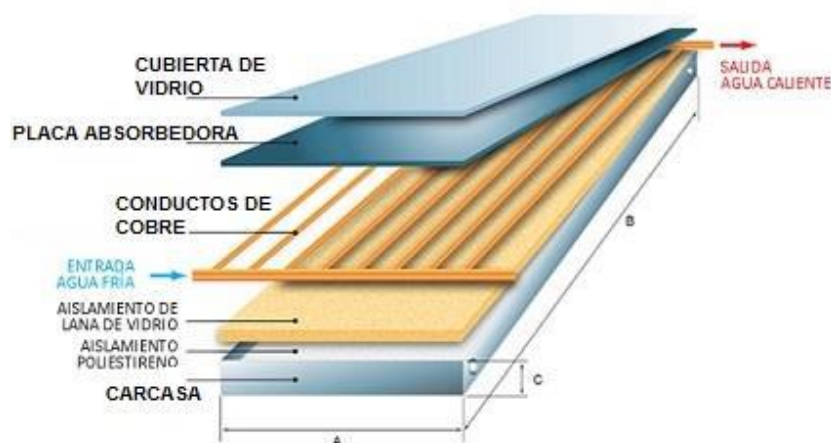


Figura 14: Partes de un captador solar plano

➤ Sistema de acumulación

Como se ha comentado anteriormente, la aportación de energía solar no es controlable de manera que brota la idea de almacenar la energía para disponer de ACS en el caso de que no haya suficiente radiación solar para encubrir la demanda.

Por ello se instalan los depósitos de acumulación que son cargados en las horas punta del día debido a la gran aportación de radiación solar que reciben. Estos depósitos deben estar bien aislados para evitar pérdidas térmicas. De esta forma, podremos disponer de ACS en las horas con menos radiación solar.

Este tipo de depósitos se colocan con disposición vertical, de esta forma se producirá el efecto de estratificación. Esto se logra por la diferencia de densidad entre el agua caliente y la fría, ya que el agua más caliente se encuentra en la parte alta del acumulador y es colocada la toma de salida para el consumo. En cuanto a la parte baja donde el agua tiene menor temperatura, se coloca la salida hacia el intercambiador para calentar dicha agua.

Entre los sistemas de acumulación, destacan el interacumulador con serpentín en el interior del

depósito que actúa como intercambiador de calor así como el depósito de acumulación, que suele tener un intercambiador en el exterior. En la figura 15, se puede ver un interacumulador con serpentín en su interior.

El encargado de mantener el depósito interacumulador a la temperatura que se quiera tener es el serpentín y la energía que es suministrada en él es producida por la caldera auxiliar en nuestro caso.

➤ **Caldera convencional**

Cuando no sea posible satisfacer la demanda de energía con la instalación solar, se recurre al sistema auxiliar, formado normalmente por una caldera convencional, de gas o combustible líquido.



Figura 15: Vista interior de un sistema de acumulación con serpentín

La caldera se encarga de aportar la energía necesaria para calentar el agua del interacumulador cuando la energía solar no es suficiente como para satisfacer toda la demanda.

➤ **Bombas de circulación**

Las bombas tendrán como función mover el fluido por los circuitos primarios y secundarios. Hay que tener en cuenta que estos dos circuitos tienen características distintas. Las bombas serán accionadas por motores eléctricos que deberán actuar a una velocidad variable para que se trabaje en distintas condiciones de operación. Un ejemplo de bomba de circulación para este tipo de instalaciones se puede ver en la figura 16.



Figura 16: Bomba de circulación

➤ Vasos de expansión

Los vasos de expansión son elementos de seguridad esenciales en una instalación térmica solar. En algunos determinados momentos del funcionamiento de la instalación se producen incrementos de volumen a causa del aumento de la temperatura del fluido caloportador. Los vasos de expansión absorben esos aumentos de volumen y previenen presiones elevadas en el circuito impidiendo que haya problemas mecánicos en el circuito.



Figura 17: Vaso de expansión

➤ Aislamiento

Tanto las tuberías como los equipos tienen que contar con un aislamiento adecuado para que así se eviten pérdidas de calor y se mantengan unas temperaturas adecuadas de operación.

➤ Sistema de control

Sistema de protección que asegura el buen funcionamiento de la instalación. Asegura que en ningún punto del circuito se alcancen temperaturas excesivamente elevadas que puedan dañar algunos de los equipos. Además, este sistema no dejará que la temperatura del fluido caloportador baje de los 3°C, superior a la temperatura de congelación del fluido.

Actuará de tal forma que las bombas no estén funcionando cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y que no estén paradas si esta diferencia es mayor de 7°C.

Para ello, el sistema de control tendrá unos sensores de temperatura, a la salida de los captadores y a la salida del depósito acumulador. Este sistema se encargará también de activar o no el sistema auxiliar en el caso de que sea necesario.

1.6 Características de los equipos

En este apartado se van a especificar las características de los equipos seleccionados para nuestra instalación. Los parámetros de funcionamiento y las condiciones de operación de estos equipos nos los facilitan los respectivos fabricantes en los catálogos de cada equipo. A continuación, vamos a detallar las características fundamentales de cada uno de ellos a través de sus catálogos.

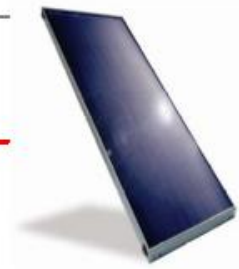
1.6.1 Captadores

Los captadores seleccionados son del fabricante Chromagen, modelo QR-E. En las figura 18 y 19 se pueden ver las características fundamentales de este modelo de captador.

Dimensiones y Pesos

Largo Total	2.190 mm
Ancho Total	1.090 mm
Fondo	90 mm
Área Total	2,33 m ²
Área de Apertura	2,17 m ²
Área del Absorbedor	2,14 m ²

Peso en vacío	35 Kg
Capacidad del fluido	1,3 l
Fluido caloportador	agua ó agua glicolada
T° de estancamiento	165 °C
Flexión máxima del captador	1.000 Pa



Presiones de prueba y caudal recomendado

Presión de timbre	14 bar
Presión máxima de trabajo	10 bar
Caudal recomendado	45 l/h-m2
Caída de presión (mm.c.a.)	1,9-qi ² +7,3-qi (l/min)

Figura 18: Dimensiones y características del captador Chromagen QR-E

Calidades de fabricación

Absorbedor:	Aleta de aluminio soldada por láser a parrilla de conductos de cobre. Recubrimiento de pintura solar selectiva. Absortividad 0,95 y Emisividad 0,45
Aislamiento:	Capa de poliuretano rígido inyectado de 25mm de espesor.
Vidrio Solar:	Panel único de vidrio solar de 3,2mm de espesor rodeado por una junta de goma de EPDM.
Parrilla de tubos:	Cobre de 8mm de diámetro conectada a tuberías colectoras de 22mm
Dorso:	Polipropileno negro moldeado.
Lámina de aluminio:	Adherida al aislamiento actúa como barrera contra pérdidas de calor por el dorso del captador.
Carcasa:	Acero Galvanizado lacado epoxidicamente en gris.
Conexiones roscadas:	Conexiones hembra roscadas de 3/4" de bronce

Figura 19: Calidades de fabricación del captador Chromagen QR-E

1.6.2 Interacumulador

Se ha escogido el interacumulador LAPESA, modelo MVV 6000 SB. La figura 20 muestra las principales características de los depósitos de acero vitrificado que llevan serpetín en su interior. En la figura 21, se pueden observar las distintas características técnicas en función del modelo que se escoja.

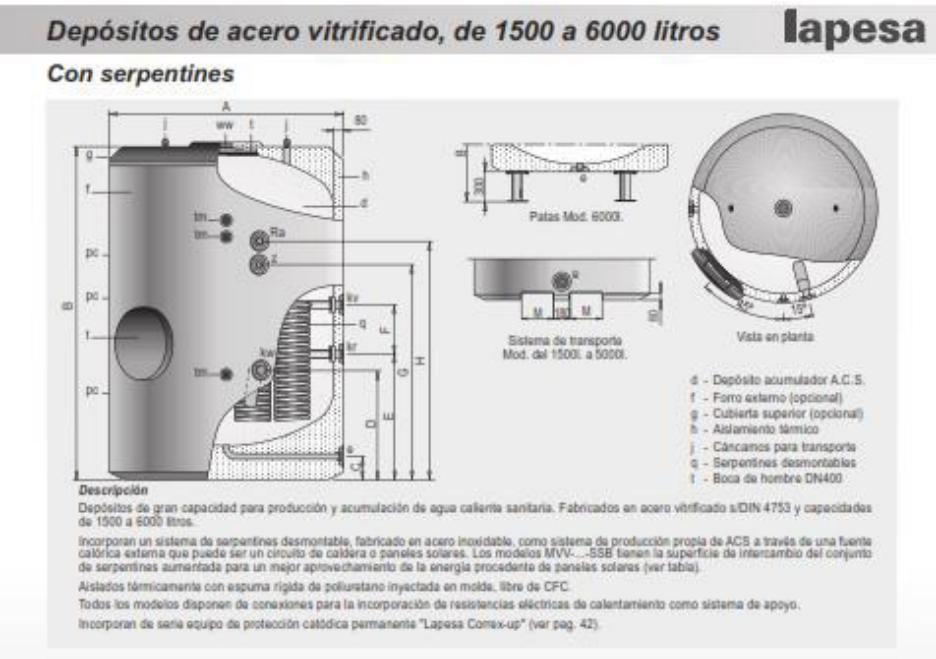


Figura 20: Hoja de características del interacumulador LAPESA con serpentín

Características técnicas / Conexiones / Dimensiones		MVV1500 SB/SSB	MVV2000 SB/SSB	MVV2500 SB/SSB	MVV3000 SB/SSB	MVV3500 SB/SSB	MVV4000 SB/SSB	MVV5000 SB/SSB	MVV6000 SB/SSB
Capacidad de A.C.S.	l	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000	6000
Temperatura máx. depósito de A.C.S.	°C	90	90	90	90	90	90	90	90
Presión máx. depósito de A.C.S. (*)	bar	8	8	8	8	8	8	8	8
Temperatura máx. circuito de calentamiento (*)	°C	120	120	120	120	120	120	120	120
Presión máx. circuito de calentamiento	bar	25	25	25	25	25	25	25	25
Número de serpentines -SB/-SSB	und	2/3	2/3	3/4	3/5	4/5	4/5	5/6	5/6
Capacidad de serpentines -SB/-SSB	l	17/25	19/29	28/35	29/48	38/48	38/48	48/56	48/56
Superficie de intercambio -SB/-SSB	m²	2.8/4.2	3.4/5.0	4.8/6.1	5.0/8.4	6.7/8.4	6.7/8.4	8.4/10.0	8.4/10.0
Peso en vacío aprox. -SB/-SSB	Kg	430/445	495/510	675/685	740/765	810/825	980/995	1110/1120	1216/1228
Cota A: diámetro exterior	mm	1360	1360	1660	1660	1660	1910	1910	1910
Cota B: longitud total	mm	1830	2280	2015	2305	2580	2310	2710	3210
Cota C:	mm	160	160	195	195	195	190	190	—
Cota D:	mm	580	580	800	800	800	880	880	945
Cota E:	mm	780	920	910	1015	1015	1055	1055	1136
Cota F:	mm	400	400	400	400	400	400	400	400
Cota G:	mm	1095	1470	1225	1410	1545	1430	1580	2194
Cota H:	mm	1285	1660	1415	1600	1735	1530	1770	2384
Cota M:	mm	210	210	285	285	285	350	350	—
ir: entrada agua fría	”GAS/M	2	2	3	3	3	3	3	3
ir: desagüe	”GAS/M	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	2
iw: salida agua caliente	”GAS/M	2	2	3	3	3	3	3	3
z: recirculación	”GAS/M	1-1/2	1-1/2	2	2	2	2	2	2
kr: avance caldera	”GAS/M	2	2	2	2	2	2	2	2
kr: retorno caldera	”GAS/M	2	2	2	2	2	2	2	2
Ra: conexión resistencia de apoyo	”GAS/M	2	2	2	2	2	2	2	2
tr: conexión sensores laterales	”GAS/M	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
pc: conexión protección catódica	”GAS/M	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2
rp: conexiones protección catódica en continuo	und	2	2	2	3	3	3	3	3
(*) Otras presiones, consultar. (**) Temperatura estándar. Otras temperaturas, consultar.									
ErP		MVV1500 SB/SSB	MVV2000 SB/SSB	MVV2500 SB/SSB	MVV3000 SB/SSB	MVV3500 SB/SSB	MVV4000 SB/SSB	MVV5000 SB/SSB	MVV6000 SB/SSB
Pérdidas estáticas	W	154	174	194	215	232	245	266	280
Clase de eficiencia energética	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Volumen	l	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000	6000

Figura 21: Hoja de características del interacumulador LAPESA con serpentín

1.6.3 Caldera auxiliar

La caldera auxiliar es de la marca BAXI. Como se muestra en la figura 22, el modelo que mejor se adapta a la instalación es el NHF 150.

Condiciones de uso:

Temperatura máxima de servicio: 100 °C

Presión máxima de servicio: 6 bar

Termostato regulable de 30 a 90 °C

Termostato de seguridad: 110 °C

Condiciones de prueba:CO₂ Gasóleo = 13 %CO₂ Gas natural = 9,5 %

Temperatura ambiente: 20 °C

Caldera		NHF 90	NHF 115	NHF 150	NHF 185	NHF 230	NHF 280
Potencia útil	kW	55-90	90-115	115-150	150-185	185-230	230-280
Potencia de suministro	kW	60-99	97-126	124-164	162-202	200-251	248-304
Capacidad de agua	l	96	116	136	156	176	196
Número de elementos		4	5	6	7	8	9
Pérdidas en la parada - 50 °C (A)	%	0.150	0.135	0.125	0.115	0.100	0.085
Número de aceleradores de convección		6	10	10	10	12	12
Pérdidas de carga de agua	Δ T = 10K (B)	mbar (C)	11	18	31	46	68
	Δ T = 15K (B)	mbar (C)	4.6	7.4	14.2	19.5	30.1
	Δ T = 20K (B)	mbar (C)	2.6	4.2	8	11	17
Temperatura de humos	°C	< 200	< 190	< 190	< 190	< 190	< 190
Pérdida de carga circuito de humos (B)	mbar (C)	0.2	0.4	0.7	1.2	1.8	2.2
Caudal másico de humos	Gasóleo	kg/h	151	192	252	309	465
	Gas natural	kg/h	159	211	277	340	512
Cámara de combustión	Diámetro inscrito	mm	377	377	377	377	377
	Longitud	mm	571	731	891	1051	1371
	Volumen	m ³	0.096	0.122	0.148	0.174	0.226
Consumo de mantenimiento	Δ T = 30K	%	0.150	0.135	0.125	0.115	0.100
Peso (en vacío)	kg	612	736	846	981	1103	1230

Figura 22: Características de la caldera auxiliar BAXI

1.6.4 Bomba

Se ha elegido la bomba Wilo-Stratos modelo 50, 1-8. La figura 23 muestra las características técnicas de este tipo de bombas.

Ficha técnica: Stratos 50/1-8 PN6/10

Datos hidráulicos

Presión máxima de trabajo P_N	10 bar
Altura máxima de impulsión H	8.00 m
Caudal máximo Q	17 m ³ /h
Altura de entrada mínima a 50 °C	3
Altura de entrada mínima a 95 °C	10
Altura de entrada mínima a 110 °C	16
Temperatura mínima del fluido T_{min}	-10 °C
Temperatura máxima del fluido T_{max}	110 °C
Temperatura ambiente mínima T_{min}	-10 °C
Temperatura ambiente máxima T_{max}	40 °C

Materiales

Carcasa de la bomba	EN-GJL-250
Rodete	PPS-GF40
Eje	1.4122
Material del cojinete	Carbón, impregnado de metal

Información de pedidos

Marca	Wilo
Denominación del producto	Stratos 50/1-8 PN6/10
Número EAN	4016322994152
Referencia	2090456
Peso neto aproximado m	11 kg
Peso bruto aproximado m	12.1 kg
Longitud con embalaje	340 mm
Altura con embalaje	291 mm
Ancho sin embalaje	320 mm
Propiedades del embalaje	Embalaje de transporte
Tipo de embalaje	Caja de cartón
Cantidad mínima de pedido	1

Datos del motor

Índice de eficiencia energética (IEE)	0.20
Alimentación eléctrica	1-230 V ±10%, 50/60 Hz
Intensidad nominal I_N	0.22 A
Intensidad nominal I_{Nc}	1.37 A
Velocidad mínima n_{min}	1400 rpm
Velocidad máxima n_{max}	4800 rpm
Consumo de potencia (min.) $P_{1 min}$	12.0 W
Consumo de potencia $P_{1 max}$	300.0 W
Emisión de interferencias	EN 61800-3:2004+A1:2012/entorno residencial (C1)
Resistencia a interferencias	EN 61800-3:2004+A1:2012/entorno industrial (C2)
Prensaestopas	1 x PG7
Clase de aislamiento	F
Tipo de protección	IPX4D

Dimensiones de instalación

Conexión de tubería del lado de impulsión D_{in}	DN 50
Conexión de tubería del lado de aspiración D_{in}	DN 50
Conexión de presión nominal del lado de impulsión	PN6/10
Conexión de presión nominal del lado de aspiración	PN6/10
Longitud entre roscas l_0	240 mm

Figura 23: Ficha técnica bomba WILO Stratos 50/1-8

1.6.5 Vasos de expansión

Los vasos de expansión son el modelo 2 SMF, del fabricante IBAIONDO. Las características de este modelo de vaso se pueden ver en la figura 24.

Peso (Kg)	Código	Modelo	Volumen (Lts.)	Presión (Bar)	ØD (mm)	H (mm)	Conexión agua R
0,8	02002070	2 SMF	2	10	110	245	3/4"

Figura 24: Características vaso de expansión IBAIONDO 2 SMF

1.7 Normativa

Hay que seguir distintas normas, las cuales hay que cumplir, para el diseño de las instalaciones solares para producción de ACS, que a continuación van a ser comentadas, teniendo en cuenta que hay tres normas para este tipo de instalaciones en España: CTE, UNE y RITE.

1.7.1 Código Técnico de la Edificación (CTE)

Para esta aplicación, las normas a cumplir se pueden ver en el Documento Básico HE Ahorro de energía en la sección 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria. (CTE DB-HE-4)

- *Contribución solar mínima para ACS (2.2.1)*

La zona climática que corresponde con la localidad de Écija es la zona V. La demanda de ACS del hotel es de 6000 L/día por lo que la contribución solar mínima que ha de tener la instalación es de 70%.

Tabla 2: Contribución mínima solar para ACS

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	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

- *Protección contra sobrecalentamientos (2.2.2)*

Se dimensionará la instalación suponiendo que en ningún mes del año la energía producida supera el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100%. Es por ello por lo que no se tomarán otro tipo de medidas para evitar los sobrecalentamientos instalando equipos para evacuar el excedente de energía.

- *Pérdidas por orientación, inclinación y sombras (2.2.3)*

Se deberán cumplir los límites indicados en la siguiente tabla para pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombras y pérdidas totales. Las pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar que incidiría sobre la superficie de captación orientada al sur, a la inclinación óptima y sin sombras siendo la orientación óptima igual a la latitud geográfica con demanda constante anual.

Tabla 3: Pérdidas límite

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición de captadores	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica de captadores	40 %	20 %	50 %

- *Sistemas de medida de energía suministrada (2.2.4)*

La instalación solar dispondrá de un sistema de medida de la energía suministrada con el fin de poder verificar el cumplimiento del programa de gestión energética y las inspecciones periódicas de eficiencia energética.

El diseño del sistema de contabilización de energía y de control debe permitir al usuario de la instalación comprobar de forma directa, visual e inequívoca el correcto funcionamiento de la instalación, de manera que este pueda controlar diariamente la producción de la instalación.

- *Sistemas de acumulación solar y conexión de sistema de generación auxiliar (2.2.5)*

Debe dimensionarse el sistema de acumulación teniendo en cuenta la demanda ya que esta no es simultánea con la generación.

El área total de los captadores debe tener un valor que cumpla la expresión $50 < V/A < 180$, siendo 'V' el volumen de acumulación solar en litros y 'A' la suma de las áreas de todos los captadores solares en m².

No se permite la conexión de un sistema de generación auxiliar en el acumulador solar.

1.7.2 Norma UNE

- *UNE 94002*

Esta norma tiene como objeto suministrar valores de referencia de consumo de agua caliente sanitaria y temperaturas de diseño necesarios para el cálculo de la demanda de energía térmica en las instalaciones de producción de agua caliente sanitaria.

- *UNE 94003*

Esta norma proporciona los valores climáticos de referencia de irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal y de temperatura ambiente.

- *UNE 100155*

Esta norma tiene por objeto establecer los criterios a seguir para el diseño y cálculo de un sistema de expansión de agua en un circuito cerrado.

1.7.3 Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)

Las instrucciones técnicas tenidas en cuenta para la instalación vienen detalladas en el RITE y son las mencionadas a continuación:

- ✓ *Preparación de agua caliente para usos sanitarios. (IT 1.1.4.3.1.)*
- ✓ *Aislamiento térmico de redes de tuberías. (IT 1.2.4.2.1.)*
- ✓ *Aprovechamiento de energías renovables. (IT 1.2.4.6)*
- ✓ *Medición. (IT 1.3.4.4.5.)*
- ✓ *Sistemas de distribución de agua. (IT 2.3.3.)*
- ✓ *Control automático. (IT 2.3.4.)*

1.8 Bibliografía

CTE (Código Técnico de la Edificación). *Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*. DBHE, 2017.

AENOR, Norma UNE 94002:2005. *Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica*. 2005

AENOR, Norma UNE 100155:2004. *Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión*. 2004.

Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, RITE. *Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*.

Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, RITE. *Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio*.

Departamento de Ingeniería Energética, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. *Apuntes de la asignatura Energía Solar*.

Blasco Ruiz, J. I. *Instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente en un hotel, Trabajo Fin de Grado*. 2017.

Blasco Ruiz, J. I. *Instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente en un hotel, Trabajo Fin de Grado*. 2017.

Fernández-Figueroa Pajares, C. *Trabajo de Fin de Grado: Diseño de una instalación de energía solar térmica para producción de ACS en un hotel*. 2018.

Chromagen España S.L.U. Catálogos. (<https://chromagen.es/>)

Lapesa Grupo Empresarial S. L. Catálogos. (<http://www.lapesa.com/es>)

Industrias Ibaiondo S.A. Catálogos. (<https://ibaiondo.com/>)

BAXI CALEFACCIÓN S.L.U. Catálogos. (<https://www.baxi.es/>)

Wilo Ibérica S.A. Catálogos. (<https://wilo.com/es/es/>)

Salvador Escoda S.A. Catálogos. (<https://www.salvadorescoda.com/>)

2 MEMORIA DE CÁLCULO

2.1 Introducción

A continuación, se detalla la memoria de cálculo y justificación de todas las operaciones realizadas para el diseño de la instalación solar de producción de ACS. En todo momento, se ha respetado la normativa vigente correspondiente.

2.2 Datos de partida

2.2.1 Datos geográficos

Tabla 4: Datos geográficos del hotel

Edificio	Hotel Apeadero de Bus **** (49 habitaciones)
Localidad	Écija
Provincia	Sevilla
Altitud	109
Latitud	37°54'11"
Longitud	- 5,07917 °
Zona climática	V

2.2.2 Datos climatológicos

Según el Documento de Apoyo al Documento Básico DA DBE-HE/1 “*Zonificación climática en función de la radicación solar global media diaria anual*”, el hotel situado en Écija es zona climática V.

Provincia	Municipio	Código INE	Zona Climática
SEVILLA	Constantina	41033	V
	Coria del Río	41034	V
	Coripe	41035	V
	Coronil (El)	41036	V
	Corrales (Los)	41037	IV
	Dos Hermanas	41038	V
	Écija	41039	V
	Espartinas	41040	V

En cuanto a los datos de radiación, temperatura del agua de la red y la temperatura ambiente de la localidad astigitana, nos los facilita el software CHEQ4. Estos datos serán los utilizados para los cálculos de esta memoria. En la tabla 5, se detallan los resultados que el software arroja al introducir los datos geográficos.

[1] Irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal.

[2] Temperatura diaria media mensual de agua de red.

[3] Temperatura ambiente diaria media mensual.

Tabla 5: Datos de radiación, temperatura del agua de red y ambiente de Écija

	Rad (MJ/m ²) ^[1]	Tª Red (°C) ^[2]	Tª Amb. (°C) ^[3]
Enero	9,8	10,4	9,7
Febrero	13,2	10,4	10,9
Marzo	18,1	12,4	13
Abril	22,1	13,4	15
Mayo	25,2	15,4	18,6
Junio	28,4	18,4	22,4
Julio	29,2	20,4	25,8
Agosto	25,9	20,4	25,8
Septiembre	20,8	19,4	23,4
Octubre	14,5	15,4	18,5
Noviembre	10,5	12,4	13,3
Diciembre	8,4	10,4	10,1
Promedio	18,8	14,9	17,2

2.2.3 Radiación solar sobre superficie inclinada

Los datos obtenidos en la tabla anterior son referidos a una superficie horizontal que se encuentre en la ciudad de Écija. Para conocer la irradiación solar global sobre la superficie de diseño se deben realizar una serie de cálculos. Para ello, se parte de que la superficie de diseño tendrá una orientación sur e inclinación igual a la latitud, en el caso de la ciudad astigitana 37,5411°.

Lo primero es calcular la declinación solar (δ) a partir de la ecuación de Cooper. Se conoce como declinación solar al ángulo que forma la línea Sol-Tierra con el plano ecuatorial celeste.

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

Siendo n el día del año: $n = [1, 365]$

Por otro lado, el otro parámetro que necesitamos conocer para calcular la irradiación extraterrestre horizontal es el ángulo horario, que se calcula como sigue:

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

Siendo $\varnothing$ la latitud del emplazamiento.

Con estos dos parámetros, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 6.

La expresión para obtener el valor mensual de la irradiación global extraterrestre sobre una superficie horizontal:

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{cs} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) \cdot \left(\frac{\pi \cdot w_s}{180} \cdot \sin \delta \cdot \sin \varnothing + \cos \delta \cdot \cos \varnothing \cdot \sin w_s\right)$$

Siendo G_{cs} la constante solar e igual a 1367 W/m².

Una vez calculado H_0 , podemos hallar el índice de claridad medio:

$$k_t = \frac{H_{G0}}{H_0}$$

Siendo H_{G0} la irradiación global horizontal.

Tabla 6: Declinación solar y ángulo horario

	Día del año	Declinación solar δ (°)	Ángulo horario (ω)
Enero	15	-21,27	72,59
Febrero	45	-13,62	79,26
Marzo	75	-2,42	88,14
Abril	105	9,41	97,32
Mayo	135	18,79	105,16
Junio	165	23,27	109,29
Julio	195	21,67	107,78
Agosto	225	14,43	101,4
Septiembre	255	3,42	92,63
Octubre	285	-8,48	83,42
Noviembre	315	-18,17	75,39
Diciembre	345	-23,12	70,85

Tras realizar los cálculos del índice de claridad medio, se obtienen los resultados de la tabla 7.

Tabla 7: Irradiación global extraterrestre horizontal e índice de claridad medio

	Rad (MJ/m ²)	H_0 (MJ/m2)	k_t
Enero	9,8	16,49	0,594
Febrero	13,2	21,5	0,614
Marzo	18,1	28,53	0,634
Abril	22,1	35,26	0,627
Mayo	25,2	39,86	0,632
Junio	28,4	41,75	0,68
Julio	29,2	40,93	0,713
Agosto	25,9	37,46	0,691
Septiembre	20,8	31,6	0,658
Octubre	14,5	24,53	0,591
Noviembre	10,5	18,4	0,571
Diciembre	8,4	15,23	0,551

Una vez realizados los cálculos anteriores, se descompone la radiación en radiación directa H_D y radiación difusa H_d .

Para los meses de invierno, en los que $\omega_s \leq 81.4^\circ$ se tiene la siguiente relación:

$$\frac{H_d}{H} = 1.391 - 3.560 \cdot k_t + 4.189 \cdot k_t^2 - 2.137 \cdot k_t^3$$

En cambio, para los meses de verano, en los que $\omega_s \geq 81.4^\circ$, se tiene:

$$\frac{H_d}{H} = 1.311 - 3.022 \cdot k_t + 3.427 \cdot k_t^2 - 1.821 \cdot k_t^3$$

Sabiendo que la radiación global es la suma de ambas radiaciones:

$$H = H_D + H_d$$

Realizando dicha descomposición, la radiación directa y difusa es la obtenida en la tabla 8.

Tabla 8: Irradiación global, directa y difusa

	Rad (MJ/m ²)	H _D (MJ/m ²)	H _d (MJ/m ²)
Enero	9,8	6,8	3
Febrero	13,2	9,38	3,82
Marzo	18,1	12,52	5,58
Abril	22,1	15,15	6,95
Mayo	25,2	17,38	7,82
Junio	28,4	20,79	7,61
Julio	29,2	22,24	6,96
Agosto	25,9	19,92	5,98
Septiembre	20,8	15,78	5,02
Octubre	14,5	11,08	3,42
Noviembre	10,5	7,08	3,42
Diciembre	8,4	5,52	2,88

Finalmente, para obtener la irradiación global en una superficie inclinada H_i , se calcula la relación entre la irradiación directa sobre una superficie inclinada y la irradiación directa sobre una superficie horizontal:

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

Siendo s la inclinación del captador sobre la horizontal (en este caso 30°) y siendo:

$$w'_s = \text{MIN}(w_s, \cos^{-1}(-\tan(\varnothing - s) \cdot \tan(\delta)))$$

Por tanto:

$$H_i = R_D \cdot H_D + \frac{1 + \cos(s)}{2} \cdot H_d$$

Con todo esto, se obtienen los valores mensuales de irradiación global sobre una superficie inclinada mostrados en la tabla 9. Además, en la gráfica de la figura 25, se pueden comparar ambas irradiaciones donde se observa que en los meses de invierno la irradiación global sobre una superficie inclinada es mayor que sobre la superficie horizontal.

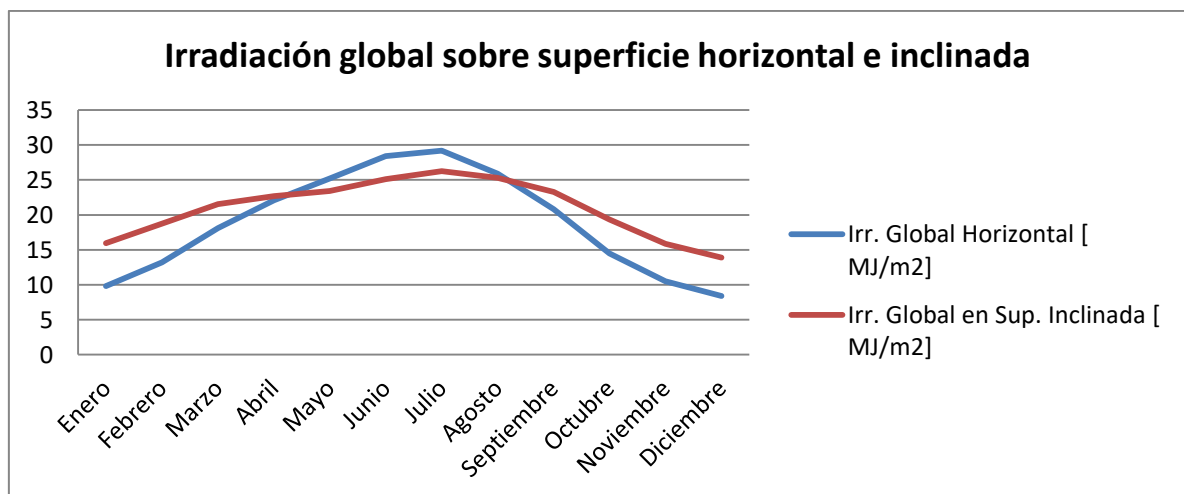


Figura 25: Gráfica Irradiación global sobre superficie horizontal e inclinada

Tabla 9: Irradiación global sobre superficie horizontal e inclinada

Mes	Rad (MJ/m ²)	H _i
Enero	9,8	15,93
Febrero	13,2	18,74
Marzo	18,1	21,53
Abril	22,1	22,69
Mayo	25,2	23,41
Junio	28,4	25,11
Julio	29,2	26,24
Agosto	25,9	25,31
Septiembre	20,8	23,3
Octubre	14,5	19,36
Noviembre	10,5	15,87
Diciembre	8,4	13,88

2.3 Cálculo de la demanda

Para calcular la demanda de ACS anual, tenemos que calcular en primer lugar cuál es el consumo de agua en el hotel.

2.3.1 Cálculo del consumo del agua

Atendiendo al Documento Básico HE del Código Técnico de la Edificación, se puede ver cuál es el consumo de ACS en un hotel de 4 estrellas como es el nuestro, tal y como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10: Demanda L/día por persona a 60°C

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

Como se ha visto anteriormente, nuestro hotel cuenta con tres partes que necesitan ACS:

- Habitaciones
- Cafetería
- Restaurante

En primer lugar, para el cálculo de ACS en las habitaciones consideraremos un número de personas igual a 96, para las 49 habitaciones con las que cuenta nuestro hotel. Como hemos mostrado en la tabla anterior, el CTE nos exige que el consumo de agua sea de 55 L/día·persona, con lo que se obtiene:

$$Q_{ACS}^{Habs.} = 55 \frac{L}{día \cdot persona} \cdot 96 personas = 5280 L/día$$

En segundo lugar, hemos supuesto que la cafetería, cuya capacidad es para 22 personas, realiza un total de 80 servicios durante el día, por lo que:

$$Q_{ACS}^{Cafet.} = 1 \frac{L}{día \cdot persona} \cdot 80 personas = 80 L/día$$

Por último, el restaurante tiene una ocupación de 33 personas, para lo que suponemos que sirve un total de 40 almuerzos y 40 cenas:

$$Q_{ACS}^{Rest.} = 8 \frac{L}{día \cdot persona} \cdot 80 personas = 640 L/día$$

Por tanto, la demanda total de ACS es:

$$Q_{ACS}^{TOTAL} = Q_{ACS}^{Habs.} + Q_{ACS}^{Cafet.} + Q_{ACS}^{Rest.} = 6000 L/día$$

2.3.2 Cálculo de la demanda energética

La demanda energética asociada al ACS se puede calcular como sigue:

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

Para ello, se ha tomado como Q_{ACS} el principal, el de las habitaciones e igual a 5280 L/día

Por otro lado, tenemos los otros parámetros definidos a continuación:

$$\rho_{agua} \left[\frac{kg}{L} \right] = 1$$

$$c_p \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] = 4190$$

$$T_{ac} = 60^\circ C$$

Para el cálculo de demanda mensual se ha utilizado el programa EES, el cual ha arrojado los resultados mostrados en la tabla 11.

Tabla 11: Resultados del cálculo de la demanda mensual

Mes	Nº días	T _{air} (°C)	D _{ACS} (MJ)
Enero	31	11	33610
Febrero	28	11	30350
Marzo	31	13	32230
Abril	30	14	31550
Mayo	31	16	30180
Junio	30	19	27210
Julio	31	21	26750
Agosto	31	21	26750
Septiembre	30	20	26550
Octubre	31	16	30180
Noviembre	30	13	31190
Diciembre	31	11	33610
TOTAL	365	-	360160

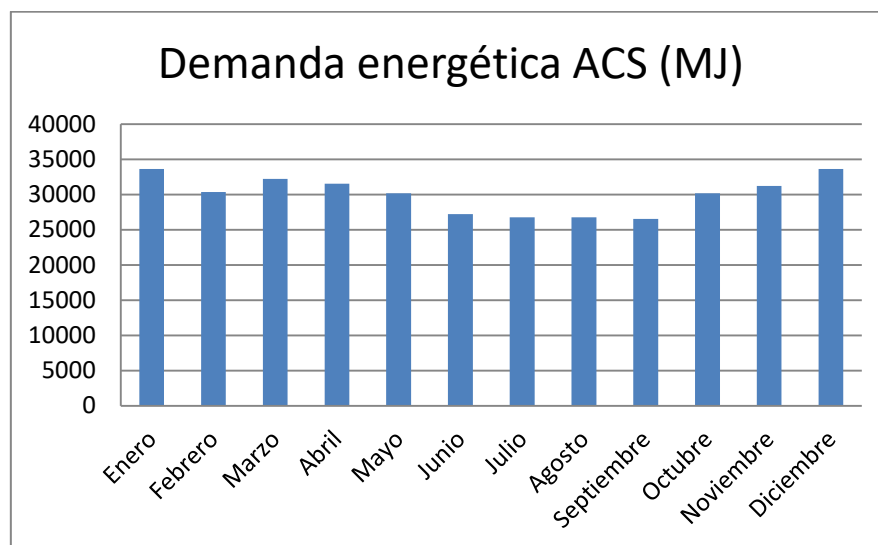


Figura 26: Gráfica de la demanda mensual energética de ACS

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

Para el cálculo del volumen de acumulación y de la superficie de captación en función del número de captadores, hay que cumplir las dos exigencias que impone el DB-HE4 del CTE:

1. El sistema de acumulación solar se debe dimensionar en función de la energía que aporta a lo largo del día. Se debe prever una acumulación acorde con la demanda.
2. Se debe cumplir la siguiente condición:

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

Siendo V el volumen del depósito de acumulación (L) y A la suma de las áreas de captación de todos los captadores (m²).

Como la demanda total del hotel, calculada anteriormente, es de 6000 litros al día, se escoge un modelo de depósito de acumulación que tenga esa capacidad. En la memoria descriptiva se ha especificado que dicho depósito es el modelo MVV 6000 SB de LAPESA.

Con el volumen determinado y siguiendo la relación especificada anteriormente, se obtiene:

$$33.33 < A < 120$$

Con el captador elegido, el QR-E de CHROMAGEN ESPAÑA S.L., cuya superficie es útil es de 2.33 m², se determina el rango del número de captadores que cumplirá dicha relación:

$$14 < N^{\circ} \text{ captadores} < 51$$

Para obtener un mejor rendimiento, se conectan todos los captadores en paralelo y solamente uno en serie.

La normativa vigente recomienda que la orientación óptima de los captadores sea la orientación sur. En nuestro caso, por razones arquitectónicas de la cubierta se instalan con una orientación de 25° respecto al sur.

Además, se especifica que para una demanda constante anual la inclinación óptima es la latitud geográfica. Para la localidad astigitana la latitud es de 37.5411°. Por tanto, siguiendo las instrucciones del fabricante de los captadores se opta por instalar nuestros captadores con una inclinación de 30°.

Por otro lado, el CTE exige que la contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables deba cubrir al menos el 70% de la demanda energética anual para ACS.

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual para ACS. El resto de energía se genera con el sistema de ACS convencional. Para ello se define la fracción de demanda cubierta:

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

Siendo Q_{solar} la potencia térmica anual procedente de los captadores y Q_{TOTAL} la potencia térmica total consumida anual.

Como se ha especificado antes, el hotel se encuentra en la zona climática V con una demanda diaria de 6000 litros a 60°C. En la tabla 12, se muestran los datos de partida que se han introducido en el software CHEQ4 para el cálculo de la fracción de demanda cubierta.

Tabla 12: Datos de partida en CHEQ4

CAPTADORES	
Fabricante	Chromagen
Modelo	QR-E
Área de captación	2,33 m ²
η_0	69,60%
k1	4,821 W/m ² ·K
k2	0,015 W/m ² ·K
CIRCUITO PRIMARIO	
Orientación	25°
Inclinación	30°
Pérdidas por sombras	0
Porcentaje de anticongelante	0
Caudal	8052,48 L/h
Longitud circuito	250 m
CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN	
Longitud circuito	350 m
Diámetro tubería	30 mm
Espesor aislante	25 mm
Temperatura	60 °C

Con los datos de partida especificados en la tabla anterior, la ayuda del software CHEQ4 y las relaciones presentadas en este apartado se obtienen las distintas posibilidades, mostradas en la tabla 13. En verde se encuentran resaltadas las configuraciones que cumplen con la contribución solar mínima.

Tabla 13: Posibilidades del número de captadores

Nº Captadores	Área de capt. (m ²)	V/A (L/m ²)	f (%)
34	79,22	75,74	56
35	81,55	73,57	57
36	83,88	71,53	58
37	86,21	69,60	59
38	88,54	67,77	60
39	90,87	66,03	61
40	93,2	64,38	62
41	95,53	62,81	63
42	97,86	61,31	64
43	100,19	59,89	65
44	102,52	58,53	66
45	104,85	57,22	67
46	107,18	55,98	68
47	109,51	54,79	69
48	111,84	53,65	70
49	114,17	52,55	71
50	116,5	51,50	72
51	118,83	50,49	73

A continuación, se muestran dos gráficas en las figuras 27 y 28, una con la variación de f con respecto al número de captadores y otra con la variación de f, el área de captación con respecto al número de captadores.

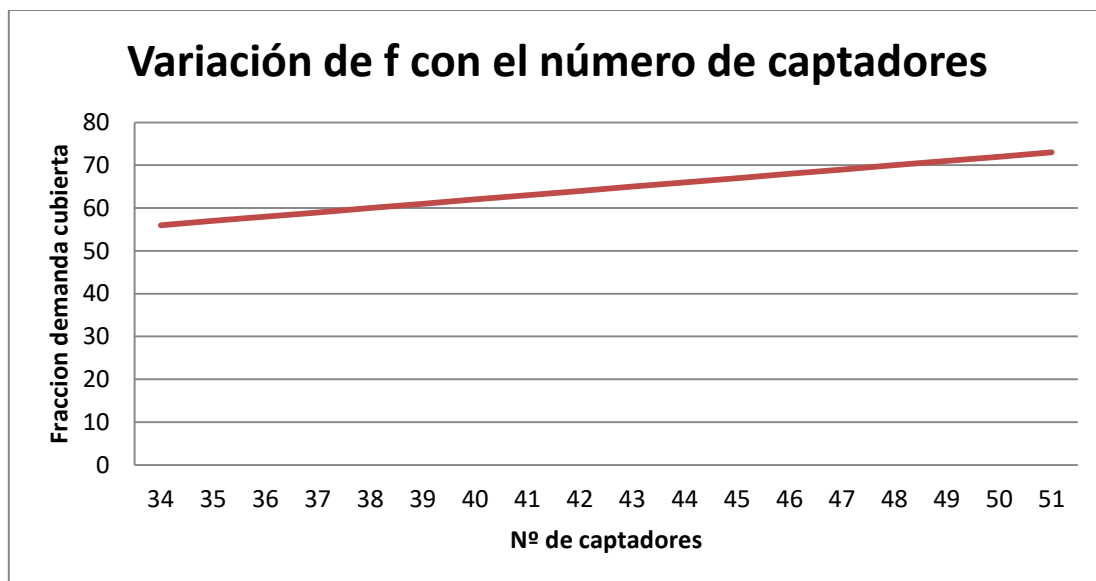


Figura 27: Gráfica de la variación de f con el número de captadores

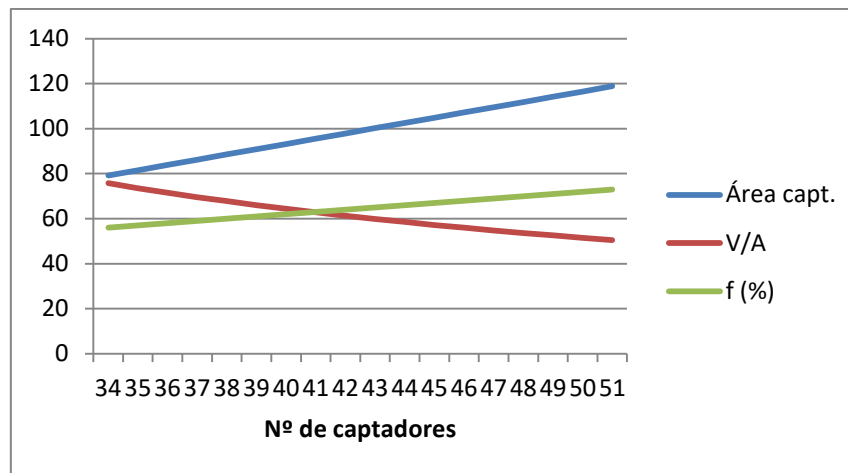


Figura 28: Gráfica de variación de f, área de captación y ratio V/A con respecto al número de captadores

Finalmente, con los datos anteriores se obtienen los siguientes resultados mostrados en tabla 14.

Tabla 14: Resultados CHEQ4

Nº Captadores	48
Volumen de acumulación	6000 L
% f	70
Caudal captador	$72 \frac{L}{h \cdot m^2}$
Nº captador en serie	1

2.5 Cálculo de la red de tuberías del circuito primario

Una vez obtenido el número de captadores, el objetivo hallar cuáles son las pérdidas de carga que se producen en los distintos tramos de tuberías del circuito primario de nuestra instalación.

En primer lugar, se tendrá que determinar el caudal total que circula por el circuito primario. Para ello, habrá que conocer el caudal de ensayo del captador solar elegido. Observando el catálogo de los captadores Chromagen QR-E se determina que dicho caudal es de $72 \frac{L}{h \cdot m^2}$.

Con el número de captadores que hay que instalar y sabiendo la superficie útil que tienen, se halla el caudal que tendrá que circular por el circuito primario:

$$\dot{Q}_{\text{primario}} = 72 \cdot 48 \cdot 2.33 = 8052.48 \frac{L}{h}$$

El trazado de las tuberías minimizará la longitud necesaria de las mismas, de esta forma se evitarán excesivas pérdidas de carga y térmicas. Para ello, se utilizará la técnica de retorno invertido consiguiendo así que la red de tuberías esté equilibrada y no sea necesario el uso de válvulas de equilibrado que regulen el caudal.

En las figuras 29 y 30 se muestran la colocación de los captadores en la cubierta y el trazado de tuberías con los diferentes tramos establecidos. Además, para cada fila de captadores se puede ver el diseño de las tuberías y la división en tramos de las mismas en la figura 31.

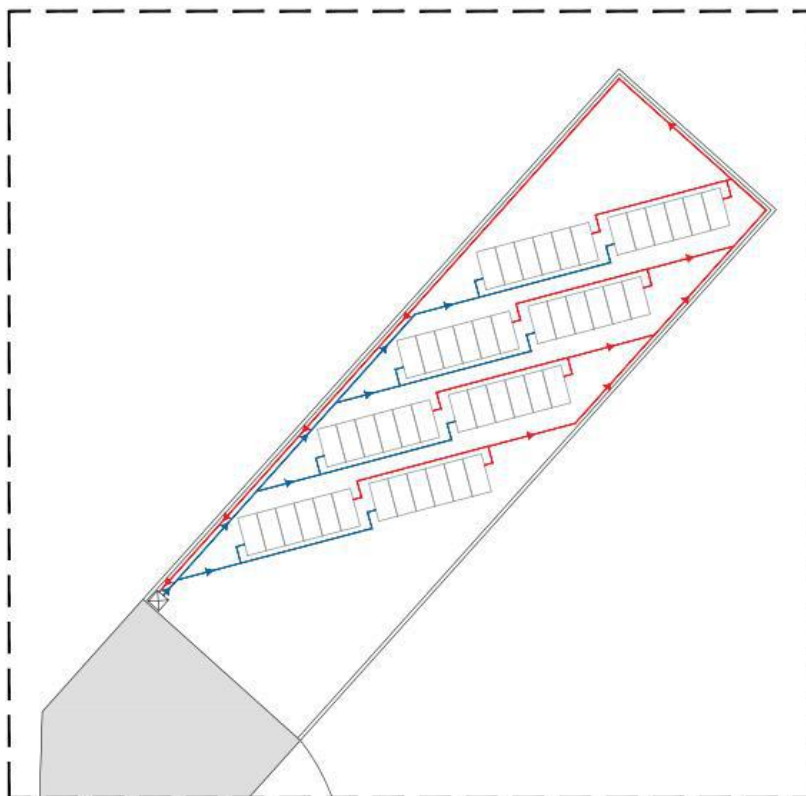


Figura 29: Distribución de captadores y red de tuberías del circuito primario

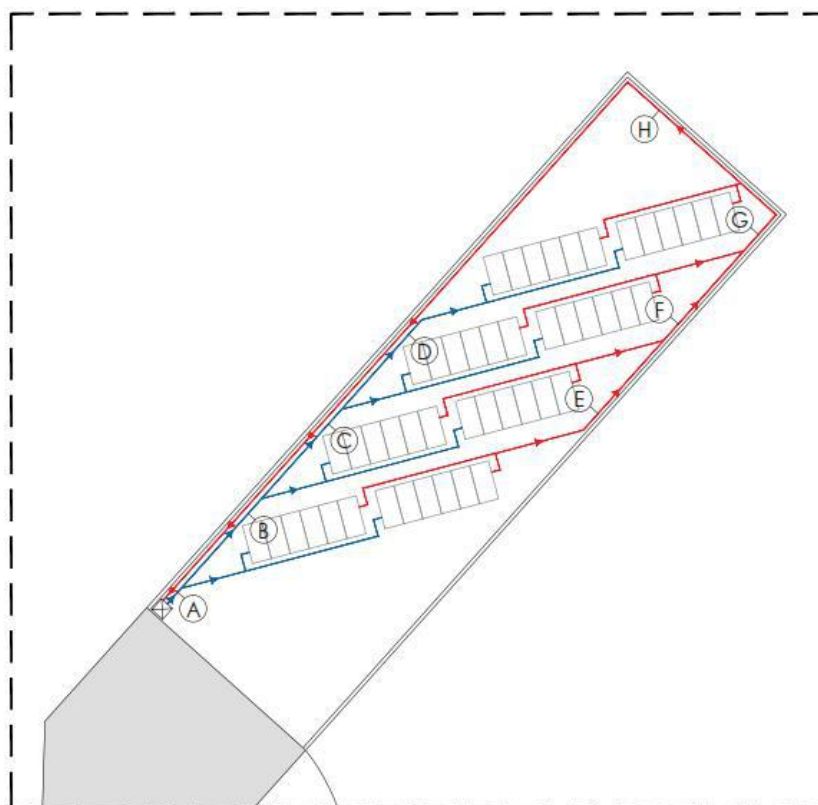


Figura 30: Esquema de los tramos de la red de tuberías del circuito primario

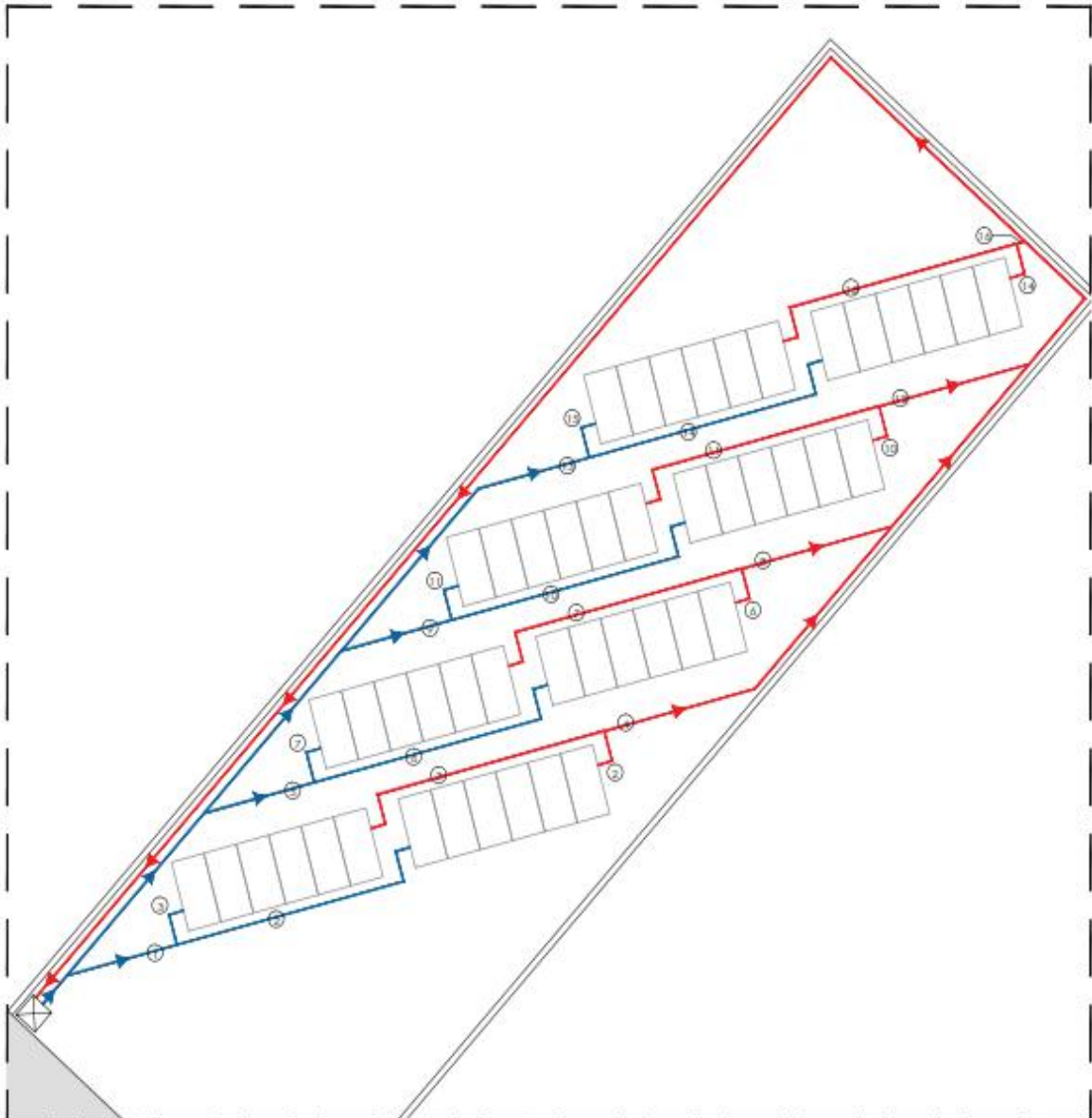


Figura 31: Esquema de la red de tuberías y los diferentes tramos para cada fila de captadores

En el diseño de la red de tuberías tenemos que cumplir las dos especificaciones que nos dice la norma:

1. Velocidad en las tuberías: tiene que ser menor a 2 m/s en tuberías que discurren por el interior del edificio y menor que 3 m/s para el exterior.
2. Pérdida de carga admisible: la pérdida de carga en los diferentes tramos de tuberías no puede superar los 400 Pa/m.

En función de los distintos diámetros de tuberías y del caudal que puede circular por las mismas se han calculado las distintas velocidades, obteniéndose los siguientes valores mostrados en la tabla 14:

Tabla 15: Velocidad del fluido en función del caudal y el diámetro de las tuberías

Velocidad (m/s)								
Diámetro (")	1/2	3/4	1	1,25	1,5	2	2,5	3
Diámetro (mm)	12,70	19,05	25,40	31,75	38,10	50,80	63,50	76,20
Caudal (l/h)	8052	17,6565	7,8473	4,4141	2,8250	1,9618	1,1035	0,7063
	6039	13,2424	5,8855	3,3106	2,1188	1,4714	0,8276	0,5297
	4026	8,8282	3,9237	2,2071	1,4125	0,9809	0,5518	0,3531
	2013	4,4141	1,9618	1,1035	0,7063	0,4905	0,2759	0,1766
	1006,5	2,2071	0,9809	0,5518	0,3531	0,2452	0,1379	0,0883

Además, con el uso de una función Excel diseñada por el profesor de este departamento don Juan Francisco Coronel Toro, se han calculado cuáles son las pérdidas de presión en función del caudal y el diámetro de las tuberías. Como se puede observar en la tabla 15, en ningún caso se supera la velocidad máxima. Los caudales y diámetros elegidos en la instalación se muestran en la tabla 17.

Tabla 16: Pérdida de carga en función del caudal y del diámetro de las tuberías

Pérdida de presión (Pa/m)								
Diámetro (")	1/2	3/4	1	1,25	1,5	2	2,5	3
Diámetro (mm)	12,70	19,05	25,40	31,75	38,10	50,80	63,50	76,20
Caudal (l/h)	8052	178205,6214	24014,7639	5881,8253	1988,5015	822,6064	205,3392	70,2092
	6039	103668,7240	14103,5342	3473,0549	1178,1927	488,5650	122,3490	41,9245
	4026	48634,8920	6699,3165	1661,0993	565,9724	235,4196	59,2070	20,3486
	2013	13569,9000	1903,8000	476,8000	163,5000	68,3000	17,3000	6,0000
	1006,5	3863,5259	550,2927	139,0097	47,9601	20,1381	5,1363	1,7841

2.5.1 Pérdida de carga en la red de tuberías

Una vez dimensionada la red de tuberías del circuito primario, tenemos que calcular la pérdida de carga total. Una vez hecho esto, podremos dimensionar la bomba de circulación del circuito primario sabiendo la pérdida de carga total que ha de vencer.

La pérdida total de carga se hallará como sigue:

$$\Delta P_{TOTAL} = \Delta P_{Tuberías} + \Delta P_{Accesorios} + \Delta P_{Equipos}$$

- Para el cálculo de la caída de presión en las tuberías, tendremos que aplicar la siguiente fórmula:

$$\Delta P_{Tuberías} = \sum \Delta P_i \cdot L_{tramo\ i}$$

En este caso, ΔP_i es la pérdida de presión en Pa/m que se ha hallado anteriormente. Por tanto, la pérdida de presión de las tuberías será el sumatorio de las pérdidas de presión por metro que se han hallado multiplicadas por la longitud de cada tramo.

- Para la pérdida de presión de los accesorios utilizaremos la tabla 18, que nos da la longitud equivalente de un determinado accesorio en función del diámetro nominal.

Tabla 17: Pérdidas de carga en los diferentes tramos del circuito primario

Tramo	Caudal (L/h)	Longitud (m)	D (")	D (mm)	Velocidad (m/s)	ΔP (Pa/m)	T deriv.	T alin.	Codo 90°	L _{eq acc.} (m)	L _{eq} (m)	$\Delta P_{\text{tuberías}}$ (Pa)	$\Delta P_{\text{eq.}}$ (Pa)	ΔP_{total} (Pa)
1	2013	3,7	1,25	31,75	0,7063	163,5	1	1	-	1,5	5,2	850,2	0	850,2
2	1006,5	10,51	1	25,4	0,5518	139,01	-	1	3	1,44	11,95	1661,1695	2076	3737,1695
3	1006,5	10,51	1	25,4	0,5518	139,01	1	1	3	2,36	12,87	1789,0587	2076	3865,0587
4	2013	6,13	1,25	31,75	0,7063	163,5	-	1	2	1,35	7,48	1222,98	0	1222,98
5	2013	3,7	1,25	31,75	0,7063	163,5	1	1	-	1,5	5,2	850,2	0	850,2
6	1006,5	10,51	1	25,4	0,5518	139,01	-	1	3	1,44	11,95	1661,1695	2076	3737,1695
7	1006,5	10,51	1	25,4	0,5518	139,01	1	1	3	2,36	12,87	1789,0587	2076	3865,0587
8	2013	6,13	1,25	31,75	0,7063	163,5	-	1	2	1,35	7,48	1222,98	0	1222,98
9	2013	3,7	1,25	31,75	0,7063	163,5	1	1	-	1,5	5,2	850,2	0	850,2
10	1006,5	10,51	1	25,4	0,5518	139,01	-	1	3	1,44	11,95	1661,1695	2076	3737,1695
11	1006,5	10,51	1	25,4	0,5518	139,01	1	1	3	2,36	12,87	1789,0587	2076	3865,0587
12	2013	6,13	1,25	31,75	0,7063	163,5	-	1	2	1,35	7,48	1222,98	0	1222,98
13	2013	3,7	1,25	31,75	0,7063	163,5	1	1	-	1,5	5,2	850,2	0	850,2
14	1006,5	10,51	1	25,4	0,5518	139,01	-	1	3	1,44	11,95	1661,1695	2076	3737,1695
15	1006,5	10,51	1	25,4	0,5518	139,01	1	1	3	2,36	12,87	1789,0587	2076	3865,0587
16	2013	1,36	1,25	31,75	0,7063	163,5	-	1	2	1,35	2,71	443,085	0	443,085
A	8052	1,18	2	50,8	1,1035	205,34	-	1	-	0,49	1,67	342,9178	0	342,9178
B	6039	6,7	2	50,8	0,8276	122,35	-	2	-	0,98	7,68	939,648	0	939,648
C	4026	6,7	1,5	38,1	0,9809	235,42	-	2	-	0,74	7,44	1751,5248	0	1751,5248
D	2013	6,7	1,25	31,75	0,7063	163,5	-	1	-	0,31	7,01	1146,135	0	1146,135
E	2013	6,7	1,25	31,75	0,7063	163,5	-	1	1	0,83	7,53	1231,155	0	1231,155
F	4026	6,7	1,5	38,1	0,9809	235,42	-	2	-	0,74	7,44	1751,5248	0	1751,5248
G	6039	5,34	2	50,8	0,8276	122,35	-	2	1	1,85	7,19	879,6965	0	879,6965
H	8052	47,25	2	50,8	1,1035	205,34	-	1	1	1,36	48,61	9981,5774	20000	29981,5774

T deriv.: Accesorio de T en rama derivada.

T alin.: Accesorio de T en rama alineada.

Codo 90°: Accesorio codo de 90°.

Tabla 18: Longitudes equivalentes de los diferentes accesorios en función del diámetro

Diámetro nominal (")	Codo 90°	Curva 90°	Curva 45°	Codo.doble 180°	Curva.doble 180°	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

Si una tubería tuviese dos o más accesorios, las longitudes equivalentes se calcularán de manera aditiva. En la tabla 19, se pueden observar los distintos accesorios que hay en cada tramo.

Tabla 19: Accesorios en cada tramo

Tramo	T deriv.	T alin.	Codo 90°
1	1	1	-
2	-	1	3
3	1	1	3
4	-	1	2
5	1	1	-
6	-	1	3
7	1	1	3
8	-	1	2
9	1	1	-
10	-	1	3
11	1	1	3
12	-	1	2
13	1	1	-
14	-	1	3
15	1	1	3
16	-	1	2
A	-	1	-
B	-	2	-
C	-	2	-
D	-	1	-
E	-	1	1
F	-	2	-
G	-	2	1
H	-	1	1

Una vez obtenida la longitud equivalente, se calcula de igual manera que para la pérdida de carga en cada tramo, siendo en este caso la longitud del tramo la equivalente obtenida de la suma de todos los accesorios en ese tramo.

$$\Delta P_{\text{Accesorios}} = \sum \Delta P_i \cdot L_{\text{equivalente}}$$

- A parte de las tuberías y los accesorios que hay en ellas, los equipos que hay en nuestro circuito primario también van a tener una determinada pérdida de carga al pasar el agua por ellos, en este caso los captadores y el interacumulador.

Para el caso del interacumulador, el fabricante facilita la gráfica mostrada en la figura 32.

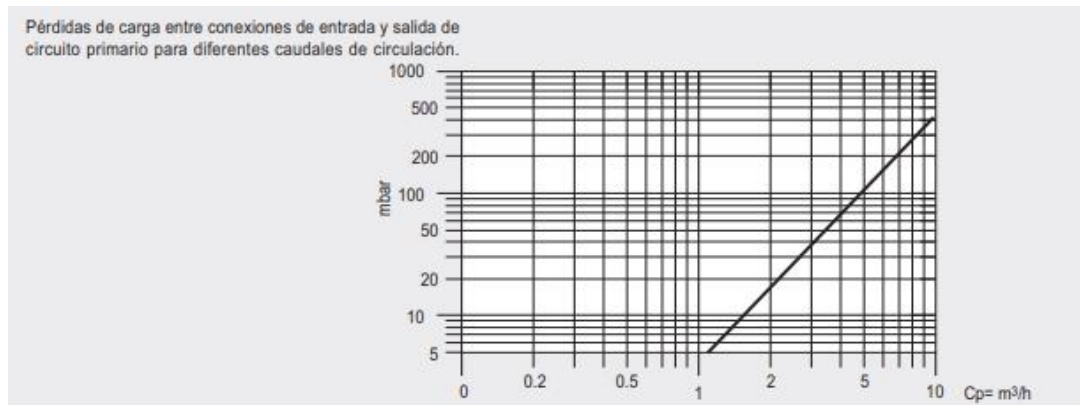


Figura 32: Pérdida de carga en el interacumulador

En el caso de esta instalación, basta con saber que el caudal que circula por el circuito primario es de 8052 L/h, lo que se corresponde a 8,052 m³/h. Entrando en la gráfica con este dato de caudal obtenemos unas pérdidas de carga de 200 mbar, lo que equivalen a **20000 Pa**.

Para el caso de los captadores, el fabricante nos facilita una ecuación para el cálculo de la caída de presión:

$$\Delta P_{\text{captador}}(\text{mm. c. a.}) = 1,9 \cdot q_i^2 + 7,3 \cdot q_i$$

Siendo q_i el caudal que circula por cada captador:

$$q_i = 167,75 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 2,796 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Por tanto:

$$\Delta P_{\text{captador}}(\text{mm. c. a.}) = 35,2642 \text{ mm. c. a.} = 0,346 \text{ kPa}$$

La pérdida de carga de los captadores se asocia a los tramos: 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14 y 15.

A continuación, se van a hallar como serán las pérdidas de presión en los diferentes caminos posibles. De esta forma, se conseguirá ver qué desequilibrio tiene cada circuito y determinar si es necesario el uso de válvulas de desequilibrado.

Se elabora para ello la tabla 20 en la que se pueden observar los tramos que forman parte de cada circuito y las pérdidas de carga de cada uno de ellos. Como se puede observar, el circuito más desfavorable es el que pasa por los tramos A, 1, 2, 3, 4, E, F, G y H. Además, se ha calculado la diferencia de presión del resto de circuitos con el más desfavorable. En la tabla se observa que esta diferencia es menor al 5%. Por tanto, no es necesario el uso de válvulas de equilibrado.

Tabla 20: Pérdidas de carga en los distintos circuitos posibles

CIRCUITO (Tramos)	Pérdida de presión (Pa)	Diferencia con la máxima (Pa)	% variación
A-1-3-4-E-F-G-H	40125,11	0,00	0,00
A-1-2-4-E-F-G-H	39997,22	127,89	0,32
A-B-5-7-8-F-G-H	39833,60	291,51	0,73
A-B-5-6-8-F-G-H	39705,71	419,40	1,05
A-B-C-9-11-12-G-H	39833,60	291,51	0,73
A-B-C-9-10-12-G-H	39705,71	419,40	1,05
A-B-C-D-13-15-16-H	39320,15	804,96	2,01
A-B-C-D-13-14-16-H	39192,26	932,85	2,32

2.6 Dimensionado de la bomba del circuito primario

Para determinar la bomba de circulación del circuito primario hay que saber las condiciones nominales de trabajo, que no son otras que el caudal de circulación y la altura manométrica en el punto de funcionamiento.

La altura manométrica de la bomba en el punto de trabajo debe compensar la pérdida de carga del circuito determinada por las pérdidas de carga del tramo más desfavorable de tuberías, la pérdida de carga producida por el interacumulador y la pérdida de los captadores.

Por tanto, con ello se obtiene:

$$H = 40125,11 \text{ Pa} = 4,09 \text{ mca}$$

Además, sabemos que el caudal que circula por nuestro circuito es $8,052 \text{ m}^3/\text{h}$. Sabiendo estos dos parámetros, recurrimos al fabricante de bombas Wilo. Observando el catálogo de este fabricante, vemos que una de las bombas que mejor se adapta es la bomba trifásica Wilo-Stratos 50 1-9. En la figura 33 se muestra la curva característica de este tipo de bombas. El consumo de dicha bomba es de 430 W.

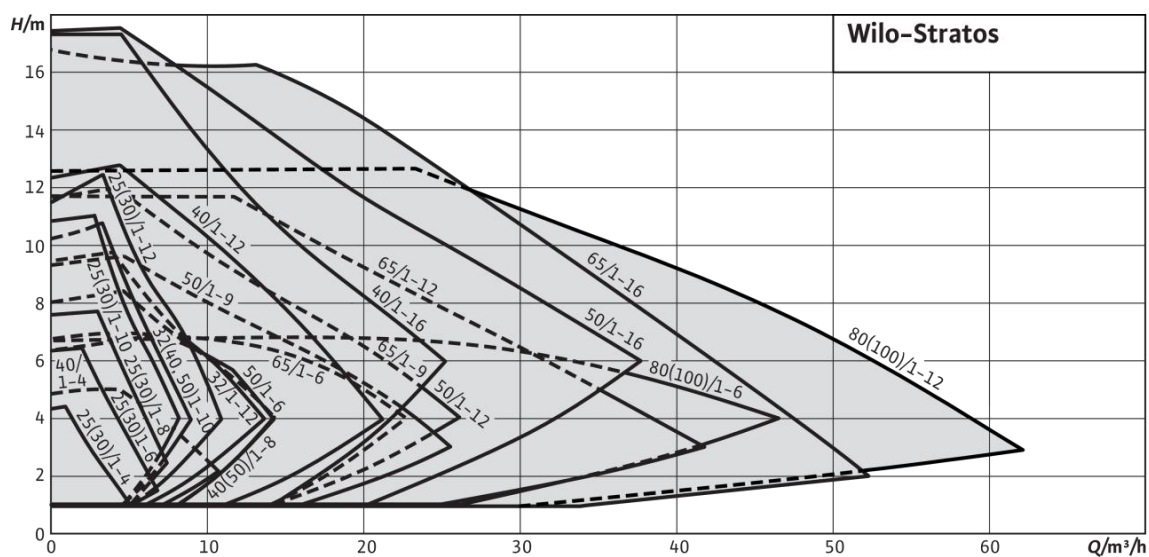


Figura 33: Curva característica de la bomba de circulación

2.7 Dimensionado del vaso de expansión del circuito primario

Debido a las variaciones de densidad que experimenta el fluido de circula por nuestro circuito al calentarse, se producen aumentos de volumen. El vaso de expansión se encarga de minimizar los daños en los distintos equipos debido a un aumento de la presión.

Para diseñar los vasos de expansión se sigue la normativa UNE 100155:2014 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión”. El volumen del vaso de expansión se calcula como sigue:

$$V_{\text{vaso de expansión}} = V_{\text{total}} \cdot C_e \cdot C_p$$

Siendo

$V_{\text{vaso de expansión}}$ el volumen mínimo que debe tener el vaso.

V_{total} el volumen total de nuestro circuito primario.

C_e el coeficiente de expansión del fluido.

C_p el coeficiente de presión.

El volumen total del circuito es la suma del volumen que encierran los serpentines de los captadores y del interacumulador y el volumen encerrado por los tramos de tuberías. El volumen del serpentín de los captadores y del interacumulador se calcula directamente viendo el catálogo de sus respectivos fabricantes. En la tabla 21, se muestra el volumen calculado para cada tramo.

Al volumen total se le aplicará un coeficiente de seguridad del 10 %, por lo que nos quedará:

$$V_{\text{total}} = 121,68$$

Para el cálculo del coeficiente de expansión del fluido utilizamos la siguiente expresión:

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

Siendo

T: la temperatura del tramo donde será instalado el vaso, que consideraremos 60°C.

f_c : factor corrector.

$$f_c = a \cdot (1,83 \cdot T + 32)^b$$

Donde:

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

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

Finalmente obtenemos:

$$C_e = 0,015$$

El coeficiente de presión se define como:

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

Tabla 21: Volumen de cada tramo del circuito primario

Tramo	Caudal (L/h)	Longitud (m)	D (")	D (mm)	Volumen (L)
1	2013	3,7	1,25	31,75	0,00293
2	1006,5	10,51	1	25,4	0,00533
3	1006,5	10,51	1	25,4	0,00533
4	2013	6,13	1,25	31,75	0,00485
5	2013	3,7	1,25	31,75	0,00293
6	1006,5	10,51	1	25,4	0,00533
7	1006,5	10,51	1	25,4	0,00533
8	2013	6,13	1,25	31,75	0,00485
9	2013	3,7	1,25	31,75	0,00293
10	1006,5	10,51	1	25,4	0,00533
11	1006,5	10,51	1	25,4	0,00533
12	2013	6,13	1,25	31,75	0,00485
13	2013	3,7	1,25	31,75	0,00293
14	1006,5	10,51	1	25,4	0,00533
15	1006,5	10,51	1	25,4	0,00533
16	2013	1,36	1,25	31,75	0,00108
A	8052	1,18	2	50,8	0,00239
B	6039	6,7	2	50,8	0,01358
C	4026	6,7	1,5	38,1	0,00764
D	2013	6,7	1,25	31,75	0,00530
E	2013	6,7	1,25	31,75	0,00530
F	4026	6,7	1,5	38,1	0,00764
G	6039	5,34	2	50,8	0,01082
H	8052	47,25	2	50,8	0,09577
Acum.					48
Capt.					62,4
TOTAL					110,61841

Siendo P_M y P_m las presiones máxima y mínima. La presión máxima se corresponde con una presión de 10 bar, que es la máxima que aguantan los equipos del circuito primario. La presión mínima está fijada por la diferencia de altura entre el punto más alto de la instalación y la situación del vaso de expansión. En nuestro caso, esta cota es cero puesto que están a la misma altura. No obstante, conviene dejar un margen de seguridad de 0,5. Con esto se obtiene un valor del coeficiente de presión de 1,053.

Por tanto, el vaso de expansión deberá tener un volumen de al menos:

$$V_{\text{vaso de expansión}} = 121,68 \cdot 0,015 \cdot 1,053 = 1,92 \text{ L}$$

Por tanto, se elige el vaso de expansión del fabricante IABIONDO, modelo 2 SMF, con capacidad para 2 litros, como se puede observar en la figura 34.

Tabla 22: Vasos de expansión IBAIONDO, modelo SMF

Peso (Kg)	Código	Modelo	Volumen (Lts.)	Presión (Bar)	ØD (mm)	H (mm)	Conexión agua R
0,8	02002070	2 SMF	2	10	110	245	3/4"
2	02005070	5 SMF	8	10	200	250	3/4"
2,5	02008070	8 SMF	8	10	200	340	3/4"
3,2	02012070	12 SMF	12	10	270	310	3/4"
4	02018070	18 SMF	18	10	270	415	3/4"
4,5	02024070	24 SMF	24	8	320	430	3/4"

2.8 Cálculo de espesores de aislamiento para tuberías del circuito primario

Por último, se van a dimensionar los espesores de aislamiento de las tuberías del circuito primario. Para ello, se utiliza la instrucción técnica 1.2.4.2.1 del RITE *Aislamiento térmico de redes de tuberías*. Esta IT exige que todas las tuberías y accesorios, así como equipos, aparatos y depósitos dispongan de un aislamiento térmico debido a que la temperatura del fluido es mayor a 40°C.

En el caso de la instalación objeto de estudio de este proyecto, todos los equipos y accesorios vienen con un aislamiento de fábrica que cumple la normativa vigente, por lo que sólo será necesario calcular los espesores de tuberías en cada tramo.

Para ello, se va a emplear el procedimiento simplificado en el cual los espesores de aislamiento térmico en función del diámetro exterior de la tubería y de la temperatura del fluido y para un material de referencia con una conductividad térmica de 0,040 W/(m·K) a 10 °C están tabulados, tal y como se pueden ver en las tablas 23 y 24.

Tabla 23: Espesor mínimo del aislamiento (mm) en función del diámetro de tubería que discurre por el interior de un edificio

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 24: Espesor mínimo del aislamiento (mm) en función del diámetro de tubería que discurre por el exterior de un edificio

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
$140 < D$	45	50	60

En la tabla 25, se observan los espesores de aislamiento obtenidos para cada tramo de tubería.

2.9 Selección de accesorios

- Purgadores:

Se colocan en todos los puntos donde pueda quedar aire acumulado, a la salida de las baterías de los captadores. Se colocarán sistemas de purga manuales o automáticos.

- Válvulas:
 - De corte: se sitúan a la salida y entrada de los diferentes equipos.
 - De retención: a la salida de las bombas de circulación.
 - De seguridad: junto al vaso de expansión y a la salida del campo solar.

- Sistema de control:

Se elige la centralita de TERMICOL, modelo XTDC. En la figura 34, se pueden observar las principales características.

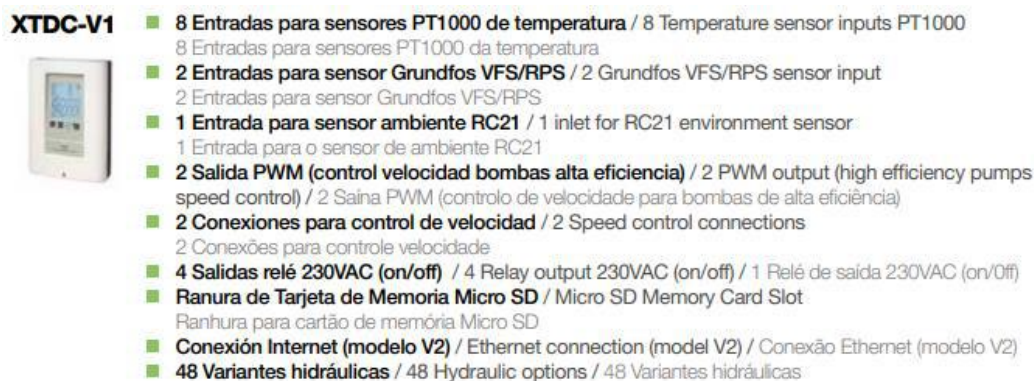


Figura 34: Características centralita de control TERMICOL, marca XTDC.

Tabla 25: Espesores de aislamiento de tuberías para cada tramo

Tramo	D (")	D (mm)	Espesor (mm)
1	1,25	31,75	35
2	1	25,4	35
3	1	25,4	35
4	1,25	31,75	35
5	1,25	31,75	35
6	1	25,4	35
7	1	25,4	35
8	1,25	31,75	35
9	1,25	31,75	35
10	1	25,4	35
11	1	25,4	35
12	1,25	31,75	35
13	1,25	31,75	35
14	1	25,4	35
15	1	25,4	35
16	1,25	31,75	35
A	2	50,8	40
B	2	50,8	40
C	1,5	38,1	40
D	1,25	31,75	40
E	1,25	31,75	40
F	1,5	38,1	40
G	2	50,8	40
H	2	50,8	40

ANEXO I

CHEQ4



La instalación solar térmica especificada CUMPLE los requerimientos mínimos especificados por el HE4

Datos del proyecto

Nombre del proyecto	
Comunidad	
Localidad	
Dirección	

Datos del autor

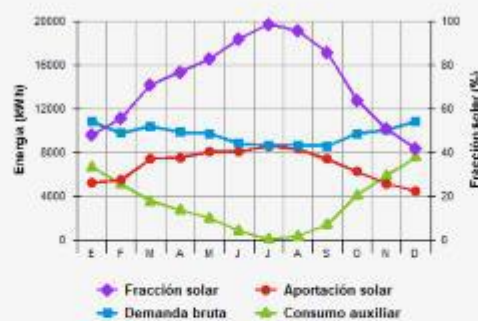
Nombre	
Empresa o institución	
Email	
Teléfono	

Características del sistema solar



Localización de referencia						Écija (Sevilla)							
Altura respecto la referencia [m]						0							
Sistema seleccionado						Instalación de consumidor único con interacumulador							
Demanda [l/día a 60°C]						6.000							
Ocupación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Resultados



Fracción solar [%]	71
Demanda neta [kWh]	114.616
Demanda bruta [kWh]	116.378
Aporte solar [kWh]	82.399
Consumo auxiliar [kWh]	40.605
Reducción de emisiones de [kg de CO2]	20.765

CHEQ4

La instalación solar térmica especificada CUMPLE los requerimientos mínimos especificados por el HE4

Parámetros del sistema		Verificación en obra
Campo de captadores		
Captador seleccionado	QR-E (CHROMAGEN ESPAÑA, S.L.U)	☐
Contraseña de certificación	NPS-7319	☐
Número de captadores	48,0	☐
Número de captadores en serie	1,0	☐
Pérdidas por sombras (%)	0,0	☐
Orientación [°]	25,0	☐
Inclinación [°]	30,0	☐
Circuito primario/secundario		
Caudal circuito primario [l/h]	8.052,0	☐
Porcentaje de anticongelante [%]	0,0	☐
Longitud del circuito primario [m]	205,9	☐
Diámetro de la tubería [mm]	46,0	☐
Espesor del aislante [mm]	35,0	☐
Tipo de aislante	espuma elastomérica	☐
Sistema de apoyo		
Tipo de sistema	Caldera convencional	☐
Tipo de combustible	Gas natural	☐
Acumulación		
Volumen [l]	6.000,0	☐
Distribución		
Longitud del circuito de distribución [m]	350,0	☐
Diámetro de la tubería [mm]	30,0	☐
Espesor del aislante [mm]	25,0	☐
Tipo de aislante	espuma de poliuretano	☐
Temperatura de distribución [°C]	60,0	☐

3 PLIEGO DE CONDICIONES

3.1 Objeto

El pliego de condiciones técnicas marca los criterios de diseño para la instalación de producción de ACS en un hotel de 4 estrellas en Écija, provincia de Sevilla.

Se definirán los equipos y materiales a utilizar en la instalación, así como las pruebas y ensayos a realizar y su mantenimiento.

3.2 Normativa aplicable

Toda la instalación ha sido diseñada en base a las siguientes normas y reglamentos:

- ✓ Código Técnico de la Edificación: Acciones en la edificación (CTE-DB-AE).
- ✓ Código Técnico de la Edificación: Seguridad en caso de incendio (CTE-DBSI).
- ✓ Código Técnico de la Edificación: Protección frente al ruido (CTE-DB-HR).
- ✓ 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 M.I.B.T.
- ✓ Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), además de las instrucciones técnicas complementarias (ITE)
- ✓ Otras normas o recomendaciones utilizadas de guía como la UNE y las NTE del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Además, se cumplirá con toda la normativa de carácter regional y local.

3.3 Condiciones de materiales y equipos

3.3.1 Tuberías

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

Para el caso de circuitos de agua caliente sanitaria podrán 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).

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

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

3.3.2 Accesorios

- ✓ Compensadores de dilatación:

Estos se utilizan en los circuitos de agua caliente. Siempre se colocarán entre dos puntos fijos, capaces de soportar los esfuerzos de dilatación y de presión que se originan.

✓ Juntas:

Estará prohibido utilizar amianto. La presión nominal mínima será PN-10 y soportarán temperaturas hasta 200°C.

✓ Lubricante de roscas:

Se aplicará uno de uso general que no sea endurecedor y venenoso.

✓ Derivaciones:

Para estas se pueden utilizar empalmes soldados. Las aperturas en tuberías se harán con la suficiente precisión para que estén perfectamente acabadas.

✓ Codos en bombas:

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

✓ Sombreretes:

Es necesario proteger todas aquellas tuberías que vayan por el tejado del edificio.

✓ Guías:

Se instalarán donde recomendando el fabricante, como por ejemplo en liras o juntas de expansión.

✓ Termómetros:

Los termómetros serán de mercurio, de fácil lectura. Estarán protegidos dentro de una caja metálica con ventana de vidrio.

✓ Manómetros:

Los manómetros serán con válvula de aguja de aislamiento en acero inoxidable e inmersos en glicerina. La precisión será de al menos el 99%.

✓ Válvulas de seguridad:

Se incluirán todas las válvulas de seguridad indicadas, o necesarias para un funcionamiento completamente seguro y correcto de los sistemas. Durante el periodo de pruebas de la instalación se procederá al timbrado de las mismas.

✓ Purga de aire:

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

Los trazados de tubería horizontales tendrán siempre una pendiente mínima del 1%.

En el caso de que, una vez que las redes estén en funcionamiento, se den anomalías por presencia de aire en la instalación, se instalarán nuevos empalmes, purgadores, válvulas según se considere necesario y sin costes extra.

✓ Vaciados:

Los vaciados se dirigirán al sumidero o desagüe más cercano. En cualquier caso, dispondrán de una válvula de vaciado para que la tubería descargue correctamente.

3.3.3 Captadores

El captador deberá llevar un placa de características técnicas con, al menos, los siguientes parámetros especificados:

1. Fabricante.
2. Año de fabricación.
3. N° de serie.
4. Marca y modelo.
5. Área de captación.
6. Superficie del captador.
7. Dimensiones.
8. Volumen de fluido.
9. Presión máxima de trabajo.
10. Temperatura de estancamiento a 30°C y 1000 W/m².
11. Peso en vacío.
12. Lugar de fabricación.

Además, es recomendable que el material de la parrilla de tubos de los captadores sea metálico y que la distancia media entre el absorbedor y la cubierta transparente sea superior a 2 cm e inferior a 4 cm.

El captador llevará, preferentemente, un orificio de ventilación, de diámetro no inferior a 4 mm, situado en la parte inferior de forma que puedan eliminarse acumulaciones de agua en el captador. El orificio se realizará de manera que el agua pueda drenarse en su totalidad sin afectar al aislamiento.

Se recomienda que todos los captadores que integren la instalación sean del mismo tipo y modelo. Si esto no fuera posible, a causa de una rehabilitación o ampliación, se dispondrá de un sistema de regulación del caudal. De esta forma, se conseguirá mantener el mismo caudal que las baterías de los captadores existentes.

En cuanto a la estructura de soporte de los captadores, cumplirá en todo momento los requisitos establecidos por el CTE-SE. Los materiales que integran la estructura deberán tratarse con especial cuidado para que aguanten los agentes ambientales, especialmente el efecto de la radiación solar y la erosión del aire y agua.

3.3.4 Acumuladores

En cuanto al acumulador o acumuladores que se instalen deberán tener especificadas en un lugar visible las siguientes características:

1. Nombre del fabricante.
2. Fecha de registro y contraseña.
3. Número de fabricación
4. Volumen neto de almacenamiento en litros.
5. Presión máxima de operación.

Además, se deberá especificar el tipo del mismo y las siguientes características:

1. Volumen cubicado real.
2. Principales dimensiones.
3. Presión máxima de trabajo.
4. Situación y diámetro de las bocas de conexión.
5. Situación de los puntos de apoyo y sujeción.
6. Temperatura máxima de operación.
7. Tratamiento y protección.
8. Material y espesor de aislamiento.

El depósito acumulador estará fabricado conforme al Reglamento de Aparatos a Presión, donde se puede encontrar la Instrucción Técnica Complementaria MJE-AP11.

3.3.5 Bombas

Al igual que los captadores y el acumulador, las bombas de circulación deben llevar incorporadas una placa de identificación con los siguientes parámetros:

1. Fabricante.
2. Marca y modelo.
3. Características eléctricas.

Además, deberán cumplir las siguientes especificaciones técnicas:

- ✓ Rodete de fundición o bronce.
- ✓ Eje en acero inoxidable AISI 316.
- ✓ Eje y tubo de estanqueidad en acero inoxidable.
- ✓ Cojinete a bolas de carbono, a prueba de polvo y humedad.
- ✓ Cierres mecánicos: todas las bombas deberán de estar provistas con cierres mecánicos y separadores de sedimentos.
- ✓ Juntas torcas de EPDM.
- ✓ Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.
- ✓ Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto.
- ✓ Motor de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220V/1 o 220/380V/3, 50 Hz, IP.44 clase F.
- ✓ Caudal, altura manométrica, potencia del motor, número de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- ✓ En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
- ✓ Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes.

3.3.6 Vasos de expansión

Los vasos de expansión llevarán una placa de identificación en una zona visible, en la que se detallen al menos las siguientes características:

1. Fabricante.
2. Marca y modelo.

Además, deben cumplir las siguientes características:

- ✓ Temperatura máxima de trabajo recomendable de 100 °C. Se adoptarán las medidas necesarias para que no llegue al vaso fluido a una temperatura superior a la que es capaz de soportar.
- ✓ Para evitar fugas, se deben presurizar con nitrógeno puro. No se aconseja el uso de aire para esta aplicación ya que puede reducirse la vida útil.
- ✓ El cuerpo exterior estará hecho de acero con doble tratamiento antioxidante y accesible a la membrana de expansión interior.

3.3.7 Válvulas

Las válvulas deberán llevar especificado el diámetro nominal y la presión nominal. La elección de las mismas se hará en función de su aplicación. Para la selección de las mismas, se seguirá el siguiente criterio:

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

- ✓ Para retención: válvulas de disco, de capeta o de muelle.

En función del tipo de válvula que se elija para una aplicación determinada, se diseñarán con un tipo de material diferente:

- ✓ Válvulas de asiento: el cuerpo, el prensa-estopas y la tapa se fabricarán del mismo material, siendo éste bronce, fundición de hierro o acero. El obturador tendrá forma de pistón o de asiento plano. El asiento será en bronce o acero inoxidable, según el material del cuerpo.
- ✓ Válvulas de esfera: cuerpo de fundición de hierro o acero. Esfera y eje de acero duro cromado o acero inoxidable. Asientos, estopada y juntas de teflón.
- ✓ Válvulas de seguridad de resorte: cuerpo de hierro fundido o acero al carbono. Obturador y vástago de acero inoxidable. Prensa-estopas de latón.
- ✓ Válvulas de retención: cuerpo y tapa de bronce o latón. Asiento y capeta de bronce. Conexiones con rosca hembra.
- ✓ Purgadores de aire: cuerpo y tapa de fundición de hierro o latón. Mecanismo de acero inoxidable. Flotador y asiento de acero inoxidable o de plástico. Obturador de goma sintética.

3.3.8 Aislamiento

Todo material que se utilice como aislante deberá cumplir los requisitos de la norma UNE 100171:1989.

El aislamiento, tanto de las tuberías como de los equipos deberá hacer frente a los agentes atmosféricos. Por esta razón se podrá reforzar con pinturas asfálticas, aluminio o un revestimiento de escayola.

3.3.9 Sistema eléctrico y de control

El diseño de la instalación eléctrica cumplirá en todo momento el 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, se podrá gestionar a distancia y así no ser necesario tener un encargado en la sala de máquinas en todo momento.

Se comprobarán los caudales, temperaturas en captadores, acumuladores, potencia y energía inyectada en cada servicio y número de horas de funcionamiento de las bombas.

Las funciones de regulación y control son las siguientes:

- ✓ Activación de la bomba de circulación en función de la diferencia de temperaturas entre la salida de los captadores y la parte inferior del depósito acumulador.
- ✓ Se encargará de la parada y arranque de la bomba de circulación. Asegurará que en ningún momento las bombas estén en marcha cuando la diferencia entre temperaturas sea menor a 2°C ni paradas cuando esa diferencia sea superior a 7°C.
- ✓ El sistema incluirá señales lumínicas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.

3.3.10 Sistema de medida

Los sistemas o aparatos de medida nos proporcionan información y datos sobre el estado y funcionamiento de la instalación.

- ✓ Medida del caudal:

Se precisará un sistema para medir el caudal en todo momento. Para ello, se utilizarán contadores de caudal de agua, constituidos por materiales resistentes al agua. En el caso de que este sistema de medida esté ubicado en el exterior, será precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas.

El fabricante tiene que facilitar los siguientes datos:

1. Caudales: en servicio continuo, máximo, mínimo y de arranque.
2. Calibre.
3. Temperatura máxima del fluido.
4. Presión máxima.
5. Dimensiones y modo de conexión.
6. Pérdida de carga, según el caudal.

✓ Medida de la temperatura:

Los medidores de temperatura deberán estar, preferentemente, inmersos en el fluido para obtener una mayor precisión. Se utilizarán sondas de temperatura, termopares, termómetros de resistencia y termistores.

✓ Medida de la energía térmica:

Son contadores constituidos por los siguientes elementos:

1. Contador de agua.
2. Dos sondas de temperatura.
3. Microprocesador electrónico.

3.4 Condiciones de montaje

Los fabricantes de cada equipo son los encargados de facilitar las condiciones de montaje, según los materiales escogidos. Para ello, nos facilitarán unas instrucciones y unos manuales. De esta forma, nos aseguramos largos periodos de vida útil de los equipos de la instalación.

3.5 Provisión de material

En cuanto a los equipos y materiales empleados en la instalación, es de vital importancia que sean homologados y de marcas acreditadas, para que ofrezcan las máximas garantías posibles.

Es importante tener un lugar adecuado para el almacenamiento de los materiales y equipos, especialmente los captadores, el elemento más sensible de la instalación. Deben estar en ubicaciones aisladas de los agentes atmosféricos. De esta forma, se asegurará un buen rendimiento de cada equipo a la hora de instalarlos.

3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción

3.6.1 General

Una vez la instalación se ha terminado se produce la entrega al promotor o usuario para iniciar el periodo de uso inicial conocido como periodo de mantenimiento. Una vez realizadas las pruebas y la puesta en marcha se realiza la recepción.

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. El instalador se encargará de realizar el documento de Control de Ejecución, que incluirá entre otras cosas pruebas parciales, pruebas finales, funciones realizadas y fecha, resultado y grado de cumplimiento de 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

Antes de realizar todas las pruebas es necesario comprobar el estado de los materiales en el momento de su recepción en la obra.

Durante la ejecución de la instalación, las tuberías y elementos que vayan a estar ocultos deberán estar visibles para su inspección y aprobación antes de su posterior montaje. Así mismo, se comprobarán todos los soportes de tuberías, diámetros, trazados y pendientes.

A parte, se realizarán otra serie de pruebas que se detallan a continuación.

✓ Pruebas a equipos:

Se comprobarán que los materiales y componentes que lleguen a la obra cumplen las especificaciones y características. Para ello, será necesario que tengan una Certificación de Origen, de esta forma quedará acreditado que cumplen la normativa vigente.

- Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas:

Como se ha comentado anteriormente, antes de ocultar todas las tuberías y accesorios, deberá asegurarse su estanqueidad.

- Pruebas de libre dilatación:

Una vez se han realizado las pruebas anteriores y han resultado satisfactorias, se llevarán la instalación hasta la temperatura de estancamiento del sistema de seguridad para posteriormente dejar enfriar. Durante el enfriamiento y al finalizar el mismo, se comprobará que la instalación no haya sufrido deformaciones apreciables. De esta forma nos aseguramos que el sistema de expansión funciona correctamente.

3.6.3 Pruebas finales

Con la realización de estas pruebas nos aseguraremos que la instalación cumple con las condiciones de diseño y reúne la suficiente calidad, fiabilidad y seguridad exigidas en el proyecto.

Se realizarán unas pruebas muy parecidas a las anteriores, con un carácter definitivo y final. Para ello se seguirá la normativa UNE-EN 12599:2014.

3.6.4 Ajustes y equilibrado

La instalación se ajustará a los valores determinados en el proyecto, con ciertos márgenes admisibles de tolerancia. Se realizarán de acuerdo a la norma UNE 100010, partes 1, 2 y 3, "Climatización. Pruebas de ajuste y equilibrado".

✓ Sistemas de distribución de agua:

1. De cada circuito se comprobará el caudal y la presión que pasa por él.
2. En el caso de que haya más de una rama de captadores, se comprobará el equilibrado hidráulico en cada uno de ellos.
3. Se comprobará que el fluido anticongelante contenido en los circuitos cumple con los requisitos del proyecto.
4. Se ajustarán al caudal de diseño las distintas bombas del circuito.
5. Se comprobará el mecanismo del subsistema de energía solar en condiciones de estancamiento.

✓ Sistemas de control automático:

Se ajustarán todos los parámetros de este sistema a los valores de diseño del proyecto y se comprobará el funcionamiento de todos los componentes del sistema de control.

3.6.5 Recepción

✓ Recepción provisional:

El objetivo es comprobar que la instalación cumple de acuerdo a la normativa y a la aplicación para la que fue diseñada y se ajuste a lo especificado en el proyecto.

Una vez llevadas a cabo una serie de pruebas anteriormente expuestas se procederá al acto de recepción provisional, con el que se dará por finalizada la instalación y en la que se firmará un acta donde figuren los interventores.

Se entregarán los siguientes documentos:

1. Memoria descriptiva, incluyendo bases de proyecto y criterios adoptados para su desarrollo.
2. Copia de todos los planos de la instalación, incluyendo los esquemas de principio de todas las instalaciones y plano de sala de máquinas.
3. Relación de los materiales y equipos empleados en la instalación.
4. Actas de las pruebas finales y parciales.
5. Manuales de instrucción de los diferentes equipos de la instalación.

✓ Recepción definitiva:

Una vez se reciba el acta de recepción provisional, la propiedad deberá notificar cualquier incidencia en la instalación. Transcurrido el plazo establecido en el acta provisional, pasará a ser Recepción Definitiva. Es a partir de entonces cuando entra en vigor la garantía.

3.7 Mantenimiento

Las operaciones que se llevan a cabo una vez la instalación se ha puesto en marcha tendrán como objetivo aumentar la vida útil de la misma, garantizar el funcionamiento y aumentar la fiabilidad.

Las tres operaciones que se llevan a cabo son:

- ✓ Vigilancia.
- ✓ Mantenimiento preventivo.
- ✓ Mantenimiento correctivo.

3.7.1 Vigilancia

El plan de vigilancia asegura que los valores operaciones de la instalación sean los correctos. Podrá ser llevado a cabo por el mismo usuario de la instalación, ya que es simplemente un plan de observación de los parámetros funcionales principales. En la tabla 26 se puede ver el plan de vigilancia.

3.7.2 Mantenimiento preventivo

Es un conjunto de operaciones que garantizan el correcto funcionamiento de la instalación durante la vida útil de la misma.

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener el rendimiento de la instalación sin que el instalador o el usuario noten alguna anomalía.

Este plan de mantenimiento incluirá, como mínimo, una revisión anual de la instalación para aquellas que tengan un área de captación menor a 20 m² y una revisión cada 6 meses en el caso de que se supere el área de captación anterior.

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo. En las tablas 27, 28, 29 y 30 se pueden ver los planes de mantenimiento para los distintos sistemas que conforman la instalación.

Tabla 26: Plan de vigilancia de la instalación solar

<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 27: Plan de mantenimiento preventivo del sistema de captación

<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 28: Plan de mantenimiento preventivo del sistema de acumulación

<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 29: Plan de mantenimiento preventivo del sistema hidráulico

<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.

CF: Control de funcionamiento.

IV: Inspección visual.

Tabla 30: Plan de mantenimiento preventivo del sistema de control

<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.

CF: Control de funcionamiento.

3.7.3 Mantenimiento correctivo

Son operaciones realizadas como consecuencia de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de vigilancia o en el de mantenimiento preventivo.

Cuando aparece un fallo en la instalación que conlleve la parada o pérdida de rendimiento de la misma aplicaremos este tipo de mantenimiento para paliar esos problemas.

4 PRESUPUESTO

4.1 Sistema de captación

Tabla 31: Presupuesto del sistema de captación

Ref.	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/Ud. (€/ud.)	Total (€)
1.1	Captador solar, marca Chromagen, modelo QR-E o similar. Absorbedor de aluminio soldado por láser a parrilla de conductos. A= 2,33 m ² ; m=35 kg.; Capacidad=1,3 L Absortividad 0,95 y Emisividad 0,45 k1=4,821 W/m ² ·K ; k2=0,015 W/m ² ·K Q ensayo= 72 L/h·m ² η=69,6 %	48	ud.	543,29	26077,92
1.2	Estructura soporte: EISA064 Chromagen. Estructura soporte de aluminio para agrupación de 6 captadores e inclinación de 30°.	8	ud.	615	4920
1.3	Kit accesorios batería Chromagen: Contiene tapón de compresión de cobre, racores de conexión, válvula de seguridad y purgador.	8	ud.	108	864
1.4	Manguitos de compresión con tuerca.	80	ud.	5,53	442,4
TOTAL					32304,32

4.2 Sistema de acumulación

Tabla 32: Presupuesto del sistema de acumulación

Ref.	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/Ud. (€/ud.)	Total (€)
2.1	Interacumulador, marca LAPESA, modelo MVV 6000-SB o similar. Depósito de acero vitrificado con serpetín y capacidad de 6000 litros. Peso= 1216 kg. Sup. Intercambio= 8,4 m ²	1	ud.	14459	14459
TOTAL					14459

4.3 Sistema de control y seguridad

Tabla 33: Presupuesto del sistema auxiliar

Ref.	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/Ud. (€/ud.)	Total (€)
5.1	Central para control, marca TERMICOL, modelo XTDC o similar.	1	ud.	870	870
5.2	Sonda de temperatura Chromagen	10	m	20	200
5.3	Manómetro SALVADOR ESCODA	10	m	13,24	132,4
TOTAL					1202,4

4.4 Sistema hidráulico

Tabla 34: Presupuesto del sistema hidráulico

Ref.	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/Ud. (€/ud.)	Total (€)
3.1	Bomba de circulación, marca WILO, modelo Stratos 50 1-8 o similar. Caudal máximo= 17 m ³ /h. ; H _{máx} =8 m Bomba trifásica, Consumo= 430 W.	2	ud.	1715	3430
3.2	Vaso de expansión, marca IBAIONDO, modelo 2SMF o similar. Volumen= 2 L.	1	ud.	14,27	14,27
3.4	Tubería de cobre 1"	84,08	m	10,58	889,5664
3.5	Tubería de cobre 1,25 "	47,95	m	13,37	641,0915
3.6	Tubería de cobre 1,5 "	13,4	m	16,16	216,544
3.7	Tubería de cobre 2 "	87,46	m	18,23	1594,3958
3.8	Accesorio T reducida Ø 54-35-54: SALVADOR ESCODA	2	ud.	103,59	207,18
3.9	Accesorio T reducida Ø 54-35-42: SALVADOR ESCODA	2	ud.	104,59	209,18
3.10	Accesorio T reducida Ø 42-35-35: SALVADOR ESCODA	2	ud.	77,01	154,02
3.11	Accesorio T reducida Ø 28-35-28: SALVADOR ESCODA	6	ud.	28,05	168,3
3.12	Codo 90 ° 1" SALVADOR ESCODA	24	ud.	2,57	61,68
3.13	Codo 90 ° 1,25" SALVADOR ESCODA	2	ud.	11,75	23,5
3.14	Codo 90 ° 2" SALVADOR ESCODA	2	ud.	36,6	73,2
3.15	Aislamiento tubería K-FLEX 1": 35 mm	84,08	m	13,79	1159,4632
3.16	Aislamiento tubería K-FLEX 1,25": 35 mm	47,95	m	14,49	694,7955
3.17	Aislamiento tubería K-FLEX 1,5": 35 mm	13,4	m	18,04	241,736
3.18	Aislamiento tubería K-FLEX 2": 40 mm	87,46	m	41,66	3643,5836
3.19	Válvula de corte Salvador Escoda:	24	ud.	28,95	694,8
3.20	Válvula de seguridad Caleffi	2	ud.	23,96	47,92
3.21	Grupo hidráulico de llenado de circuito	1	ud.	554,97	554,97
3.22	Filtro de aspiración marca Filtromatic o similar	4	ud.	24,9	99,6
3.23	Válvula de retención Bricotecnica:	2	ud.	9,65	19,3
TOTAL					14839,10

4.5 Presupuesto total

En cuanto al presupuesto total, se puede observar en la tabla 35 que es de 62804,82 €, es decir, 561,56 € por metro cuadrado de superficie de captación.

Tabla 35: Presupuesto total

Sistema	Precio
Sistema de captación	32304,32
Sistema de acumulación	14459
Sistema hidráulico	14839,10
Sistema de control	1202,4
TOTAL	62804,82

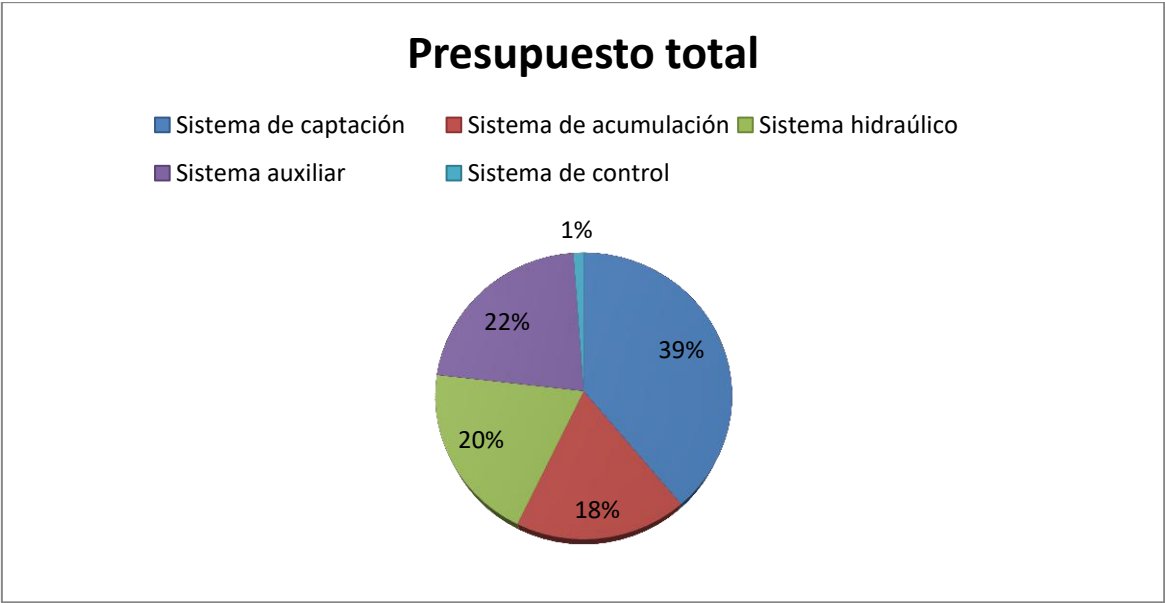


Figura 35: Distribución del presupuesto total

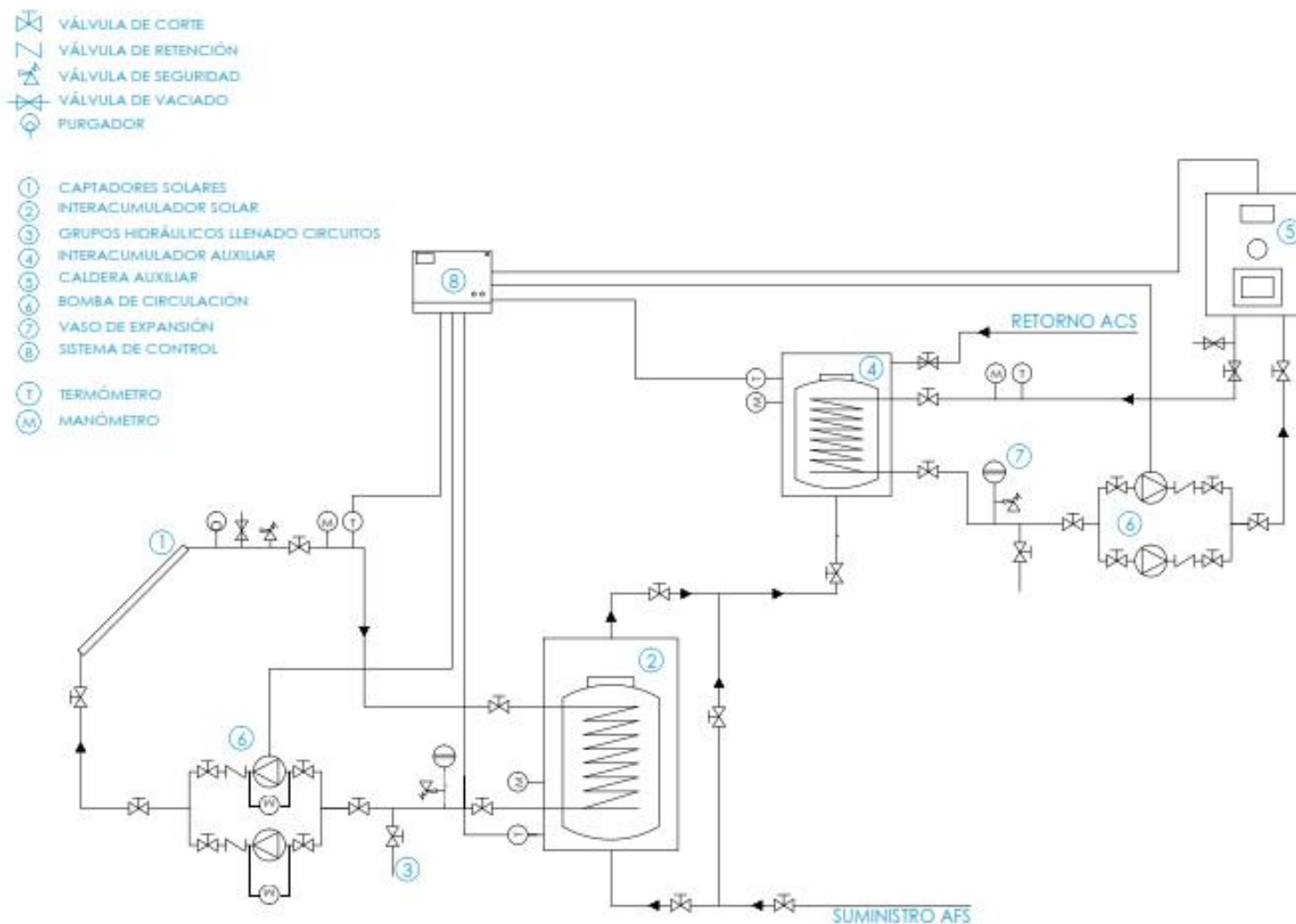
5 PLANOS



PROYECTO: Instalación de energía solar térmica para producción de ACS en un hotel			
PLANO: Ubicación Hotel en Écija			
AUTOR: Moisés Jiménez Carmona		Fecha: Junio 2020	Nº 1



PROYECTO:	Instalación de energía solar térmica para producción de ACS en un hotel		
PLANO:	Ubicación hotel en Écija		
AUTOR:	Moisés Jiménez Carmona	Fecha: Junio 2020	Nº 2



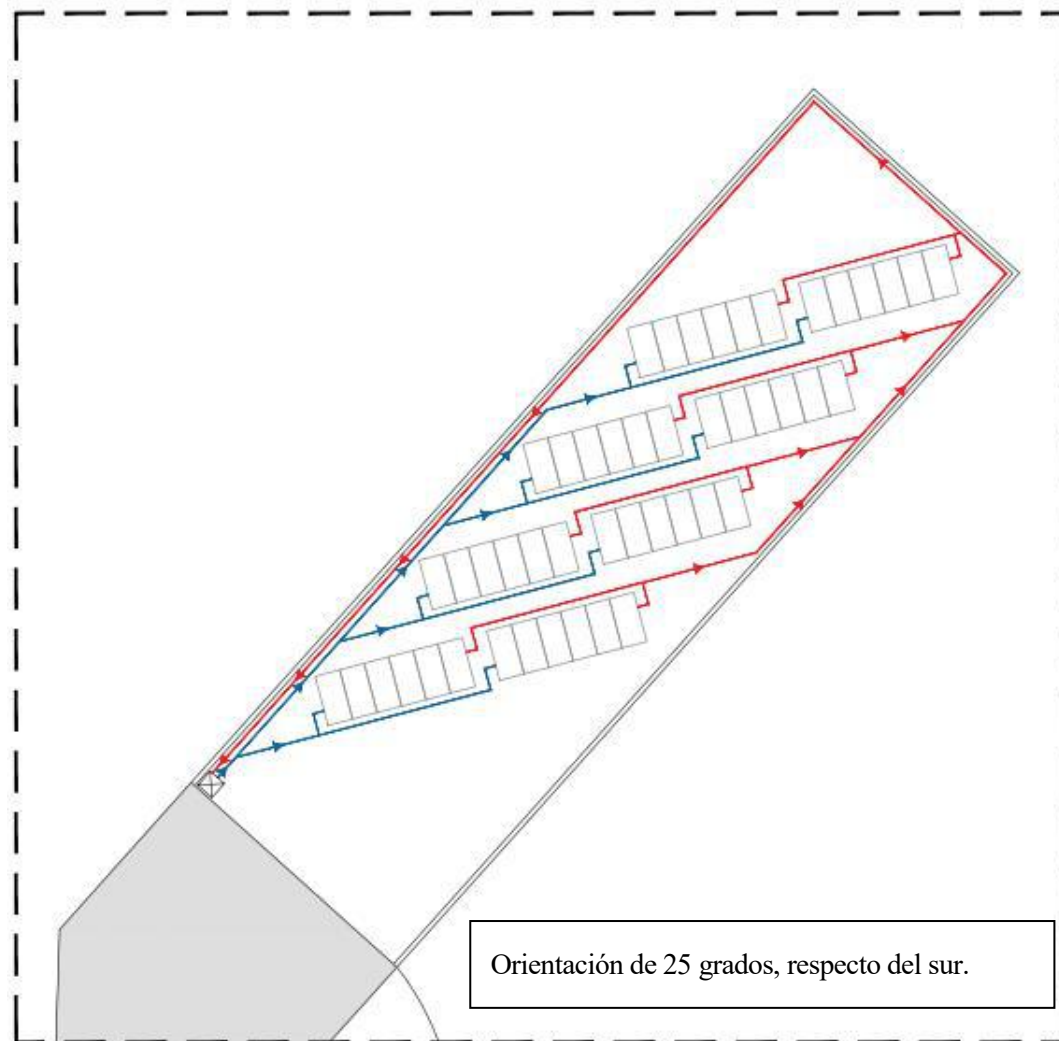
PROYECTO: Instalación de energía solar térmica para producción de ACS en un hotel

PLANO: Esquema de principio de la instalación

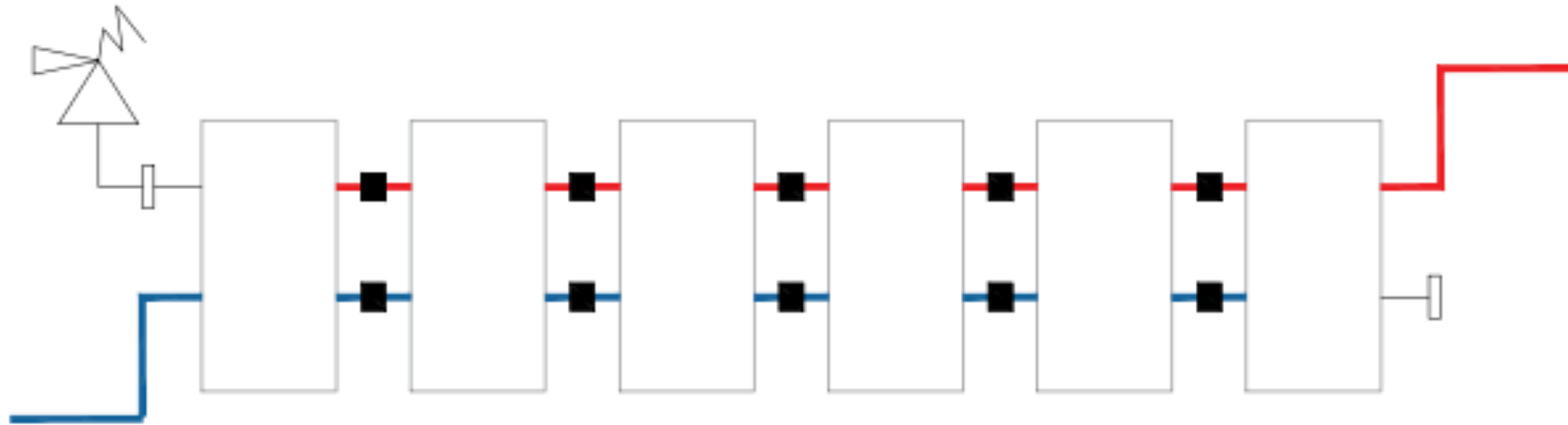
AUTOR: Moisés Jiménez Carmona

Fecha: Junio 2020

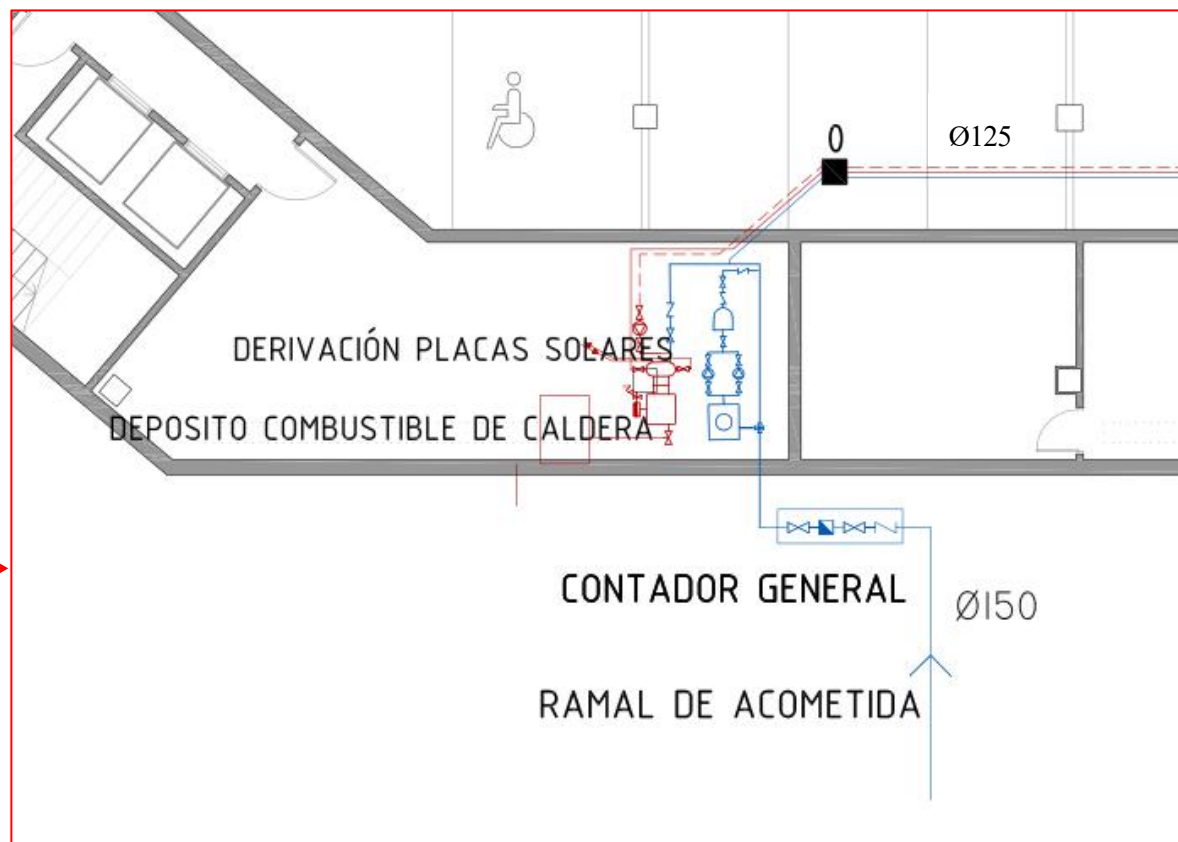
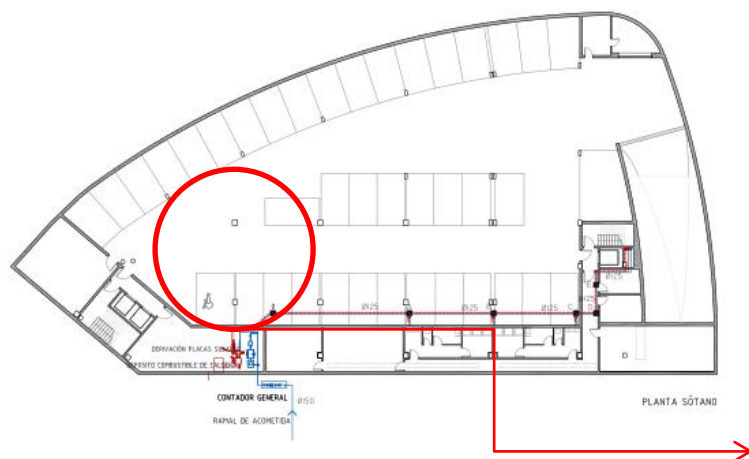
Nº 3



PROYECTO: Instalación de energía solar térmica para producción de ACS en un hotel		
PLANO: Ubicación e instalación de captadores en la cubierta del hotel		
AUTOR: Moisés Jiménez Carmona	Fecha: Junio 2020	Nº 4



PROYECTO: Instalación de energía solar térmica para producción de ACS en un hotel			
PLANO: Detalle de conexión de captadores			
AUTOR: Moisés Jiménez Carmona		Fecha: Junio 2020	Nº 5



PROYECTO: Instalación de energía solar térmica para producción de ACS en un hotel			
PLANO: Ubicación Sala de máquinas en el sótano			
AUTOR: Moisés Jiménez Carmona		Fecha: Junio 2020	Nº 6

