

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

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

Autor: Jesús Pinillos Boralla

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingenierías de las Tecnologías Industriales

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

Autor:

Jesús Pinillos Boralla

Tutor:

José Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

Dep. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016

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

Trabajo Fin de Grado: Diseño de una instalación de energía solar para producción de agua caliente en un hotel

Autor: Jesús Pinillos Boralla

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi familia, en especial a mis padres.

A mis profesores y compañeros, que me han acompañado en esta etapa.

Resumen

En el siguiente proyecto se ha realizado el estudio de la instalación de un sistema de energía solar para obtener agua caliente sanitaria para un hotel situado en la localidad de Palmones, en Cádiz. Para ello se ha realizado un estudio previo de la localización y el clima de la zona apoyándose en datos históricos de la localidad. Posteriormente se han seleccionado la configuración y los equipos necesarios cumpliendo estrictamente la normativa del Código Técnico de la Edificación. Se ha realizado el diseño del esquema de principio y la red de tuberías del sistema. Por último, se ha definido el pliego de condiciones técnicas y se ha realizado las mediciones y presupuesto del coste de la instalación.

Abstract

The following project has been the study of installing a solar energy system for domestic hot water for a hotel located in the village of Palmones, Cadiz. For this we have made a preliminary study of the location and climate of the area relying on historical data of the town. Subsequently selected configuration and equipment required strict compliance with the rules of the Technical Building Code. It has designed the schematic diagram and the piping system. Finally, it defined the technical specifications and performed the measurements and installation cost budget.

Índice

Resumen	9
Abstract	11
Índice	12
Índice de Tablas	14
Índice de Figuras	16
1. Memoria descriptiva	18
1.1 <i>Objeto del proyecto</i>	18
1.2 <i>Antecedentes</i>	18
1.2.1 <i>Introducción a la energía solar</i>	18
1.2.2 <i>Fundamentos de la energía solar</i>	18
1.3 <i>Método de cálculo</i>	20
1.4 <i>Descripción del edificio</i>	25
1.5 <i>Descripción de la instalación</i>	27
1.5.1 <i>Elementos principales de la instalación</i>	29
1.6 <i>Características de los equipos</i>	31
1.7 <i>Normativa</i>	35
<i>Bibliografía</i>	37
2. Memoria de cálculo	38
2.1 <i>Introducción</i>	38
2.2 <i>Datos de partida</i>	38
2.2.1 <i>Parámetros geográficos</i>	38
2.2.2 <i>Parámetros climáticos</i>	38
2.3 <i>Cálculo de la demanda</i>	45
2.3.1 <i>Cálculo del consumo de agua</i>	45
2.3.2 <i>Demanda energética</i>	45
2.4 <i>Cálculo de la superficie de captación</i>	46
2.4.1 <i>Determinación de la fracción de demanda cubierta anual</i>	46
2.4.2 <i>Determinación del número de captadores en serie</i>	49
2.4.3 <i>Disposición de captadores</i>	50
2.5 <i>Cálculo del volumen de acumulación</i>	50
2.6 <i>Cálculo de la red de tuberías</i>	52
2.6.1 <i>Caudal del circuito primario</i>	52
2.6.2 <i>Pérdida de carga en captadores</i>	53
2.6.3 <i>Pérdidas de carga en el circuito primario</i>	53
2.7 <i>Cálculo de los equipos de intercambio</i>	56
2.8 <i>Dimensionado de la bomba de circulación</i>	57
2.9 <i>Dimensionado del vaso de expansión</i>	57
2.10 <i>Cálculo espesor de aislamiento</i>	58
2.11 <i>Selección de accesorios</i>	60
ANEXOS	61

<i>ANEXO I: CATÁLOGOS DE EQUIPOS</i>	61
<i>ANEXO II: CERTIFICADO CHEQ4</i>	66
3. Pliego de condiciones técnicas y administrativas	69
3.1 <i>Objeto</i>	69
3.2 <i>Normativa aplicable</i>	69
3.3 <i>Condiciones de materiales y equipos</i>	69
3.3.1 Tuberías y accesorios	69
3.3.2 Válvulas	72
3.3.3 Aislamiento	73
3.3.4 Vasos de expansión	73
3.3.5 Bombas	74
3.3.6 Captadores	75
3.3.7 Sistema eléctrico y de control	76
3.3.8 Aparatos de medida	77
3.3.9 Acumuladores	78
3.3.10 Intercambiadores de calor	79
3.4 <i>Provisión del material</i>	79
3.5 <i>Condiciones de montaje</i>	80
3.6 <i>Pruebas, puesta en marcha y recepción</i>	80
3.6.1 General	80
3.6.2 Pruebas parciales	80
3.6.3 Pruebas finales	81
3.6.4 Ajuste y equilibrado	81
3.6.5 Recepción	82
3.7 <i>Mantenimiento</i>	83
3.7.1 Vigilancia	83
3.7.2 Mantenimiento preventivo	83
3.7.3 Mantenimiento correctivo	83
4. Mediciones y Presupuesto	84
4.1 <i>Sistema de captación</i>	84
4.2 <i>Sistema de interacumulación</i>	85
4.3 <i>Sistema hidráulico</i>	86
4.4 <i>Sistema de control y regulación</i>	87
4.5 <i>Presupuesto instalación completa</i>	87
5. Planos	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Radiación global sobre superficie horizontal, temperatura de red y temperatura ambiente según la norma UNE: 94003:2007	39
Tabla 2.2: Declinación mensual	40
Tabla 2.3: Ángulo solar medio mensual	41
Tabla 2.4: Radiación extraterrestre e índice de claridad para latitud 36°	41
Tabla 2.5: Relación entre la radiación directa en una superficie horizontal y una inclinada, y ángulo solar sobre superficie inclinada.	43
Tabla 2.6: Radiaciones solares global, directa y difusa sobre superficie inclinada para cada mes	44
Tabla 2.7: Temperatura de red media y demanda energética mensuales.	46
Tabla 2.8: Datos de partida para el CHEQ4	47
Tabla 2.9: Estudio paramétrico de la fracción de demanda cubierta frente a superficie de captación	49
Tabla 2.10: Variación de la fracción de demanda cubierta en función del número de captadores en serie	50
Tabla 2.11: Variación de la fracción de demanda cubierta en función del volumen del acumulador	51
Tabla 2.12: Pérdidas de carga en circuito primario	55
Tabla 2.13: Características del circuito primario	56
Tabla 2.14: Espesores mínimos de aislamiento para tuberías interiores según el RITE	59
Tabla 2.15: Espesores mínimos de aislamiento para tuberías exteriores según el RITE	59
Tabla 4.1: Presupuesto del sistema de captación	84
Tabla 4.2: Presupuesto del sistema de interacumulación	85
Tabla 4.3: Presupuesto del sistema hidráulico	86
Tabla 4.4: Presupuesto del sistema de control y regulación	87

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1: División de la radiación solar incidente</i>	19
<i>Figura 1.2: Instalación para consumo único con sistema prefabricado</i>	21
<i>Figura 1.3: Instalación para consumo único con interacumulador</i>	21
<i>Figura 1.4: Instalación para consumo único con intercambiador independiente</i>	21
<i>Figura 1.5: Instalación para consumo único con intercambiador independiente y piscina cubierta</i>	22
<i>Figura 1.6: Instalación para consumo múltiple con todo centralizado</i>	22
<i>Figura 1.7: Instalación para consumo múltiple con acumulación centralizada y apoyo distribuido</i>	22
<i>Figura 1.8: Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida</i>	23
<i>Figura 1.9: Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido</i>	23
<i>Figura 1.10: Tabla de resultados del CHEQ4</i>	25
<i>Figura 1.11: Gráfica de resultados del CHEQ4</i>	25
<i>Figura 1.12: Localización de la vivienda</i>	26
<i>Figura 1.13: Vista del hotel desde el aparcamiento delantero</i>	26
<i>Figura 1.14: Esquema de principio</i>	28
<i>Figura 1.15: Captador solar TopSon F3.1</i>	32
<i>Figura 1.16: Esquema del interacumulador</i>	33
<i>Figura 1.17: Curva altura/caudal de diseño de la bomba del primario</i>	34
<i>Figura 1.18: Curva de potencia de la bomba del primario</i>	34
<i>Figura 1.19: Dimensiones de la bomba del primario</i>	34
<i>Figura 2.1: Zonas climáticas según la norma UNE 94003:2007</i>	38
<i>Figura 2.2: Radiación global sobre superficie horizontal y sobre superficie inclinada.</i>	44
<i>Figura 2.3: Evolución de la demanda energética a lo largo de un año</i>	45
<i>Figura 2.4: Fracción de demanda cubierta en función de la superficie de captación</i>	48
<i>Figura 2.5: Resultados del CHEQ4</i>	48
<i>Figura 2.6: Gráficos obtenidos por el CHEQ4</i>	48
<i>Figura 2.7: Resultados finales obtenidos por CHEQ4</i>	51
<i>Figura 2.8: Gráficos finales obtenidos por CHEQ4</i>	52
<i>Figura 2.9: Pérdida de carga en captadores</i>	53
<i>Figura 2.10: Distribución de captadores y red de tuberías</i>	54
<i>Figura 2.11: Cálculo de la potencia térmica intercambiada</i>	57

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Objeto del proyecto

El objetivo de este proyecto consiste en el diseño de una instalación de captación de energía solar térmica de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel de tres estrellas situado en la urbanización de Los Barrios, en la localidad de Palmones (Cádiz). Además, se realizará una evaluación económica del proyecto mediante un presupuesto por equipos y presupuesto total. El informe se llevará a cabo bajo todas las ordenanzas pertinentes que se mencionarán a lo largo del trabajo.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Introducción a la energía solar

El sol supone una fuente de energía inagotable, la cual llega a la Tierra en forma de radiación. Sin embargo, no toda ella llega a la superficie terrestre ya que solo $\frac{3}{4}$ partes entran a través de la atmósfera. Esta radiación se percibe en forma de haces de luz, de la que solo una parte llega es captada por el ojo humano. En estos haces de luz está presente la energía que proporciona el sol, que ha de ser captada para poder aprovecharla. Dicha captación debe llevarse a cabo a través de la absorción por algún tipo de material, y así lograr convertirla en energía térmica o eléctrica.

La calidad del aprovechamiento de ésta energía depende de la cantidad de radiación que se reciba, de los materiales empleados para su captación y de las formas de almacenamiento y consumo de la energía que se capta. Como la disponibilidad de la radiación solar no coincide normalmente con el periodo de demanda, un factor importante a considerar es el almacenamiento de la energía obtenida, de tal modo que se pueda disponer de la misma en los momentos en los que sea necesario.

Las necesidades energéticas han aumentado en los últimos años y, por tanto, su demanda. Por ello se han buscado diferentes fuentes de energía para satisfacer estas necesidades. Históricamente, las principales fuentes se han obtenido de los recursos naturales, como el carbón, petróleo... para más tarde pasar a los recursos hidráulicos, la energía nuclear o el gas natural. El principal problema de estas fuentes es que se ha acarreado un agotamiento paulatino de los recursos naturales y un creciente deterioro del medio ambiente.

Las energías de origen renovable surgen como una posibilidad de contrarrestar los inconvenientes de las anteriores, mediante una combinación de las tecnologías actuales y los conocimientos adquiridos acerca de su potencialidad. Las principales fuentes de energía que se presentan como inagotables son la biomasa, la energía hidráulica, la energía eólica, y la captación solar directa. El empleo de estas fuentes, junto con un consumo responsable de la energía, contribuyen a paliar el impacto ambiental y a satisfacer las necesidades energéticas actuales.

1.2.2 Fundamentos de la energía solar

La energía solar llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas que se propagan en todas direcciones y se caracterizan por tener una frecuencia (f) con la que la onda se repite. A mayor frecuencia, es decir, mayores oscilaciones, mayor energía transporta la onda.

Otro factor característico de una onda es la longitud de onda (λ), dada por el cociente entre la velocidad de la luz y la frecuencia, siendo menor la longitud de onda a medida que mayor sea la frecuencia. No toda la radiación solar que llega a la atmosfera alcanza la superficie terrestre, ya

que se producen una serie de pérdidas en determinados fenómenos físicos, como se muestra en la *Figura 1.1*:

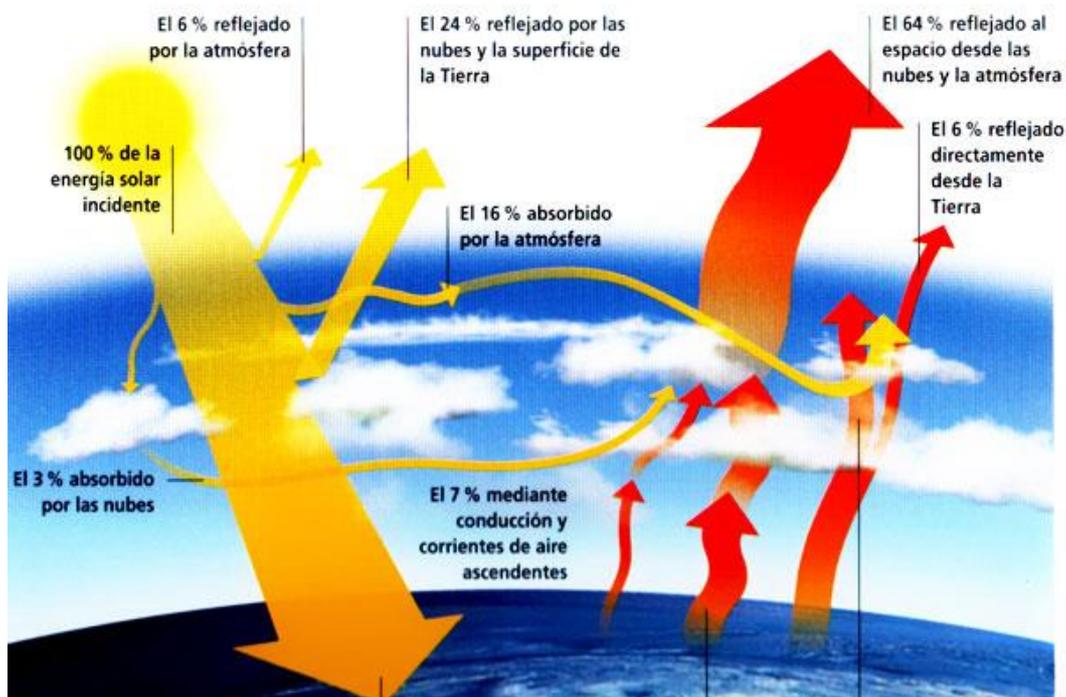


Figura 1.1: División de la radiación solar incidente

Por lo tanto, un objeto que se encuentre en la superficie de la Tierra recibirá los siguientes tipos de radiación:

- Radiación directa: rayos de luz que inciden directamente sobre la superficie, sin ser desviados.
- Radiación difusa: alcanza la superficie tras haber cambiado de dirección varias veces al atravesar la atmósfera.
- Radiación reflejada: es la parte de la radiación reflejada por el terreno y otros elementos que se encuentren en la superficie terrestre, la cual puede ser absorbida por otros objetos

Para definir la energía solar que llega a una superficie se usan las magnitudes comentadas a continuación:

- Irradiancia (I): Potencia solar incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Su unidad de medida es el W/m².
- Irradiación (E): Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se expresa en MJ/m² o kWh/m².

La cantidad de radiación directa que incide sobre una superficie depende del ángulo que formen dicha radiación y la superficie. Siendo máxima si la radiación llega perpendicularmente a la superficie, y disminuyendo a medida que llega más oblicua a la superficie en cuestión. Para conocer correctamente la posición del Sol en cada momento con respecto a un punto de la Tierra, se utilizan dos coordenadas, el azimut solar y la altura solar. El primero consiste en el ángulo de giro del Sol con respecto al sur geográfico medido sobre el plano horizontal. Un azimut de 0° se tendrá cuando el Sol se encuentre justo en el Sur geográfico y coincidirá con el mediodía solar. Por otro lado, la altura solar es el ángulo que forman los rayos del sol sobre la horizontal, que varía a lo largo del día y del año.

A su vez, para saber dónde está situado un objeto en la Tierra, se usan los siguientes parámetros:

- Latitud (β): Ángulo formado por la vertical de un punto a la superficie terrestre y el plano del ecuador. Se toma como valor positivo para el hemisferio norte y negativo para el hemisferio sur.
- Longitud (l): arco del ecuador comprendido entre el meridiano de un lugar el meridiano de referencia, es decir, el meridiano de Greenwich.

1.3 Método de cálculo

En este trabajo se utilizará la herramienta informática CHEQ4 para los cálculos referentes a la fracción de la demanda que debe cubrirse con energía solar. Consiste en una aplicación desarrollada por IDEA y ASIT con el fin de verificar el cumplimiento de la contribución solar mínima en las instalaciones solares térmicas. En esta herramienta vienen incorporada todas las bases de datos necesarias y permite generar un informe de resultados de manera sencilla y rápida.

CHEQ4 utiliza como método de cálculo MetaSol, el cual combina la precisión y flexibilidad de la simulación con programas como TRANSOL, la rapidez y simplicidad de métodos como f-Chart, teniendo siempre presente la legislación española.

Dicho método de cálculo es una aproximación a los métodos de cálculo del F-Chart: partiendo de modelos detallados, obtenidos del programa TRANSOL, se realizan un gran número de simulaciones para correlacionar los resultados obtenidos finalmente, en función de las variables principales del sistema bajo estudio. A diferencia del F-Chart, las condiciones de contorno, es decir, de radiación, temperatura, ambiente, temperatura del agua de red, demanda entre otros, se fijan de acuerdo a la normativa española vigente (periódicamente existen actualizaciones del CHEQ4 por si existen variaciones de la misma). También se diferencia del F-Chart que, en este caso, no se fija la configuración del sistema, si no que en el CHEQ4 se han elegido entre ocho configuraciones diferentes, incluyendo para viviendas unifamiliares, bloques de pisos y sistemas para climatización de piscinas cubiertas. Se han elegidos estas configuraciones porque son las que cubren si no la totalidad de los sistemas instalados en España, la mayor parte. Si se tiene un sistema que no coincide con los sistemas escogidos por el CHEQ4, se deberá entonces elegir la que más se asemeje a la que se va a diseñar, ya que en cualquier caso la precisión será mejor que utilizando otros métodos de cálculos estáticos desarrollados para el cálculo de sistemas térmicos solares en viviendas multifamiliares.

Para obtener los resultados finales deseados, el CHEQ4 necesita de una serie de datos, o parámetros de la instalación a proyectar. Éstos son los siguientes:

- **Datos del proyecto**

El programa permite al usuario especificar datos generales y del autor, para que terceros puedan identificar el proyecto en cuestión. Los campos que deben rellenarse son:

- Nombre del proyecto.
- Comunidad: comunidad autónoma donde se ubicará la instalación.
- Localidad: localidad en la que se situará la instalación.
- Dirección: calle y número de la ubicación de la instalación.
- Nombre: nombre del autor del proyecto.
- Empresa o institución: nombre de la empresa o institución responsable.
- Email: dirección de correo electrónico de contacto.
- Teléfono: teléfono de contacto.

- **Localización**

Las condiciones ambientales y climatológicas son factores determinantes a la hora de diseñar la instalación, ya que condicionan la demanda, la ganancia y las pérdidas energéticas de la misma. Todos estos parámetros vienen definidos según la localización que se establezca. También es necesario indicar a que altura sobre el mar se encuentra la instalación.

- **Configuración del sistema**

El usuario puede seleccionar el tipo de instalación que más se ajuste al sistema que se va a desarrollar. Se tienen 8 tipos distintos de configuraciones, divididas en “Consumo único” y “Consumo múltiple”. Las configuraciones que se tienen son las siguientes:

- Instalación para consumo único con sistema prefabricado

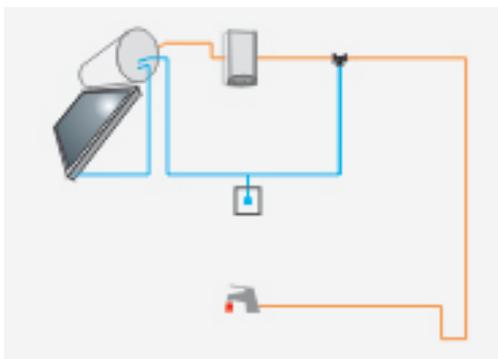


Figura 1.2: Instalación para consumo único con sistema prefabricado

- Instalación para consumo único con interacumulador

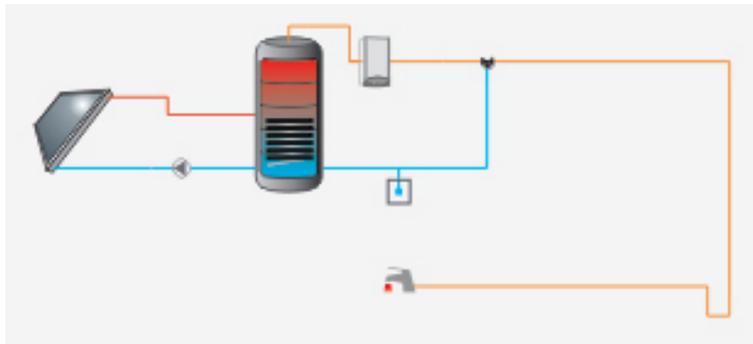


Figura 1.3: Instalación para consumo único con interacumulador

- Instalación para consumo único con intercambiador independiente

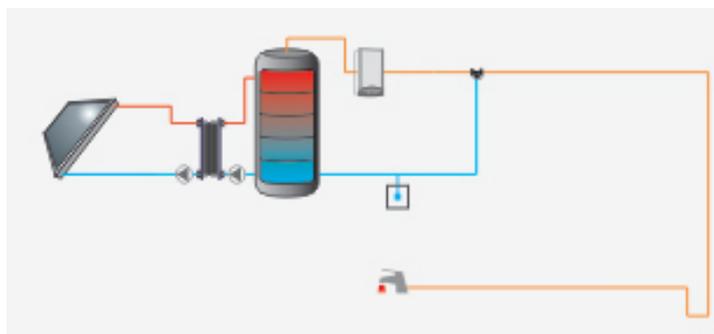


Figura 1.4: Instalación para consumo único con intercambiador independiente

- Instalación para consumo único con intercambiador independiente y piscina cubierta

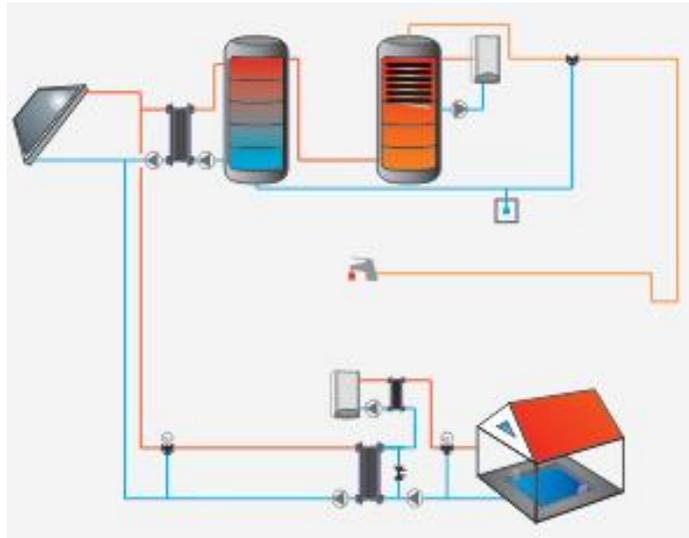


Figura 1.5: Instalación para consumo único con intercambiador independiente y piscina cubierta

- Instalación para consumo múltiple con todo centralizado

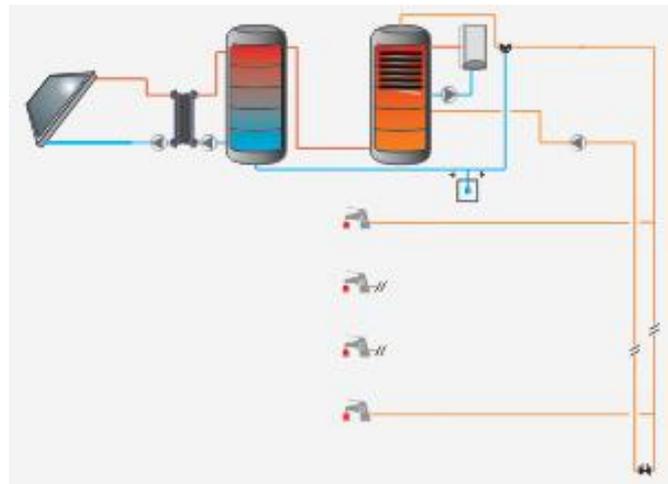


Figura 1.6: Instalación para consumo múltiple con todo centralizado

- Instalación para consumo múltiple con acumulación centralizada y apoyo distribuido

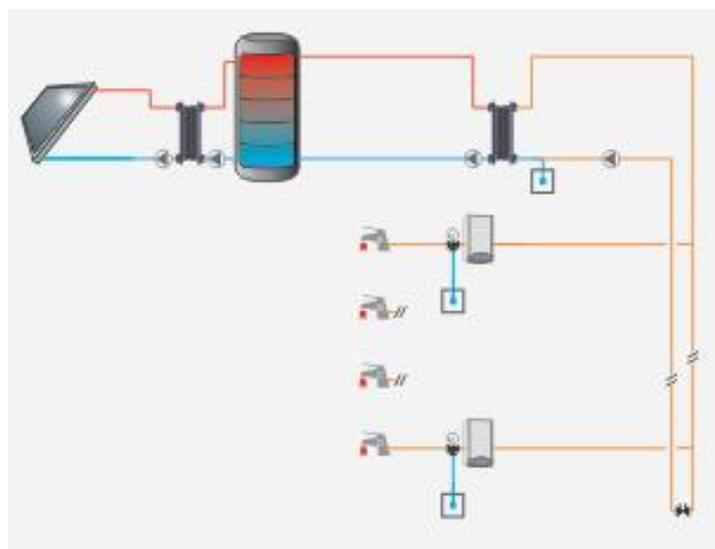


Figura 1.7: Instalación para consumo múltiple con acumulación centralizada y apoyo distribuido

- Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida

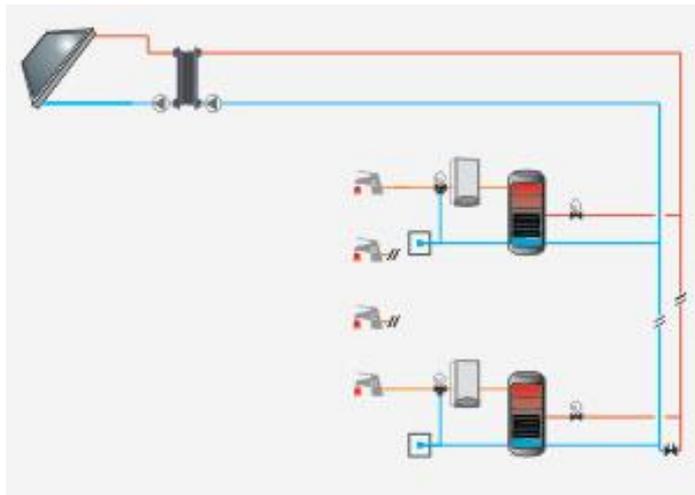


Figura 1.8: Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida

- Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido

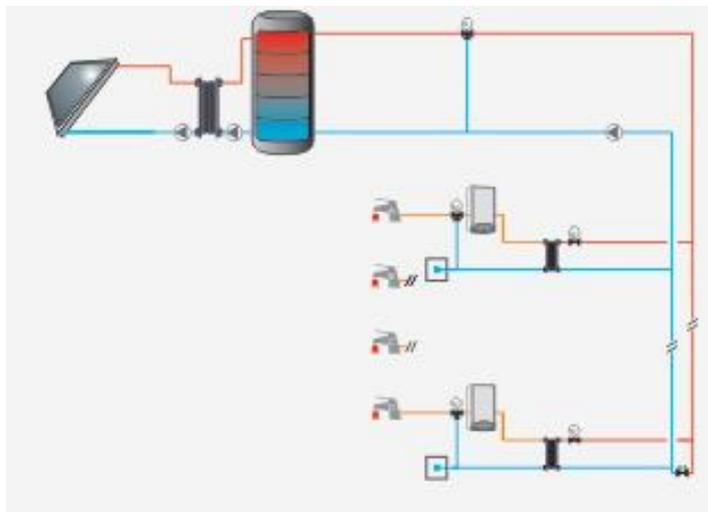


Figura 1.9: Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido

- **Demanda energética del sistema**

El usuario debe especificar la demanda total de agua caliente en el edificio. Los parámetros que hay que introducir dependen de si se trata de una instalación para consumo único o para consumo múltiple. Para un consumo único, el cálculo de la demanda se realiza en función de cuál sea su tipo de aplicación final (según HE4-4.1.1). El usuario únicamente debe seleccionar el tipo de aplicación y el número de elementos de dicha aplicación. Por otro lado, para el consumo múltiple se deberá especificar el número de viviendas y dormitorios. Se ha considera un consumo en viviendas multifamiliares de 28 (l/día a 60°C) por persona (según HE4-4.1.1.1). El número de personas por dormitorio y el factor de centralización también están especificados según la norma (HE4-4.1.4 y HE4-4.1.5).

Existe la opción de incluir también otras demandas que no se hayan podido incluir en ninguno de los apartados anteriores. El valor de dichas demandas se sumará directamente al valor previamente calculado en los apartados anteriores.

Es posible, además, establecer la ocupación estacional especificando el porcentaje de ocupación estacional mensual de la instalación.

Finalmente, el CHEQ4 es capaz de determinar automáticamente cuál ha de ser el requerimiento de contribución solar mínima exigida por el HE4.

- **Parámetros del sistema**

El usuario deberá especificar todos los parámetros comunes a ambas configuraciones

- **Captadores**

Aquí se debe seleccionar el modelo de captador concreto con el que se quiere trabajar. CHEQ4 tiene una extensa base de datos con un gran número de modelos de captadores homologados que existen en el mercado.

- **Campo de captadores**

Para que el campo de captadores quede correctamente definido, hay que especificar lo siguiente:

- Número de captadores (n): número de unidades de captador que se instalarán.
- Número de captadores en serie (n): número de captadores en serie que se dispondrán en la instalación.
- Pérdidas por sombras (%): porcentaje de pérdidas anulares por sombras.
- Orientación (°): orientación del campo de captación respecto al eje norte-sur.
- Inclinación (°): inclinación del campo de captadores según la horizontal.
- Área total de captación (m²): superficie total de captación solar de la instalación.

- **Circuito primario/secundario**

El circuito solar, que se divide en primario y secundario, viene caracterizado por los siguientes parámetros:

- Caudal del circuito primario o caudal de campo (l/h).
- Longitud equivalente del circuito primario (m).
- Espesor (mm) y tipo de aislante utilizado.

- **Sistema de apoyo**

La aplicación permite seleccionar entre varios sistemas de apoyo distintos con diferentes combustibles.

- **Otros parámetros del sistema**

Además, deben especificarse los siguientes parámetros que dependen de la configuración:

- Volumen de acumulación
- Volumen de acumulación de las subestaciones
- Distribución

- **Resultados**

Se finaliza llegando al cálculo y visualización de los resultados. El usuario puede conocer rápidamente si el sistema especificado cumple o no los requerimientos de contribución solar mínima exigida. Estos resultados vienen expresados según una tabla y una gráfica, como se muestra en la *Figura 1.10* y *Figura 1.11*:

Fracción Solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. auxiliar (kWh)	Reducción CO2 (kg)
72	175.063	175.524	125.623	53.393	27.117

Figura 1.10: Tabla de resultados del CHEQ4

Como se puede observar, la tabla de resultados permite ver al usuario rápidamente los resultados en cuanto a fracción solar, demanda, aportación, consumo auxiliar y la cantidad de CO2 que se evita producir al emplear la instalación solar.

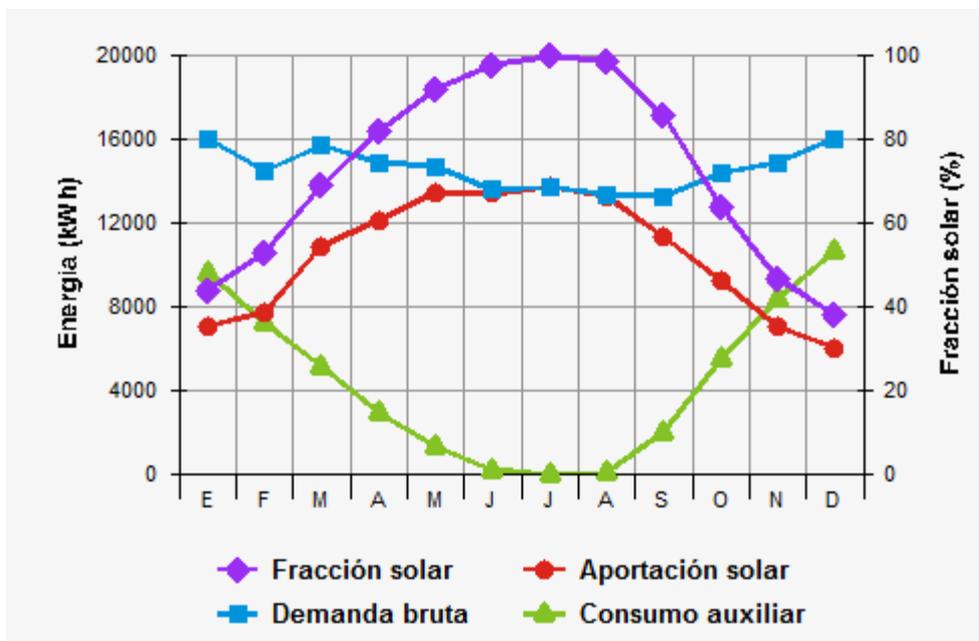


Figura 1.11: Gráfica de resultados del CHEQ4

- Certificado HE4

Si se cumplen los requerimientos mínimos de contribución solar mínima fijada por el HE4, la aplicación permite generar un informe de resultados o “Certificado” en el que se recogen los datos del proyecto y los resultados obtenidos.

1.4 Descripción del edificio

El edificio se encuentra en el Polígono Industrial Palmones III, Carretera La Térmica, Los Barrios, en Cádiz, con latitud 36° 11' 12,536" N y longitud -5° 25' 55,414" O. En la Figura 1.12 se aprecia donde se encuentra el edificio en cuestión.

El edificio consiste en un hotel de tres estrellas con planta baja y 5 plantas tipo, disponiendo de una capacidad para 226 personas entre 119 habitaciones, de las cuales 107 son dobles, y 12 individuales.

El hotel está compuesto, en la planta baja, por un hall central, donde encontramos la recepción con un núcleo de comunicaciones verticales provista de tres ascensores y unas escaleras cerradas; hall a los servicios comunes comprendiendo comedor, salas de reuniones, así como los espacios destinados al vestuario del personal, cuartos de instalaciones, administración, cocina, local de mercancías, basuras, almacén, lavabo, y aseos con anteaseos independientes para ambos sexos (disponiendo ambos de aseo para discapacitados). Además de zonas comunes y privadas en esta planta se sitúan 4 habitaciones (2 dobles y 2 individuales).



Figura 1.12: Localización de la vivienda



Figura 1.13: Vista del hotel desde el aparcamiento delantero

En las cinco alturas que restan del edificio se encuentra el área principal de habitaciones de huéspedes, escaleras de servicio, principal y de evacuación y oficina; disponiendo cada planta tipo de 23 habitaciones (21 dobles y 2 individuales).

En el sótano, el cual tiene una superficie de 203,08m², se encuentra la sala de máquinas, de donde sale la red de distribución de agua a todo el hotel. Cabe mencionar que la producción de ACS tiene lugar en un roof-top, el cual dispone de dos calderas y está situado en la cubierta. Desde esta caldera

se alimenta un intercambiador conectado con el circuito secundario de ACS encargado de mantener el depósito de acumulación y el agua de servicio a la temperatura de consigna. Dicho roof-top albergará la caldera y sus equipos relacionados (bombas, colectores, vasos de expansión y demás equipos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento del sistema).

En la planta sótano se situarán los equipos y depósitos relacionados con el resto de la instalación de A.C.S. (depósito de acumulación de A.C.S. bombas, vaso de expansión, etc.).

Las calderas deben hacer frente a la demanda de A.C.S. que, para el número de habitaciones previsto (107 dobles y 12 individuales), y un depósito de acumulación de 3.000 l., resulta ser de 175 kW.

Por ello, la instalación dispone de dos calderas de propano de 116 kW de potencia cada una.

Las calderas son del modelo DUPLEX EVO 120.

1.5 Descripción de la instalación

En una instalación solar térmica de baja temperatura se pueden diferenciar los siguientes componentes principales:

- Sistema de captación: formado por uno o más captadores solares orientados a los rayos solares. Este sistema es el encargado de transformar la radiación solar incidente en energía térmica.
- Sistema de acumulación: la energía térmica obtenida se transfiere a un fluido (generalmente agua) que circula por su interior, y se almacena para su posterior uso.
- Sistema de intercambio: realiza la transferencia de calor entre los fluidos que circulan por circuitos diferentes. Puede situarse fuera o dentro del acumulador.
- Sistema de circulación: se trata de la red de tuberías con su correspondiente aislamiento térmico, los elementos de impulsión y demás accesorios como válvulas o vasos de expansión.
- Sistema auxiliar de apoyo: para poder cubrir la demanda de agua caliente cuando la radiación solar sea insuficiente.
- Sistema de control y regulación: asegura el correcto funcionamiento de la instalación termosolar.

En la *Figura 1.14* se puede ver el esquema de principio, en el que se muestran los principales equipos de la instalación. Dichos equipos son:

- Sistema de captación solar (campo solar)
- Interacumulador solar
- Caldera convencional
- Grupo hidráulico de bombeo
- Válvulas
- Vasos de expansión
- Aislamiento
- Sistema de control

Además, existen otros equipos también importantes, pero de menor tamaño que forman parte de la instrumentación de la instalación. Estos equipos se pueden ver en la leyenda del esquema de principio y son, principalmente, diferentes tipos de válvulas, manómetro, termómetro, vaso de expansión, purgador de aire, las distintas tuberías que conforman la red y unen cada equipo principal y, por último, las líneas de control que hacen que la instalación funcione como se desea dándole las ordenes pertinentes a la bomba.

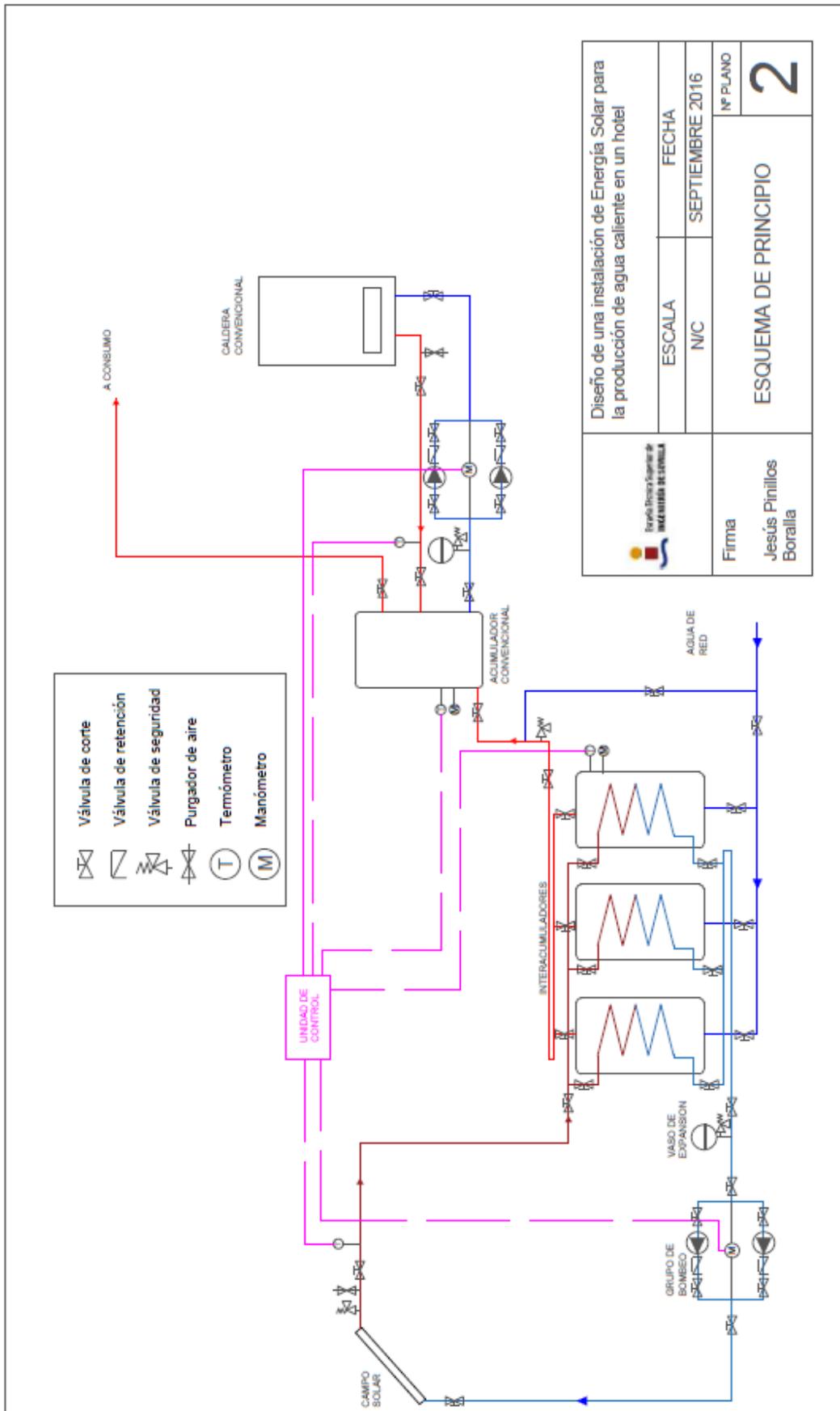


Figura 1.14: Esquema de principio

1.5.1 Elementos principales de la instalación

a) Sistema de captación

Un captador solar plano es un intercambiador de calor que transforma la energía radiante procedente del sol en energía térmica que se transfiere a un fluido, el cual circula por el interior, haciendo que aumente la temperatura del mismo. En el captador se combinan los fenómenos de efecto invernadero y el efecto del cuerpo negro para que se absorba la mayor energía posible de la que llega a la superficie expulsando la menor posible.

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

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

Los captadores solares están constituidos principalmente por una caja cerrada herméticamente, con una cubierta de cristal por la parte frontal que lo aisle del exterior, el cual puede ser simple o doble, con el fin de reducir las pérdidas al exterior.

En el interior del captador se encuentra la superficie absorbente por la que pasa el fluido caloportador, que se puede configurar en forma de intercambiador de placas, de parrilla o de serpiente. Suele fabricarse con materiales de alta conductividad térmica, como cobre o aluminio.

Los captadores no están intrínsecamente equilibrados, por lo que la instalación debe diseñarse con retorno invertido para que el circuito quede más equilibrado y la pérdida de carga unitaria en cada tramo sea lo más similar posible a la de los demás.

b) Acumulador solar

En una instalación solar térmica, la acumulación de energía es imprescindible debido a que la producción y la demanda están desfasadas.

La función del depósito de acumulación es contrarrestar este inconveniente en la medida de lo posible, por lo tanto, el objetivo de este depósito es almacenar la energía solar captada para poder suministrarla cuando se desee.

La capacidad del mismo suele estar entre 50l/m² de campo solar y 100 l/m². A menor relación, es el coste del equipo es menor, pero trabaja con temperaturas mayores para la misma superficie de captación, lo cual perjudica al rendimiento del captador, aunque es mejor para el consumo.

Normalmente se emplean depósitos cilíndricos verticales, para favorecer la estratificación térmica en su interior como consecuencia de la disminución de densidad del agua caliente, lo que hace que esta se encuentre en la parte superior del acumulador y, el agua fría, en la parte inferior. Esto hace que se pueda extraer más fácilmente el agua más fría de la parte baja del depósito para llevarla al circuito de captación y devolverla al depósito por la parte superior, donde el agua está más caliente.

c) Intercambiador de calor

Consiste en un dispositivo para transferir el calor captado de la radiación solar al agua que se va a llevar a la distribución para el consumo. Si el fluido del circuito primario es una mezcla de agua y anticongelante, es imprescindible instalar el intercambiador, en lugar de expulsar el fluido caliente directamente al acumulador. Esto hace que se diferencien dos tipos de intercambiadores: los de

contacto directo, en los que los fluidos se mezclan completamente; y los de contacto indirecto, en los que ambos fluidos están separados por una superficie de alta conductividad térmica.

Este intercambiador puede ir en el exterior del acumulador (lo que implicaría una bomba adicional en la instalación), o en el interior del mismo, denominándose de este modo *Interacumulador* a estos dos equipos combinados. En ellos, la superficie de intercambio suele consistir en un determinado número de serpentines que circulan por el interior del depósito.

d) Caldera convencional

La caldera convencional supone un elemento de apoyo para la instalación solar cuando la radiación solar es insuficiente para cubrir la demanda normal, o el consumo es superior a lo previsto, lo que lo convierte en un equipo auxiliar imprescindible en cualquier instalación solar. Se recomienda que esté vinculado a un sistema de control y regulación que asegure que el equipo auxiliar entra en funcionamiento lo menos posible.

El presente proyecto cuenta con la caldera roof-top que se comentó anteriormente como equipo auxiliar.

e) Grupo de bombeo

En las instalaciones en las que se trabaja con circulación forzada, como es en este caso, se debe disponer de bombas accionadas por motor eléctrico. Son las encargadas de la correcta circulación del fluido por el campo solar y el acumulador.

Las bombas empleadas en circuitos solares suelen disponer de varias velocidades de funcionamiento, lo que vendrá indicado por el fabricante en las curvas características de las mismas.

f) Válvulas

Son necesarias para el correcto funcionamiento de la instalación, junto con el vaso de expansión. Según la función de la válvula se diferencian varios tipos, que se comentarán a continuación. La elección de la válvula se efectúa de modo que la elegida sea la más apropiada para su situación en el circuito. Los tipos que se encuentran en una instalación son:

- Válvulas de tipo esféricas: sirven para funciones de aislamiento, para el vaciado y llenado de tuberías, y para la purga de aire.
- Válvulas de asiento: su función es el equilibrado de circuitos.
- Válvulas de resorte: su objetivo es garantizar la seguridad.
- Válvulas de disco de doble compuerta: su función es la retención.
- Válvulas antirretorno: tiene como función garantizar que el fluido solo circule en una dirección.

g) Vasos de expansión

En una instalación como esta, el fluido de trabajo está sometido a variaciones extremas de temperatura, que haciendo que varíe su densidad y, por tanto, el volumen que ocupa en las tuberías. El aumentar la temperatura, aumenta el volumen que ocupa el fluido, lo que implica un aumento de la presión en el interior de las tuberías que puede dar lugar a fugas o roturas de la red o los equipos de la instalación. Este fenómeno lleva a la obligación de tener que instalar un vaso de expansión que se encargue de aliviar estas presiones fruto de las altas temperaturas, haciendo que el volumen de fluido que no quepa en la red se acumule en el vaso de expansión, de modo que no

hay riesgo de fugas ni roturas al no haber un aumento de la presión.

h) Aislamiento

Su función es reducir las pérdidas de calor al exterior, por este motivo, toda la red de tuberías y todos los equipos de la instalación deben estar correctamente aislados. Además, si se encuentra en el exterior, deberá estar equipado con un recubrimiento que garantice su durabilidad frente a las condiciones climatológicas y agentes agresivos que pueda haber.

i) Sistema de control

En los sistemas solares de circulación forzada por la acción de bombas es necesario implantar un sistema de control y regulación que se encargue de la velocidad de bombeo en el circuito primario según las necesidades del sistema. La principal variable que marca el funcionamiento de la bomba es la diferencia de temperatura existente entre el fluido caloportador a la salida del campo solar y el mismo fluido a la salida del interacumulador. Esto se controla mediante la instalación de sondas de temperatura en los puntos antes mencionados, que enviarán los datos recogidos a la unidad central de control, la cual actuará según su programa.

1.6 Características de los equipos

a) Captadores solares

Los captadores solares planos que se van a emplear en la instalación son el modelo TopSon F3-1 de la marca Wolf, con las siguientes características:

- Superficie bruta: 2,3 m²
- Dimensiones totales: 2099x1099x110 mm
- Cubierta: vidrio de 3,2 mm de espesor con mayor coeficiente de transmisión, a prueba de granizo según la EN1295
- Carcasa: en aluminio, forma de bañera autoportante. Resistente en ambientes marinos.
- Absorbedor: absorbedor de superficie total, de cobre soldado por ultrasonido.
- Peso en vacío: 40 kg
- Presión máxima de trabajo: 10 bar
- Rendimiento óptico: 80,4%
- Coeficiente de pérdidas k1: 3,235
- Coeficiente de pérdidas k2: 0,0117
- Sistema de fijación: los elementos para la fijación de los captadores vienen con éstos para su montaje

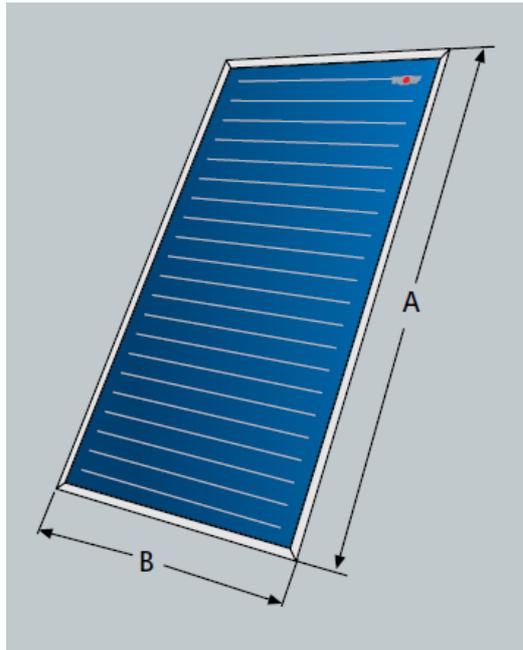


Figura 1.15: Captador solar TopSon F3.1

b) Interacumulador

Para el interacumulador se ha decidido usar 3 depósitos de 5000 l. cada uno, conectados en serie con una capacidad total de 15000 l. El que se usará será el modelo MXV5000 SSB, de la marca Lapesa.

- Capacidad de ACS: 5000 l.
- Temperatura máx. depósito de ACS: 90 °C
- Presión máx. depósito de ACS: 8 bar
- Temperatura máxima circuito de calentamiento: 120 °C
- Presión máxima circuito de calentamiento: 25 bar
- Numero de serpentines: 6 unidades
- Capacidad de serpentines: 56 l.
- Superficie de intercambio: 10,0 m²
- Peso en vacío aprox.: 745 kg
- Dimensiones:
 - o Entrada de agua fría (kw): 3 "GAS/M
 - o Desagüe (e): 1 "GAS/M
 - o Salida agua caliente (ww): 3 "GAS/M
 - o Recirculación (z): 2 "GAS/M
 - o Avance caldera (kv): 2 "GAS/M
 - o Retorno caldera (kr): 2 "GAS/M
 - o Conexión resistencia de apoyo (Ra): 2 "GAS/H
 - o Conexión sensores laterales (tm): 1/2 "GAS/H

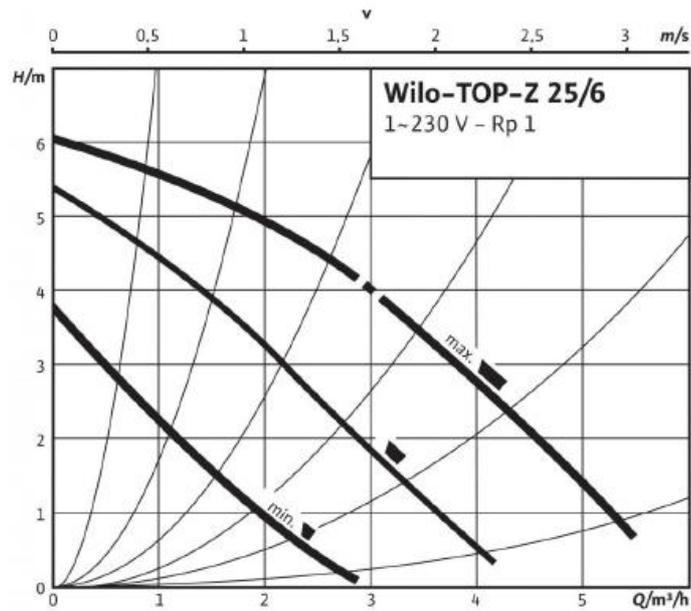


Figura 1.17: Curva altura/caudal de diseño de la bomba del primario

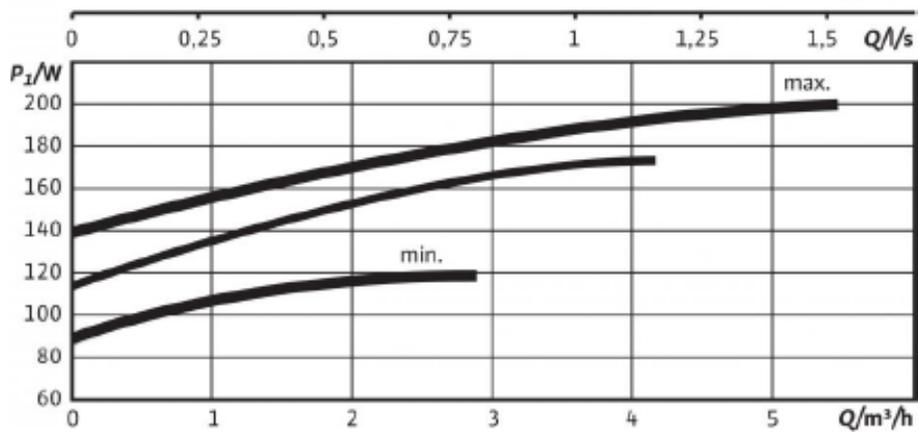


Figura 1.18: Curva de potencia de la bomba del primario

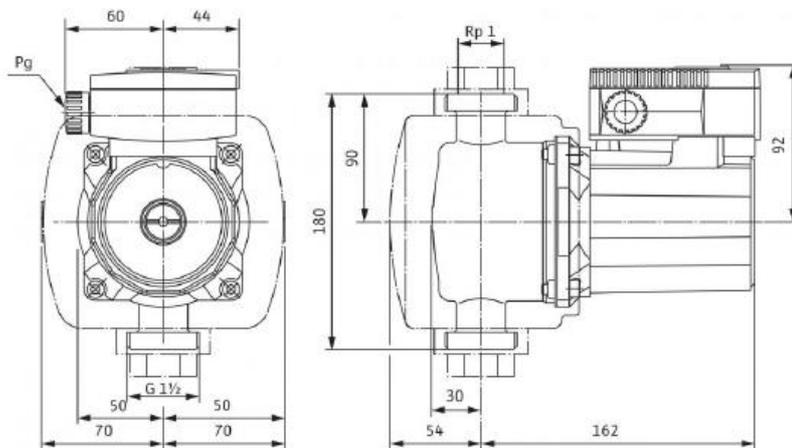


Figura 1.19: Dimensiones de la bomba del primario

d) Vaso de expansión

El vaso de expansión de la instalación será de la marca Wolf, modelo 18L. sus características son:

- Capacidad: 18 l.
- Presión máxima de trabajo: 2,5 bar
- Temperatura máxima de funcionamiento: 90 °C

1.7 Normativa

La normativa aplicable durante el diseño y desarrollo de la instalación se comentará a continuación.

- Código Técnico de la Edificación (CTE) -HE4

- Contribución solar mínima

La localidad de Los Barrios se sitúa en la zona climática IV, por lo cual se establece una contribución solar mínima del 70%, cumpliéndose esta norma con el número y distribución de captadores que se ha diseñado.

- Contribución solar máxima

La instalación estará limitada por el cumplimiento de las condiciones de que en ningún mes del año se produzca una energía superior al 110% de la demanda, y que no se supere el 100% durante tres meses seguidos. Estas condiciones se cumplen en este diseño.

- Potencia mínima de intercambio

La relación entre la superficie de intercambio y la superficie total de captación debe ser, al menos, igual a 0,15. Esta restricción se cumple, ya que, en esta instalación, dicha relación vale 0,18

- Superficie total de captación

El área total de captadores debe ser tal que se cumpla la relación siguiente: $50 < V/A < 180$. Donde V es el volumen del acumulador, y A el área total de captación. En este caso se cumple, al tener un valor de 89,7

- Pérdidas máximas

El CTE impone un máximo para las pérdidas por orientación, inclinación y sombras. Como la herramienta empleada ha sido el CHEQ4, que intrínsecamente controla este límite, se cumplen las condiciones de pérdidas máximas.

- Norma UNE

- UNE 94002

La demanda energética de ACS se obtiene según esta norma, tomándose como datos iniciales para los cálculos el consumo unitario de ACS y la temperatura del agua fría de la red de distribución, en este caso, para la provincia de Cádiz.

- UNE 94003

Con esta normativa se tienen los datos climáticos para dimensionar la instalación. Nos da los valores de la irradiación global horizontal y temperatura ambiente en la provincia donde se encuentre la instalación.

- UNE 100155

Esta normativa hace referencia al dimensionado del vaso de expansión, y consiste en un método de cálculo.

- **Reglamento de instalaciones térmicas en la edificación (RITE)**

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

Impone las condiciones de funcionamiento para prevenir la legionelosis en la producción de ACS, ya que en las instalaciones con acumulación y recirculación es donde mayor riesgo hay. Este riesgo se evita mediante lo siguiente:

En la preparación de ACS se cumplirá con la legislación higiénico-sanitaria para prevención y control la legionelosis.

Del mismo modo, los componentes de la instalación térmica también deberán cumplir con dicha legislación, de tal modo que los equipos deben estar diseñados para resistir el choque térmico y la acción corrosiva del agua.

Además, no está permitido preparar ACS como resultado de mezclar directamente agua fría con condensado o vapor procedente de la caldera.

- Aislamiento térmico (IT 1.2.4.2.1)

Todas las tuberías, accesorios y equipos que componen la instalación deberán estar correctamente aislados térmicamente. Así se evitarán consumos energéticos superfluos y la temperatura a la que el fluido caloportador llegará a las unidades terminales será más próxima a la de salida de producción.

Los espesores de aislamiento vienen calculados en el presente informe en el apartado 2.10, cumpliendo las restricciones que impone el RITE.

Para evitar la congelación del agua en la red de exteriores cuando la temperatura sea menor a la de fusión de la misma, se utiliza una mezcla formada por agua y un 20% de glicol en peso.

- Medición (IT 1.3.4.4.5)

La instalación cuenta con instrumentación de medida para poder supervisar todas las magnitudes que intervienen en el funcionamiento de ésta: presión y temperatura. Estos instrumentos son fundamentalmente termómetros, termostatos y manómetros. Deben estar situados en lugares visibles y de fácil acceso para su lectura y mantenimiento.

El equipo mínimo es el siguiente:

- Un manómetro en el vaso de expansión situado en el circuito primario.
- Un manómetro en la aspiración y otro en la descarga de las bombas, para una lectura diferencial de la presión.
- Termómetros y manómetros a la entrada y salida del interacumulador.

- Sistema de distribución de agua (IT 2.3.3)

Los distintos ramales del circuito primario están conectados de forma que quede equilibrado hidráulicamente y con retorno invertido.

Las tuberías deben ser de fácil acceso para su inspección y mantenimiento, sobre todo los tramos con accesorios.

- Control automático (IT 2.3.4)

Hace referencia al equipamiento mínimo de control del que deben disponer la instalación. También dice que cuando la instalación disponga de un sistema de control, mando y gestión o telegestión basado en la tecnología de la información, su mantenimiento y la actualización de las versiones de los programas deberá ser realizado por personal cualificado o por el mismo suministrador de los programas.

Bibliografía

1. Apuntes de la asignatura “Energía solar” del grupo de termotecnia, Departamento de Ingeniería Energética, de la Escuela Superior de Ingeniería de Sevilla.
2. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). “*Reglamento de instalaciones térmicas en edificios*”. 2013
3. Código Técnico de la Edificación, sección HE4 (CTE-HE4). “*Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*”. 2013
4. Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE)
5. AENOR. “*Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas*”. (UNE 94003:2007)
6. AENOR. “*Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica*”. (UNE 94002:2005)
7. AENOR. “*Diseño y cálculo de sistemas de expansión*”. (UNE 100-155:2004)
8. “*Instalación de energía solar para producción de ACS en un hospital*” (2015). Autor Claudia Merino Sáez, Universidad de Sevilla.

Referencias web:

9. <http://www.aenor.es>
10. <http://www.idae.es>
11. <http://www.wilo.es>
12. <http://www.wolfiberica.es>
13. <http://www.lapesa.com>

2.MEMORIA DE CÁLCULO

2.1 Introducción

A lo largo de la presente memoria se desarrollarán los cálculos llevados a cabo para el diseño de una instalación solar térmica para la producción de ACS en un hotel de localidad de Palmones (Los Barrios) con las pertinentes justificaciones de las decisiones que se han tomado.

2.2 Datos de partida

2.2.1 Parámetros geográficos

El edificio en cuestión está situado en el Parque Empresarial y Tecnológico “Las Marismas del Palmones” del municipio de Los Barrios (Cádiz), a una altura de 21,90m, y con latitud 36° 11' 12,536" N y longitud -5° 25' 55,414" O.

2.2.2 Parámetros climáticos

Según la norma que corresponde, el hotel está situado en la zona climática IV, según el mapa nacional de las zonas climáticas según la norma UNE 94003:2007 mostrado en la *Figura 2.1*.

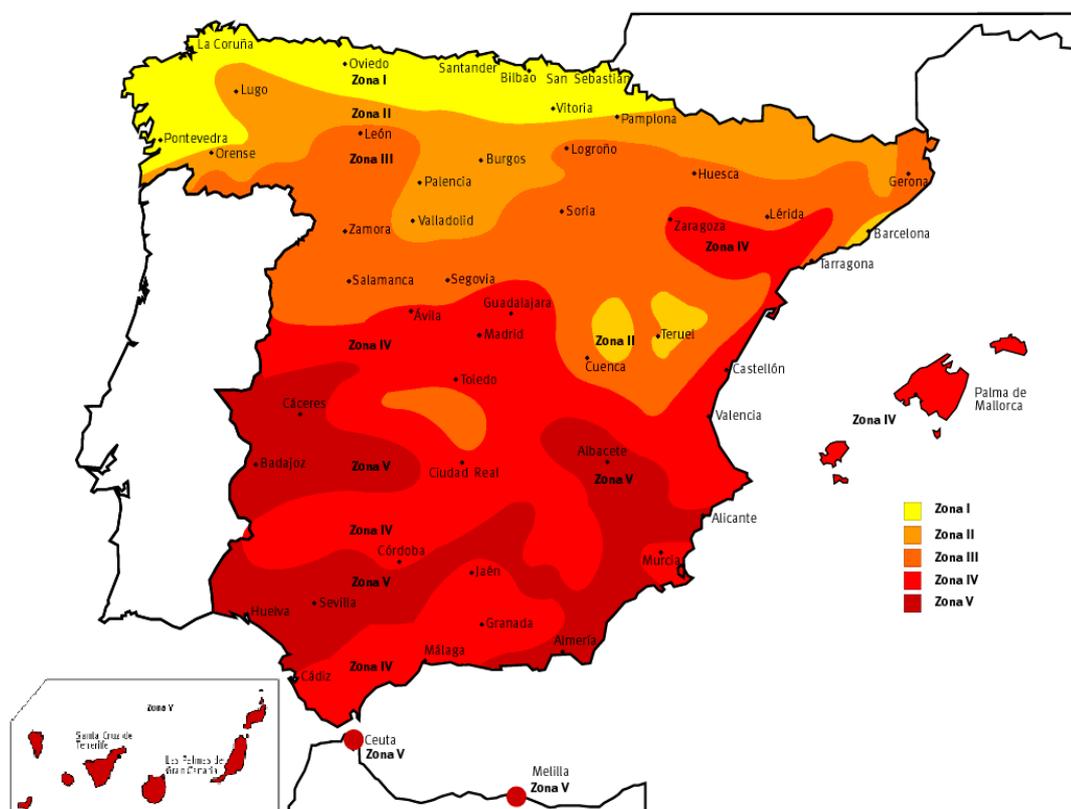


Figura 2.1: Zonas climáticas según la norma UNE 94003:2007

Siguiendo la misma norma también se obtienen los datos de la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal y de temperatura ambiente para la provincia de Cádiz, según la tabla *Tabla 2.1*.

Mes	Rad (MJ/ (m ² dia))	T. Red (°C)	T. Amb (°C)
Enero	10,0	11,9	12,6
Febrero	13,4	11,9	13,3
Marzo	18,1	12,9	14,5
Abril	22,9	13,9	16,0
Mayo	26,2	15,9	18,5
Junio	28,4	17,9	21,3
Julio	28,7	18,9	23,8
Agosto	25,6	19,9	24,3
Septiembre	20,9	18,9	23,3
Octubre	14,9	16,9	19,9
Noviembre	10,7	13,9	15,9
Diciembre	8,6	11,9	13,1
Promedio	19,0	15,4	18,0

Tabla 2.1: Radiación global sobre superficie horizontal, temperatura de red y temperatura ambiente según la norma UNE: 94003:2007

Como para este proyecto se tiene una superficie de los captadores distinta de la horizontal, es necesario llevar a cabo una serie de cálculos para obtener la radiación global media sobre superficie inclinada.

A partir de la ecuación de Cooper calculamos la declinación, que se define por:

$$\delta = 23,45 * \sin\left(\frac{360}{365} * (n + 284)\right)$$

Donde n es el día del año.

Sabiendo que la latitud de la zona es 36°11'12,536" (36,18682°) y que el ángulo horario viene dado por la siguiente expresión:

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \Phi * \tan \delta)$$

Donde Φ es la latitud del lugar.

Mes	Día del mes	Día del año	Declinación (°)
Enero	16	17	-20,92
Febrero	14	45	-13,62
Marzo	16	75	-2,42
Abril	15	105	9,42
Mayo	16	136	19,03
Junio	15	166	23,31
Julio	16	197	21,35
Agosto	16	228	13,46
Septiembre	15	258	2,22
Octubre	16	289	-9,97
Noviembre	15	319	-19,15
Diciembre	16	350	-23,37

Tabla 2.2: Declinación mensual

Mediante esta ecuación conseguimos el ángulo solar medio mensual, mostrado en la *Tabla 2.3*

Lo siguiente que debemos hacer es calcular el índice de claridad media mensual, que se define según la expresión siguiente:

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

Donde:

- H_{g0} : irradiación global horizontal
- H_0 : irradiación extraterrestre horizontal para la latitud de nuestra ubicación.

Los resultados obtenidos del índice de claridad media mensual se muestran en la *Tabla 2.4*

Mes	Ángulo solar (°)
Enero	73,76
Febrero	79,79
Marzo	88,23
Abril	96,97
Mayo	104,62
Junio	108,38
Julio	106,62
Agosto	100,08
Septiembre	91,62
Octubre	82,61
Noviembre	75,29
Diciembre	71,57

Tabla 2.3: Ángulo solar medio mensual

Mes	Radiación extraterrestre horizontal (MJ/(m ² día))	Índice de claridad media mensual
Enero	17,4	0,575
Febrero	22,9	0,585
Marzo	29,3	0,618
Abril	35,7	0,641
Mayo	39,9	0,657
Junio	41,7	0,681
Julio	40,9	0,702
Agosto	37,6	0,681
Septiembre	32,0	0,653
Octubre	25,5	0,584
Noviembre	19,2	0,557
Diciembre	16,2	0,531

Tabla 2.4: Radiación extraterrestre e índice de claridad para latitud 36°

Para finalizar, necesitamos conocer el valor de R_D para cada mes, siendo R_D la relación entre la radiación directa sobre una superficie inclinada y sobre una superficie horizontal, ambas con orientación arbitraria, la cual viene determinada por la siguiente expresión:

$$R_D = \left\{ (\cos(\delta) \cos(\Phi) \cos(\beta) - \cos(\delta) \sin(\Phi) \sin(\beta) \cos(\gamma)) * |\sin(w_{ps}) - \sin(w_{ss})| \right. \\ \left. + (\sin(\delta) \sin(\Phi) \cos(\beta) + \sin(\delta) \cos(\Phi) \sin(\beta) \cos(\gamma)) (w_{ps} - w_{ss}) \right. \\ \left. - \cos(\delta) \sin(\beta) \sin(\gamma) |\cos(w_{ps}) - \cos(w_{ss})| \right\} \\ * [2(\cos(\Phi) \cos(\delta) \sin(w_s) + w_s \sin(\Phi) \sin(\delta))]^{-1}$$

Donde:

- β : inclinación del captador sobre la horizontal, el cual se ha tomado como 10° menos que la latitud, es decir, 26° .
- w_{ss} : ángulo horario de salida del Sol en una superficie inclinada.
- w_{ps} : ángulo horario de puesta del Sol en una superficie inclinada.
- γ : ángulo de azimut, es decir, la orientación del captador ($\gamma = -37,4^\circ$).

Cabe mencionar que el los angulos de salida y puesta del Sol se calculan se la siguiente forma para superficies orientadas al Este ($\gamma < 0$), como es este caso:

$$w_{ss} = -\text{mín} \left[w_s, \cos^{-1} \left(\frac{-xy - \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right]$$

$$w_{ps} = \text{mín} \left[w_s, \cos^{-1} \left(\frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right]$$

Donde x e y vienen dadas por:

$$x = \frac{\cos(\Phi)}{\sin(\gamma) \tan(\beta)} + \frac{\sin(\Phi)}{\tan(\gamma)}$$

$$y = \tan(\delta) \left(\frac{\cos(\Phi)}{\sin(\gamma) \tan(\beta)} - \frac{\cos(\Phi)}{\tan(\gamma)} \right)$$

Los valores obtenidos de R_D se recogen en la *Tabla 2.5*.

Concluimos calculando la radiación global que incide sobre la superficie inclinada mediante:

$$I_T = R_D * I_D + \frac{1 + \cos(\beta)}{2} * I_d$$

Donde:

- I_D : irradiación solar directa sobre superficie inclinada
- I_d : irradiación solar difusa sobre superficie inclinada

Mes	R_D	w_{ss}	w_{ps}
Enero	0,2713	-73,76	63,93
Febrero	0,4539	-79,79	67,65
Marzo	0,6442	-88,23	72,93
Abril	0,7876	-96,96	78,40
Mayo	0,8828	-104,61	83,14
Junio	0,9220	-108,37	85,44
Julio	0,9042	-106,61	84,37
Agosto	0,8292	-100,08	80,34
Septiembre	0,7052	-91,62	75,06
Octubre	0,5247	-82,61	69,41
Noviembre	0,3220	-75,28	64,87
Diciembre	0,1918	-71,57	62,60

Tabla 2.5: Relación entre la radiación directa en una superficie horizontal y una inclinada, y ángulo solar sobre superficie inclinada.

Por lo tanto, debemos calcular antes la radiación solar directa sobre superficie horizontal y la radiación solar difusa sobre superficie horizontal, a partir de las siguientes expresiones que relacionan la radiación solar difusa (H_d) con la radiación global (H_{g0}):

$$\text{Para } w_s \leq 81,4^\circ \text{ (Invierno) } \frac{H_d}{H_{g0}} = 1,391 - 3,56K_T + 4,189K_T^2 - 2,137K_T^3$$

$$\text{Para } w_s \geq 81,4^\circ \text{ (Resto del año) } \frac{H_d}{H_{g0}} = 1,311 - 3,022K_T + 3,427K_T^2 - 1,821K_T^3$$

Y la radiación solar directa sobre superficie horizontal se determina por la diferencia entre la radiación global media y la radiación solar difusa, obtenida de las ecuaciones anteriores.

En la *Tabla 2.6* se muestran los valores definitivos de radiación solar global y su descomposición en directa y difusa.

Mes	Radiación global sobre superficie inclinada (MJ/(m ² día))	Radiación directa sobre superficie inclinada (MJ/(m ² día))	Radiación difusa sobre superficie inclinada (MJ/(m ² día))
Enero	4,90	1,84	3,06
Febrero	8,16	4,17	3,99
Marzo	13,44	7,90	5,54
Abril	19,15	12,59	6,56
Mayo	23,63	16,45	7,18
Junio	26,39	19,19	7,20
Julio	26,27	19,49	6,77
Agosto	22,05	15,55	6,49
Septiembre	16,223	10,44	5,78
Octubre	10,04	5,06	4,98
Noviembre	5,71	2,28	3,43
Diciembre	4,01	1,06	2,95

Tabla 2.6: Radiaciones solares global, directa y difusa sobre superficie inclinada para cada mes

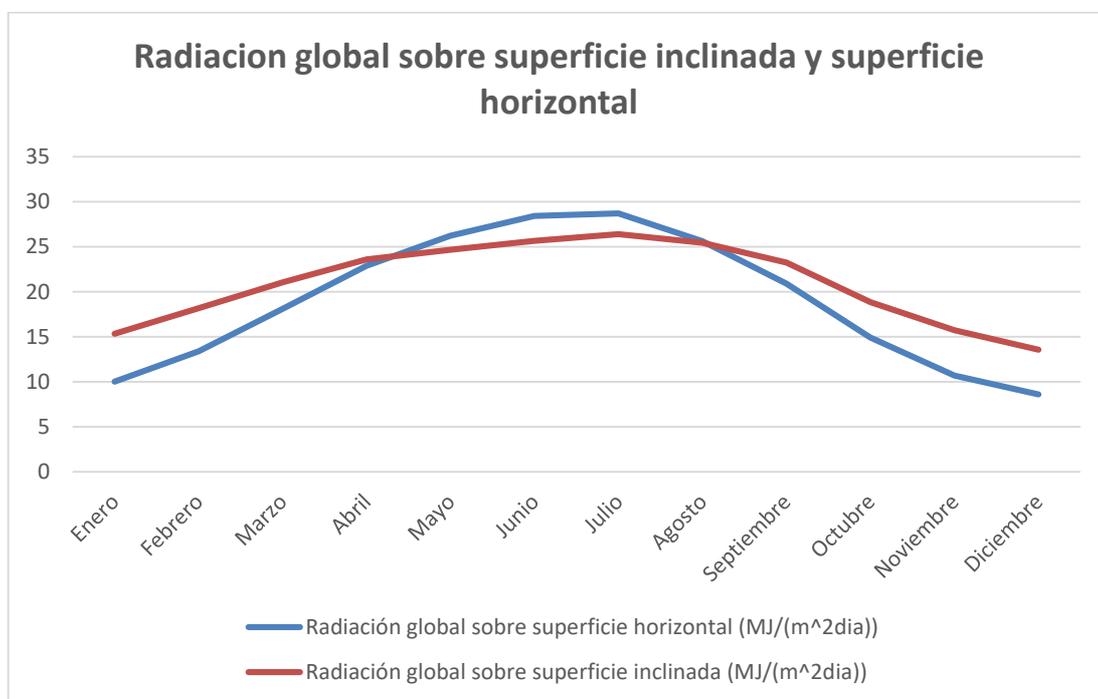


Figura 2.2: Radiación global sobre superficie horizontal y sobre superficie inclinada.

2.3 Cálculo de la demanda

2.3.1 Cálculo del consumo de agua

Es necesario recurrir al CTE, sección HE-4 para saber qué consumo de ACS necesitará este edificio. En él se toma para un hotel de tres estrellas un consumo de 41 litros/(día*persona), por lo tanto, el consumo diario medio, en referencia a una temperatura de 60°C, será:

$$Q_{ACS} = 41 \frac{l}{día * persona} * 226 personas = 9266 \frac{l}{día}$$

2.3.2 Demanda energética

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

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

Donde:

- L_{ACS} : demanda de energía (J/mes)
- Q_{ACS} : consumo unitario diario medio (l/día)
- ρ_{agua} : densidad del agua (1 kg/l)
- C_p : calor específico del agua (4190 J/(kg*K))
- T_{ac} : temperatura de referencia del agua caliente (según el CTE, 60°C)
- T_{af} : temperatura del agua de red. Este valor viene estimado en unas tablas según la norma UNE 94002:2005 para cada provincia y mes.
- Δt : número de días del mes correspondiente

En la *Tabla 2.7* se muestran los valores que tomaremos de T_{af} y la demanda energética que se ha obtenido para cada mes, y en la *Figura 2.3* se muestra la evolución a lo largo del año:

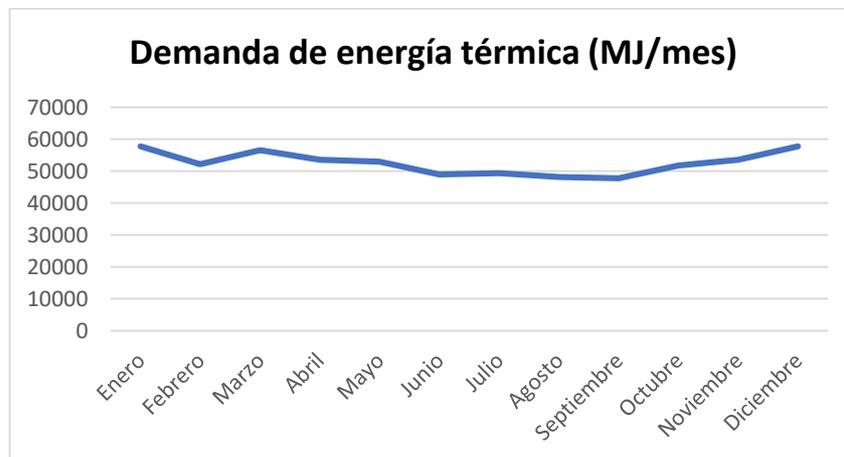


Figura 2.3: Evolución de la demanda energética a lo largo de un año

Mes	T_{af} (°C)	L_{ACS} (MJ/mes)
Enero	12	57770,91
Febrero	12	52180,18
Marzo	13	56567,35
Abril	14	53577,86
Mayo	16	52956,67
Junio	18	48918,92
Julio	19	49345,99
Agosto	20	48142,43
Septiembre	19	47754,18
Octubre	17	51753,11
Noviembre	14	53577,86
Diciembre	12	57770,91

Tabla 2.7: Temperatura de red media y demanda energética mensuales.

2.4 Cálculo de la superficie de captación

2.4.1 Determinación de la fracción de demanda cubierta anual

La fracción de la demanda cubierta anual, f , viene dada por la siguiente expresión:

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

Donde:

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

En el CTE-HE4 la fracción de demanda cubierta esta tabulada para cada localización. En la *Figura 2.1* se observa que el hotel está situado dentro de una zona climática IV, donde el CTE establece que para una demanda situada entre 5000 l/día y 10.000 l/día la fracción de demanda cubierta debe ser del 60%. Como la demanda del edificio es muy próxima a 10.000 l/día, se tomará el nivel de contribución solar mínima para 10.000 l/día o superior, es decir, un 70% de contribución solar mínima.

En este caso se ha hecho uso de la herramienta informática CHEQ4 para conocer la influencia del área de captación en la fracción de demanda cubierta anual de la instalación. Para ello se han introducido los siguientes parámetros, mostrados en *Tabla 2.8*, de modo que se cumplan los requisitos mínimos del CTE H4.

Localización	
Localidad	Palmones (Cádiz)
Altura de referencia (m)	0
Configuración	
Sistema seleccionado	Instalación de consumo único con interacumulador
Demanda	
Edificio	Hotel ***
Número de personas	226
Campo de captadores	
Captador seleccionado	TOPSON F3-1 (Wolf): Área (m^2)=1,99 $\eta=0,804$ $a_1 \left(\frac{W}{m^2K}\right)=3,235$ $a_2 \left(\frac{W}{m^2K}\right)=0,0117$ Qensayo (l/m^2h)=76 $k_{50}=0,94$
Orientación (°)	-37,4
Inclinación (°)	26
Pérdidas por sombras (%)	0
Porcentaje de anticongelante (%)	20
Longitud del circuito primario (m)	60
Diámetro de la tubería del primario (mm)	25
Espesor del aislante en el primario (mm)	30
Tipo de aislante en el primario	Poliestireno
Tipo de sistema de apoyo	Caldera convencional por gas natural
Otros parámetros	
Longitud del circuito de distribución (m)	400
Diámetro de la tubería de distribución (mm)	36
Espesor del aislante de distribución (mm)	30
Tipo de aislante distribución	Poliestireno
Temperatura de distribución (°C)	60

Tabla 2.8: Datos de partida para el CHEQ4

Posteriormente se ha hecho una tabla paramétrica (*Tabla 2.9*) para ver cómo responde la fracción de demanda cubierta frente al número de captadores solares instalados. Se ha tomado constante la relación volumen de almacenamiento entre superficie de captación ($V/A=75$) y con dos captadores en serie. El caudal en el primario con el que se ha trabajado ha sido de 2520 l/h.

Hay que cubrir un 70% de la demanda de ACS, lo que se conseguiría con un total de 80 captadores, lo que supone una superficie de captación de $159,2 m^2$, pero como disponemos de más superficie donde poder poner captadores, se escogerá, en principio, una superficie de $167,16m^2$, que corresponde a 84 captadores con los que se cubre un 71% de la demanda.

Aunque el valor de la demanda cubierta es superior al mínimo exigido, se escoge éste número de captadores sabiendo que a continuación hay que elegir la cantidad de captadores en serie.

En la *Figura 2.6* se exponen los resultados obtenidos para la superficie de captación elegida.

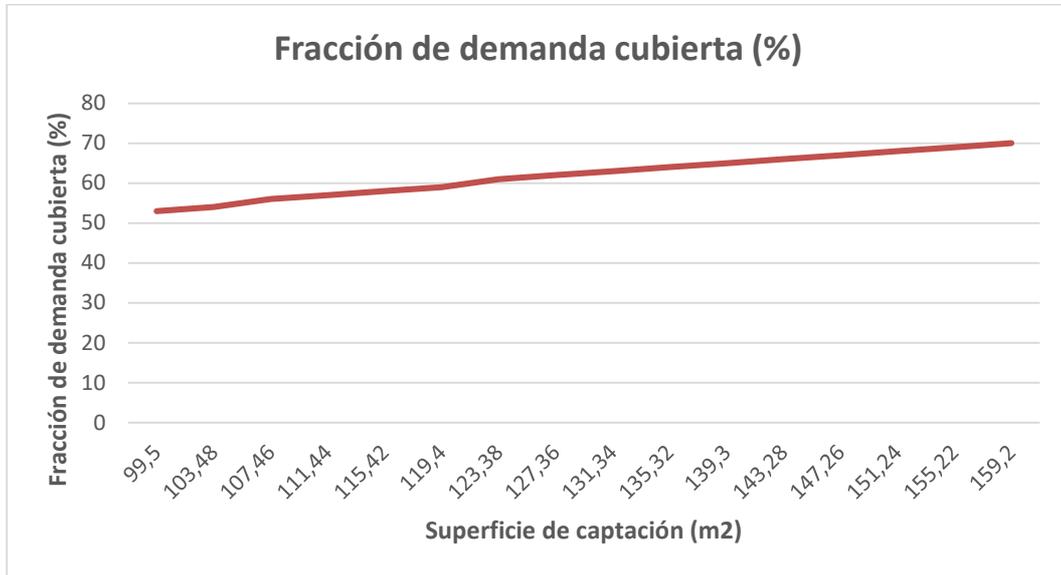


Figura 2.4: Fracción de demanda cubierta en función de la superficie de captación

Fracción Solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. auxiliar (kWh)	Reducción CO2 (kg)
71	175.063	175.134	124.217	54.481	26.813

Figura 2.5: Resultados del CHEQ4

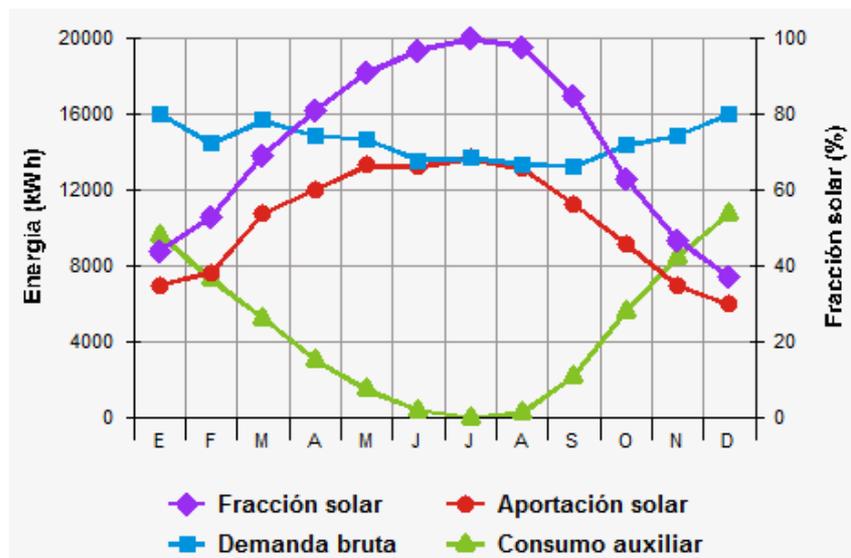


Figura 2.6: Gráficos obtenidos por el CHEQ4

Nº de captadores	Área de captación (m^2)	$V_{acum}(l)$	f (%)
50	99,50	7462	53
52	103,48	7761	54
54	107,46	8059	56
56	111,44	8358	57
58	115,42	8656	58
60	119,40	8955	59
62	123,38	9253	61
64	127,36	9552	62
66	131,34	9850	63
68	135,32	10149	64
70	139,30	10447	65
72	143,28	10746	66
74	147,26	11044	67
76	151,24	11343	68
78	155,22	11641	69
80	159,20	11940	70
82	163,18	12239	70
84	167,16	12537	71
86	171,14	12836	72

Tabla 2.9: Estudio paramétrico de la fracción de demanda cubierta frente a superficie de captación

2.4.2 Determinación del número de captadores en serie

Una vez obtenido el número de captadores con el que se va a diseñar la instalación, lo que se debe hacer a continuación es ver cómo va a ser la conexión entre ellos, ya que esta característica afecta al rendimiento de la instalación y, por tanto, a la fracción de demanda cubierta. Para analizar esta dependencia se va a hacer uso del CHEQ4.

En este caso, los valores que quedarán fijados son: la relación de volumen de acumulación/área de captación ($75l/m^2$), la inclinación (26°), número de captadores (84) y los datos de partida del CHEQ4 del apartado 2.4.1, para los que se variará el número de captadores en serie. Aquí se trabajará con el caudal de operación del captador, de valor 2520 l/h.

Número de captadores en serie para 84 captadores	Fracción de demanda cubierta (%)
1	72
2	71
3	70
4	69

Tabla 2.10: Variación de la fracción de demanda cubierta en función del número de captadores en serie

A la vista de la tabla, se aprecia que a medida que aumenta el número de captadores, disminuye la fracción de demanda cubierta. Por este motivo, se escogerá trabajar con 3 captadores en serie.

2.4.3 Disposición de captadores

El campo de captadores estará compuesto por 84 captadores distribuidos en baterías de 12 unidades. Los captadores estarán conectados entre ellos de modo que cada módulo de 12 estará compuesto por 4 hileras en paralelo de 3 captadores en serie.

La entrada del fluido frío a cada batería será por la parte inferior del primer captador, y la salida de agua caliente será por la parte superior del último captador de la tercera fila.

El IDAE impone que la distancia d , medida sobre la horizontal, entre filas de módulos o entre una fila y un obstáculo de altura h que pueda proyectar sombras, se recomienda que sea tal que se garanticen al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno, y viene dada por la expresión:

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

Teniendo una altura (h) de 2,76 metros (equivalente a la altura de los tres captadores en serie) obtenemos que debe haber una distancia sobre la horizontal de aproximadamente 5,90 metros entre las distintas baterías de captadores

Para reducir las pérdidas de carga y facilitar el equilibrado, se llevará a cabo el retorno invertido.

2.5 Cálculo del volumen de acumulación

En este apartado se calculará el volumen del acumulador. El CTE H4 obliga a tener una relación volumen de captación-superficie de captación (V/A) comprendida entre $50 < V/A < 180$. Para el cálculo del óptimo de este valor se va a proceder de la análogamente al apartado anterior: estudiando la variación de los parámetros en el CHEQ4 para distintos valores de la relación mencionada anteriormente.

Se aprecia que a medida que aumenta el volumen del acumulador, aumenta la fracción de demanda cubierta. Se escoge trabajar con un volumen de acumulación de 15000 litros, teniendo una fracción de demanda cubierta del 72%. Cabe mencionar que, al estar las calderas de agua caliente en la cubierta, el sistema de acumulación se debe situar también en la cubierta

para así evitar el consumo energético que supondría tener que bombear el agua desde el sótano para calentarla en caso de tener que usar el sistema de apoyo. Además, en la Planta Sótano no hay espacio suficiente para esta capacidad de acumulación. Esto supondrá una carga adicional importante para la estructura, por lo que habrá que reforzar el forjado adecuadamente para que no exista riesgo de que el peso rompa la estructura.

V (l)	V/A (l/m ²)	Demanda cubierta (%)
8359	50	66
10029	60	68
11701	70	69
13373	80	70
15044	90	72
16716	100	73
18388	110	74
20059	120	75
21731	130	76
23402	140	77
25074	150	78
26746	160	79
28417	170	80
30089	180	81

Tabla 2.11: Variación de la fracción de demanda cubierta en función del volumen del acumulador

Por lo tanto, las características del diseño final de la instalación serán las que aparecen en la Figura 2.7 y la Figura 2.8:

Fracción Solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. auxiliar (kWh)	Reducción CO2 (kg)
72	175.063	175.134	125.647	52.951	27.122

Figura 2.7: Resultados finales obtenidos por CHEQ4

Por tanto, a modo de resumen, el campo de captación será diseñado con las siguientes características: 84 captadores solares F3-1 de la marca Wolf, distribuidos en 7 baterías de 12 captadores cada una, de tal modo que haya cuatro líneas de tres captadores en serie cada una, en paralelo entre ellas. El volumen de acumulación será de 15000 litros, y el caudal se calculará a continuación.

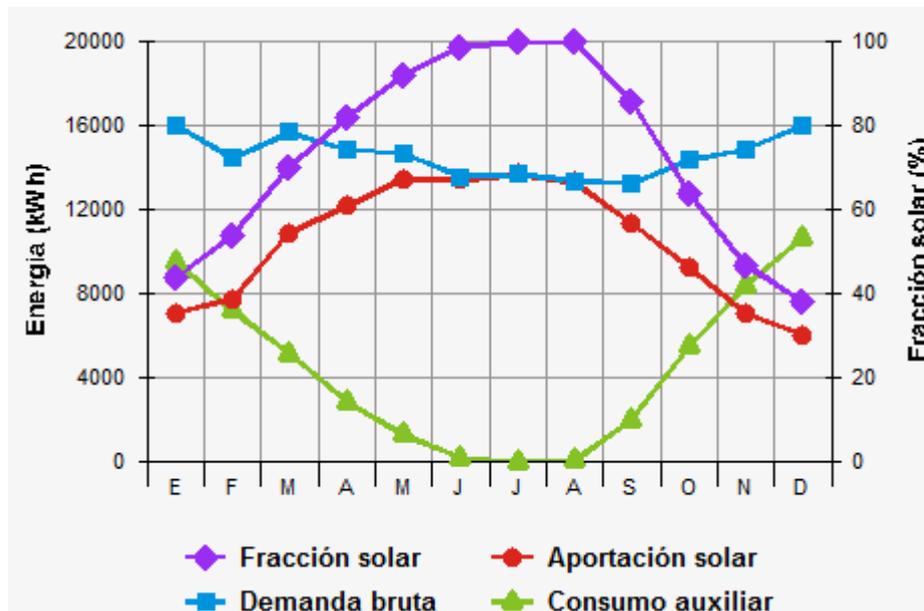


Figura 2.8: Gráficos finales obtenidos por CHEQ4

2.6 Cálculo de la red de tuberías

2.6.1 Caudal del circuito primario

Para calcular la cantidad de fluido que circula por el circuito de captadores se hará uso de la siguiente expresión:

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

Donde:

- M_B : Caudal en el circuito de captación (kg/s).
- G : Caudal específico en el captador solar ($0,0125 \text{ kg}/(\text{s} * \text{m}^2)$).
- G_{ensayo} : Caudal de ensayo en el captador solar ($0,021 \text{ kg}/(\text{s} * \text{m}^2)$)
- N_C : Número de captadores.
- N : Número de captadores en serie.
- A_T : Área total de captadores solares (m^2).
- A : Área de un captador solar ($1,99 \text{ m}^2$).

Por lo tanto, se obtiene un caudal de:

$$M_B = \frac{G * N_C * A}{N} = \frac{0,0125 * 84 * 1,99}{3} = 0,6965 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 2507,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

2.6.2 Pérdida de carga en captadores

Para poder calcular la pérdida de carga en los captadores, se hará uso del catálogo de captador de la marca Wolf, a partir del cual se podrá determinar la pérdida de carga sabiendo el caudal circulante.

Asimismo, en dicho catálogo se encuentra también una ecuación para calcular esta pérdida:

$$\Delta p = 0,223 * C + 0,0784 * C^2$$

A partir de la cual se obtiene una pérdida de presión de:

$$\Delta p = 0,223 * 90 + 0,00784 * 90^2 = 83,574 \text{ mbar} = 0,852 \text{ m. c. a.}$$

Este valor es la pérdida de presión para un único captador, como se está trabajando con hileras de tres captadores en serie, la pérdida de presión por hilera será:

$$\Delta p = 3 * 0,852 = 2,556 \text{ m. c. a.}$$

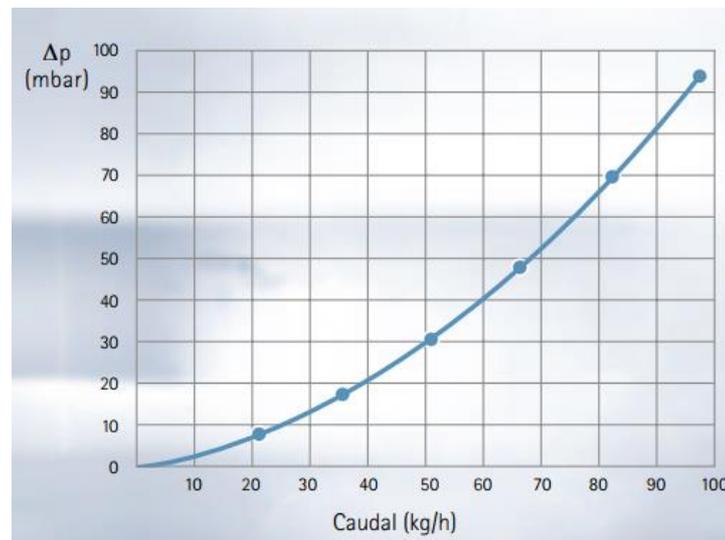


Figura 2.9: Pérdida de carga en captadores

2.6.3 Pérdidas de carga en el circuito primario

Para el cálculo de las pérdidas de carga en la instalación es necesario tener en cuenta las recomendaciones del IDEA siguientes:

- La velocidad de circulación del fluido debe ser inferior a 2m/s cuando están situadas en locales habitados, e inferior a 3 m/s cuando se trate de zonas exteriores. Para esta instalación, por tanto, al estar en la cubierta del edificio podremos trabajar con un máximo de 3m/s.
- El dimensionado de las tuberías debe realizarse de tal modo que las pérdidas de carga por metro lineal sean inferiores a 40 mm.c.a/m cuando se trate de agua, aplicándose un factor de corrección de 1,3 si se trata de una mezcla de agua y anticongelante, como es nuestro

caso. Por tanto, la máxima pérdida lineal posible es:

$$\Delta P_{lineal} \leq 1,3 * 40 = 52 \text{ mm. c. a./m} = 509,95 \text{ Pa/m}$$

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

Teniendo en cuenta esto, se divide el circuito primario en tramos para simplificar el cálculo según la *Figura 2.10*.

Se calcula la pérdida de carga para cada tramo, teniendo en cuenta los accesorios y baterías de captadores que hay en cada tramo, y se obtiene la siguiente tabla, donde se observa que se cumple que la pérdida de presión en los tramos de tubería es menor a 509 Pa/m. En la *Tabla 2.12* se muestran los resultados.

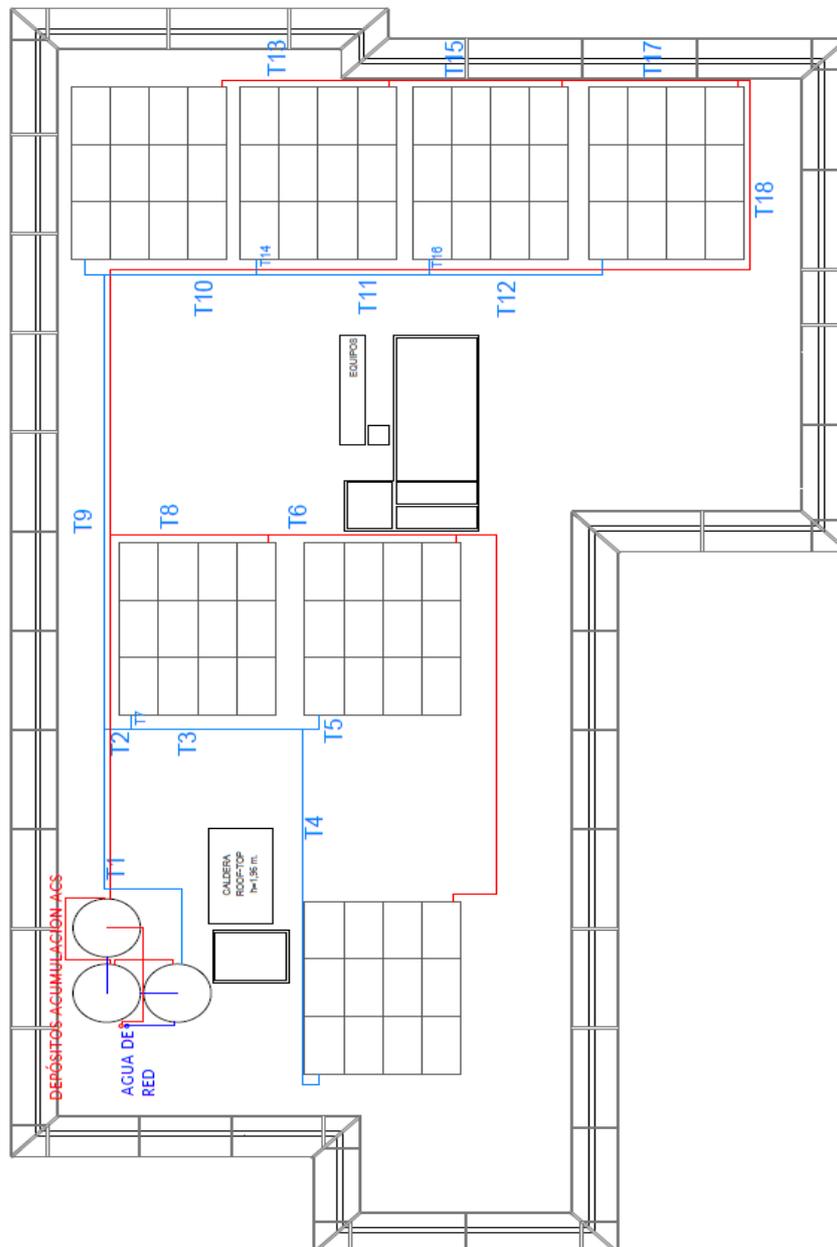


Figura 2.10: Distribución de captadores y red de tuberías

TRAMO	L(m)	V (l/h)	D_{int} (mm)	ΔP_{lineal} (Pa/m)	L_{eq}	$\Delta P_{Equipos}$ (mca)	$\Delta P_{tuberia}$ (mmca)	ΔP_{tot} (mca)
T1	24,342	2520	40	132,711	3,07	2,03 (Interacumulador)	370,69	2,578
T2	0,76	1080	33	60,3105	1,19		11,98	0,0119
T3	4,85	720	26	105,3246	0,24		54,62	0,0546
T4	26,89	360	20	97,6827	2,1	2,556 (Captadores)	288,56	2,844
T5	1,14	360	20	97,6827	0,46	2,556 (Captadores)	15,92	2,572
T6	5,33	720	26	92,6107	1,16		61,25	0,0612
T7	0,68	360	20	97,6827	0,66	2,556 (Captadores)	13,34	2,569
T8	4,43	1080	33	60,3105	1,5		36,44	0,0364
T9	14,86	1440	33	99,107	0,31		153,20	0,153
T10	4,32	1080	33	60,3105	1,19		33,86	0,0338
T11	4,86	720	26	92,6107	0,24		48,13	0,0481
T12	5,59	360	20	97,6827	0,46	2,556 (Captadores)	60,22	2,616
T13	5,94	360	20	97,6827	1,24	2,556 (Captadores)	71,47	2,627
T14	0,7	360	20	97,6827	0,66	2,556 (Captadores)	13,54	2,569
T15	4,9	720	26	92,6107	1,16		57,19	0,0572
T16	0,7	360	20	97,6827	0,66	2,556 (Captadores)	13,54	2,569
T17	4,95	1080	33	60,3105	1,5		39,64	0,0396
T18	32,92	1440	33	99,107	3,06		363,36	0,363

Tabla 2.12: Pérdidas de carga en circuito primario

En la *Tabla 2.14* se muestra un resumen de las características del circuito primario:

TRAMO	L(m)	V (l/h)	D_{int} (mm)	D_{ext} (mm)	v (m/s)	ΔP_{tot} (mca)
T1	24,342	2520	40	42	0,5571	2,578
T2	0,76	1080	33	35	0,3508	0,0120
T3	4,85	720	26	28	0,3767	0,0546
T4	26,89	360	20	22	0,3183	2,844
T5	1,14	360	20	22	0,3183	2,572
T6	5,33	720	26	28	0,3767	0,0612
T7	0,68	360	20	22	0,3183	2,569
T8	4,43	1080	33	35	0,3508	0,0364
T9	14,86	1440	33	35	0,4677	0,153
T10	4,32	1080	33	35	0,3508	0,0339
T11	4,86	720	26	28	0,3767	0,0481
T12	5,59	360	20	22	0,3183	2,616
T13	5,94	360	20	22	0,3183	2,627
T14	0,7	360	20	22	0,3183	2,569
T15	4,9	720	26	28	0,3767	0,0572
T16	0,7	360	20	22	0,3183	2,569
T17	4,95	1080	33	35	0,3508	0,0396
T18	32,92	1440	33	35	0,4677	0,363

Tabla 2.13: Características del circuito primario

2.7 Cálculo de los equipos de intercambio

Para el cálculo de la superficie de intercambio, el CTE obliga a que la relación entre el área de intercambio y el área de captación sea al menos de 0,15. Por lo tanto:

$$A_{inter} \geq 0,15 * 167,16 = 25,074 m^2$$

No se ha encontrado un intercambiador que cumpla la capacidad y superficie de intercambio requerida, por lo que se va a optar a trabajar con el que teníamos seleccionado en principio (LAPESA MXV5000 SSB), el cual tiene una superficie de intercambio de $10m^2$. Pero se hará teniendo 3 depósitos de 5000l. Habrá una superficie de intercambio de $30m^2$, siendo la relación de áreas igual a 0,18, superior a la que impone el CTE.

Para calcular la potencia térmica intercambiada se utilizará la gráfica dada por el fabricante:

Usando los datos del circuito primario (caudal en el primario (C_p) igual a $2,520m^3/h$) y considerando un salto de temperatura en el primario de $30^\circ C$, se obtiene una potencia de 140kW aproximadamente. Para una temperatura de entrada en el primario de $70^\circ C$ se tendría alrededor de 3500 litros ACS/hora.

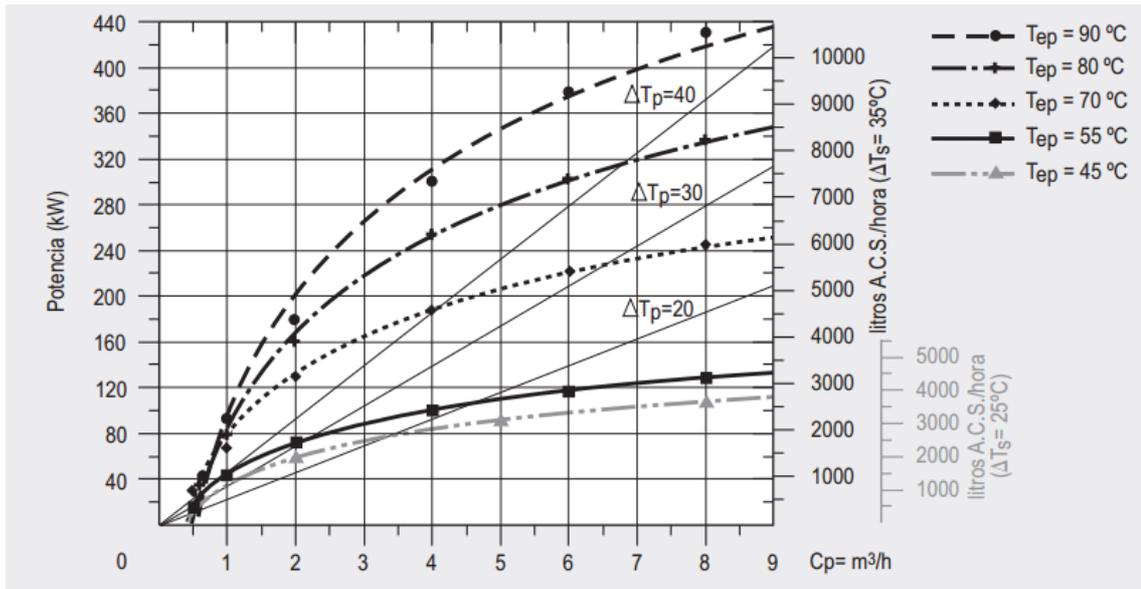


Figura 2.11: Cálculo de la potencia térmica intercambiada

2.8 Dimensionado de la bomba de circulación

A la hora de dimensionar las bombas de impulsión, el CTE sostiene que en instalaciones con superficie de captación superiores a $50m^2$ se deben montar dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva. Debido a esto, se deberán instalar dos bombas conectadas en paralelo en el circuito primario.

Para dimensionar la bomba de impulsión se debe conocer primero las pérdidas de carga asociadas a los captadores, al intercambiador y a las tuberías, para que sea posible determinar la altura manométrica que tiene que vencer el grupo de bombeo,

Por esto, se calcula la pérdida de carga del circuito más desfavorable como la suma de las pérdidas de carga totales de los tramos que lo componen, de donde se obtiene un resultado de 3,61 m.c.a. Por lo que la altura manométrica que la bomba tendrá que vencer será, aplicando un coeficiente de seguridad del 5%:

$$\Delta P_{bomba} = \Delta P_{circuito} + 5\% \text{ de seguridad} = 3,61 * 1,05 = 3,79 \text{ m. c. a.}$$

Dicho grupo de bombeo estará situado en la cubierta, y deberá mover un caudal de 2520 l/h, es decir $2,52 m^3/h$. El modelo seleccionado de bomba (Wilo-TOP-Z 25/6) mueve un caudal máximo de $6 m^3/h$ y alcanza una altura máxima de 6 metros, por lo que cumple el rango de funcionamiento del circuito primario.

2.9 Dimensionado del vaso de expansión

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

Primero se tiene que calcular el volumen total de fluido caloportador del circuito primario como la suma del volumen de fluido contenido en captadores, más el volumen del fluido en las tuberías y más un 10% de seguridad, resulta:

$$V_T = (V_{captadores} + V_{tuberías} + V_{serpentín}) * 1,10 = \\ = (1,7 * 84 + 195,46 + 3 * 56) * 1,10 = \mathbf{556,9 l}$$

Ahora se procede a calcular el coeficiente de expansión como:

$$C_e = (-1,75 + 0,064 * T + 0,0036 * T^2) * 10^{-3} = 0,015$$

Donde:

- T: temperatura del fluido a su paso por el vaso de expansión, que se estima en 60°C.

Como el fluido caloportador es una mezcla de agua de y de glicol, se debe corregir el coeficiente de expansión multiplicando por el factor de corrección que se muestra a continuación:

$$f_c = a * (1,8 * T + 32)^b$$

Sabiendo que:

$$a = -0,0134 * (G^2 - 143,8 * G + 1918,2) = 7,4745$$

$$b = 3,5 * 10^{-4} * (G^2 - 94,57 * G + 500) = -0,347$$

Con G=20, ya que el porcentaje de glicol es del 20%.

Se obtiene un resultado de $C_{e,corregido} = C_e * f_c = 0,015 * 1,345 = 0,0202$

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

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

Donde:

- P_M : presión máxima del vaso 4 kg/cm²
- P_m : presión mínima del vaso 1,5 kg/cm²

El coeficiente de presión resulta $C_p = 1,5$

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

$$V = V_T * C_{e,corregido} * C_p = 556,9 * 0,0202 * 1,5 = 16,8 l$$

El vaso seleccionado (WOLF 18L) e tiene una capacidad de 18 litros, que corresponde al volumen inmediatamente superior al calculado

2.10 Cálculo espesor de aislamiento

En el RITE se establece que, en instalaciones como la de este proyecto, todas las tuberías, equipos y depósitos deben disponer del aislamiento térmico correspondiente para evitar consumos de energía superfluos y que las pérdidas en los fluidos sean lo más bajas posibles.

Los espesores del aislamiento vienen fijados por el RITE, el cual impone que los componentes de

la instalación que tengan fluidos a una temperatura mayor a 40°C deberán disponer de aislamiento térmico.

Los componentes de la instalación que vienen de fábrica ya salen de la misma con el aislante necesario, por lo que no es necesario determinar el espesor del aislamiento en estos equipos

a) Aislamiento en tuberías

En las tuberías a la intemperie, el aislamiento deberá llevar una protección externa que asegure su durabilidad frente a las condiciones climatológicas.

Además, se establece el grosor mínimo del aislamiento de la tubería en función del diámetro de la misma y de la temperatura máxima del fluido que circule por ésta, según se muestra en las tablas contiguas.

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

Tabla 2.14: Espesores mínimos de aislamiento para tuberías interiores según el RITE

Como los diámetros de las tuberías, tanto interiores, como exteriores, no exceden los 35mm; y se supone que la temperatura del agua no superará los 100°C, pero sí los 60°C, de la tabla extraemos que las tuberías situadas a la intemperie deben llevar un aislamiento de 35mm, mientras que las que se encuentran en el interior tendrán un aislamiento de 25mm de espesor.

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

Tabla 2.15: Espesores mínimos de aislamiento para tuberías exteriores según el RITE

b) Aislamiento en el interacumulador

El interacumulador viene de fábrica con el aislamiento necesario, por lo que no será necesario calcularlo.

2.11 Selección de accesorios

Aquí se recogen los accesorios que han sido seleccionados para el circuito hidráulico de la instalación, según la normativa vigente que se ha expuesto anteriormente.

- Regulador térmico diferencial

El sistema de regulación y control se encarga por un lado de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima energía solar térmica posible, y por otro actúa como protección frente a la acción de múltiples factores como, riesgo de congelaciones. En cuanto al sistema de control el CTE establece:

1. El sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprenderá el control de funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas etc.
2. En circulación forzada, el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito de captadores, deberá ser siempre de tipo diferencial y, en caso de que exista depósito de acumulación solar, deberá actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de los captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2 °C.
3. Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito Introducción de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.
4. El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.
5. El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.
6. Alternativamente al control diferencial, se podrán usar sistemas de control accionados en función de la radiación solar.
7. Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías todo o nada, bombas de circulación, o por combinación de varios mecanismos.

El regulador térmico elegido será el modelo XTDC de la marca SOREL, XtraLarge Temperature Difference Controller para una regulación flexible de sistemas solares complejos.

ANEXOS

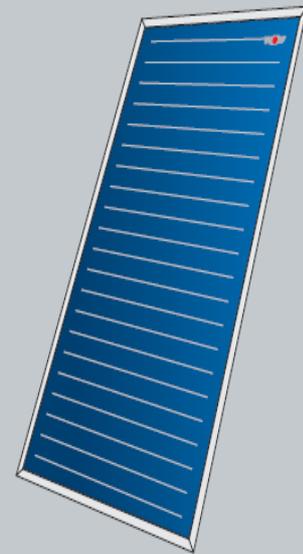
ANEXO I: CATÁLOGOS DE EQUIPOS

CAPTADOR SOLAR

Datos Técnicos*

Captador solar TopSon		F3-1
Largo x Ancho x Profundo	mm	2099 x 1099 x 110
Distancia entre conexiones	mm	1900
Conexiones (junta plana con racor de unión)	G	3/4"
Ángulo de inclinación		15° - 90°
Absorción de energía*	%	80,4
Coefficiente de transmisión de calor k1 *	W/(m² K)	3,235
Coefficiente de transmisión de calor k2 *	W/(m² K2)	0,0117
Máxima temperatura de estancamiento (en seco)	°C	194
Factor de corrección del ángulo de incidencia K50° *	%	94
Capacidad térmica efectiva C *	kJ/(m² K)	5,85
Presión de régimen admisible	bar	10
Superficie bruta del captador	m²	2,3
Superficie apertura	m²	2
Superficie absorción	m²	2
Capacidad	Ltr.	1,7
Peso (vacío)	kg	40
Caudal admisible	Ltr./h	30 -90
Fluido calorportante		ANRO (sin diluir)
Certificado Solar-Keymark		011-7S260F
Certificado Homologación		NPS-0113

** Valores según EN 12975. * Reservado el derecho de modificaciones técnicas

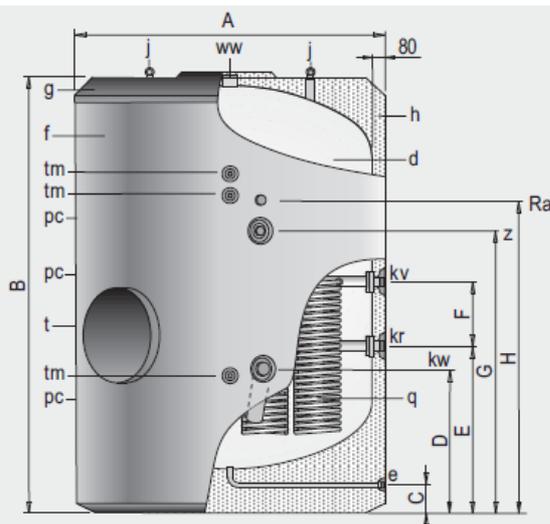


INTERACUMULADOR

Depósitos de acero inoxidable, de 1500 a 5000 litros

lapesa

Con serpentines



- d - Depósito acumulador A.C.S.
- f - Forro externo (opcional)
- g - Cubierta superior (opcional)
- h - Aislamiento térmico
- j - Cáncamos para transporte
- q - Serpentines desmontables
- t - Boca de hombre DN400

Descripción

Depósitos de gran capacidad para producción y acumulación de agua caliente sanitaria. Fabricados en acero inoxidable, decapado químicamente y pasivado después de ensamblar, con capacidades de 1500 a 5000 litros.

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

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

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

Como opción pueden incorporar equipo de protección catódica permanente específica para depósitos inoxidables "Lapesa Correx-up INOX", para casos de aguas especialmente agresivas o con contenidos en cloruros superiores a 150 mg/l (ver pag. 42).

Características técnicas /Conexiones /Dimensiones		MXV1500 SB/ SSB	MXV2000 SB/ SSB	MXV2500 SB/ SSB	MXV3000 SB/ SSB	MXV3500 SB/ SSB	MXV4000 SB/ SSB	MXV5000 SB/ SSB
Capacidad de A.C.S	l	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000
Temperatura máx.* depósito de A.C.S	°C	90	90	90	90	90	90	90
Presión máx. depósito de A.C.S. (*)	bar	8	8	8	8	8	8	8
Temperatura máx. circuito de calentamiento (**)	°C	120	120	120	120	120	120	120
Presión máx. circuito de calentamiento	bar	25	25	25	25	25	25	25
Número de serpentines -SB / -SSB	und	2 / 3	2 / 3	3 / 4	3 / 5	4 / 5	4 / 5	5 / 6
Capacidad de serpentines -SB / -SSB	l	17 / 25	19 / 29	28 / 35	29 / 48	38 / 48	38 / 48	48 / 56
Superficie de intercambio-SB / -SSB	m ²	2.8 / 4.2	3.4 / 5.0	4.8 / 6.1	5.0 / 8.4	6.7 / 8.4	6.7 / 8.4	8.4 / 10.0
Peso en vacío aprox. -SB / -SSB	Kg	305 / 315	345 / 365	485 / 500	535 / 565	575 / 590	650 / 665	720 / 745
Cota A: diámetro exterior	mm	1360	1360	1660	1660	1660	1910	1910
Cota B: longitud total	mm	1830	2280	2015	2305	2580	2310	2710
Cota C:	mm	175	175	175	175	175	175	175
Cota D:	mm	680	680	800	800	815	880	880
Cota E:	mm	760	920	910	1015	1015	1055	1055
Cota F:	mm	400	400	400	400	400	400	400
Cota G:	mm	1095	1470	1225	1410	1545	1400	1580
Cota H:	mm	1285	1660	1415	1600	1735	1590	1770
kw: entrada agua fría	*GAS/M	2	2	2	2	3	3	3
e: desagüe	*GAS/M	1	1	1	1	1	1	1
ww: salida agua caliente	*GAS/M	2	2	3	3	3	3	3
z: recirculación	*GAS/M	1-1/2	1-1/2	2	2	2	2	2
kv: avance caldera	*GAS/M	2	2	2	2	2	2	2
kr: retorno caldera	*GAS/M	2	2	2	2	2	2	2
Ra: conexión resistencia de apoyo	*GAS/H	2	2	2	2	2	2	2
tm: conexión sensores laterales	*GAS/H	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
pc: conexión protección catódica	*GAS/H	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
nº conexiones protección catódica	und.	2	3	3	4	4	4	5

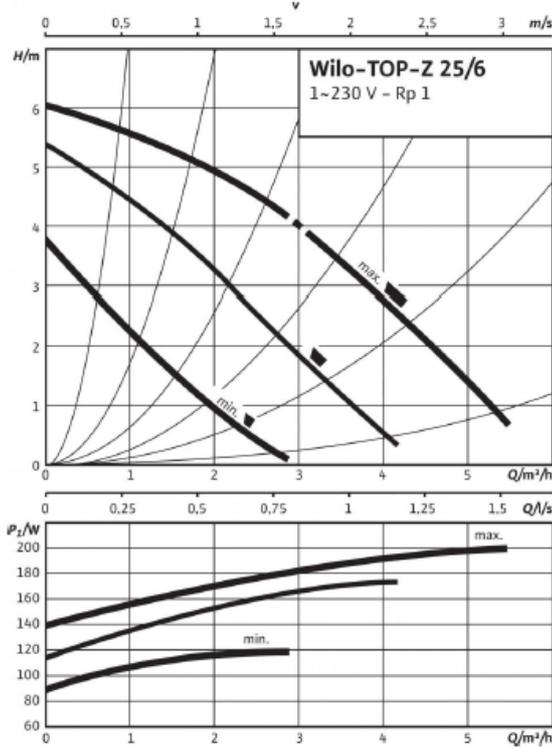
* en continuo

(*) Otras presiones, consultar. (**) Temperatura estándar. Otras temperaturas, consultar.

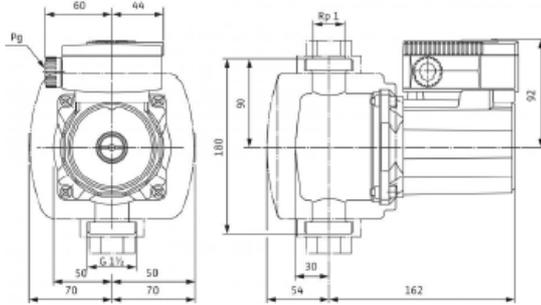
BOMBAS DEL CIRCUITO PRIMARIO

Ficha técnica: Wilo-TOP-Z 25/6 (1~230 V, PN 10, Inox)

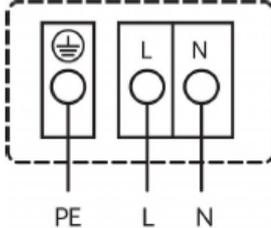
Curvas características Corriente monofásica



Plano de dimensiones



Esquema de bornes



Alimentación eléctrica 1~230 V, 50 Hz

Protección interna frente a temperaturas del bobinado excesivamente elevadas
 Disparador: Interrupción interna de la tensión de motor
 Reset: Automático tras enfriamiento del motor

Fluidos admisibles (se pueden solicitar otros)

Agua potable y agua para la industria alimentaria según el Reglamento relativo al agua potable de Alemania («TrinkwV 2001»)

Campo de aplicación autorizado

Rango de temperaturas para aplicación en sistemas de recirculación de ACS con una temperatura ambiente máx. de +40 °C

Rango de temperaturas para aplicación en sistemas de recirculación de ACS a una temperatura ambiente de +40 °C en servicio de corta operación 2 h [°C]

Dureza total máx. admisible en sistemas de recirculación de ACS

Presión de trabajo máxima admisible P_{max}

Ejecución especial para presión de trabajo, p_{max}

*

0...+65, por poco tiempo (2 h) hasta +80)

80 °C

3,21 mmol/l (18 °dH)

10 bar

- bar

Conexiones de tubería

Racor

Rosca

Longitud efectiva l_e

Rp 1

G 1½

180 mm

Motor/componentes electrónicos

Emisión de interferencias

Resistencia a interferencias

Tipo de protección

Clase de aislamiento

Alimentación eléctrica

EN 61000-6-3

EN 61000-6-2

IP X4D

H

1~230 V, 50 Hz

Potencia nominal del motor P_2

Velocidad n

Consumo de potencia 1~230 V P_1

Corriente con 1~230 V /

Corriente con 3~230 V /

Corriente con 3~400 V /

Condensador

Protección de motor

Prensaestopas PG

100 W

1260 / 1810 / 2390 rpm

120 / 175 / 200 W

0,65 / 0,90 / 1,00 A

- A

- A

5,0 µF / 400 VDB

integrada

1x13,5

Materiales

Carcasa de la bomba

Rodete

Eje de la bomba

Cojinete

Acero inoxidable

Plástico (PPE - 30% GF)

Cerámica

Carbono, impregnado con resina sintética

Altura de entrada mín. en la boca de aspiración para evitar la cavitación a la temperatura de impulsión del agua
 Altura de entrada mín. a 40 / 80 / 110 °C

5 / 8 / 20 m

Información de pedido

Marca

Tipo

Ref.

Peso aprox. m

Wilo

TOP-Z 25/6

2045521

3,4 kg

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

Marca	Wilo
Tipo	TOP-Z 25/6
Ref.	2045521
Número EAN	4016322652786
Color	Verde/plata
Cantidad mínima a pedir	1
Unidad de la cantidad mínima a pedir	PCE
Peso (neto) <i>kg</i>	3.4
Longitud (neta) <i>mm</i>	180
Anchura (neta) <i>mm</i>	140
Altura (neta) <i>mm</i>	216
Peso (bruto) <i>kg</i>	4.1
Longitud (bruta) <i>mm</i>	270
Anchura (bruta) <i>mm</i>	178
Altura (bruta) <i>mm</i>	215
Tipo de embalaje	Cartón
Propiedades del embalaje	Embalaje de transporte
Unidades por paleta	96
Número por capa	16

CENTRALITA DE CONTROL Y REGULACIÓN

Descripción del regulador

B.1. - Datos técnicos

Datos eléctricos:

Tensión	230VAC +/- 10%
Frecuencia	50...60Hz
Potencia	máx. ~3 VA
Potencia de conexiones	
Potencia total de reles electrónicos:	460VA para AC1 / 240W para AC3
relé electrónico R1	mín 5W...máx 120W para AC3
relé electrónico R2	mín 5W...máx 120W para AC3
Potencia total de reles mecánicos:	460VA para AC1 / 460W para AC3
relé mecánico R3	460VA para AC1 / 460W para AC3
relé mecánico R4	460VA para AC1 / 460W para AC3
relé mecánico R5	460VA para AC1 / 460W para AC3
relé mecánico R6	460VA para AC1 / 460W para AC3
relé libre de potencial R7	460VA para AC1 / 185W para AC3
Salida 0...10V	dimensionado para 10kΩ
Salida PWM	Frec. 1KHz, 10V
Fusible interno	2A, latente 250V (3x)
Tipo de protección	IP40
Clase de protección	II
Categoría de sobretensión	II
Grado de ensuciamiento	II
Entradas de sensores	8 x Pt1000 2 x Grundfos direct sensors 1 x RC21
Rango de medición	
PT1000	-40°C a 300°C
Grundfos direct sensor	0°C – 100°C (puntual -25°C/120°C)
VFS	1 l/min – 12 l/min (VFS 1-12) RPS 0-0,6 bar
	2 l/min – 40 l/min (VFS 2-40) 0-1 bar
	5 l/min – 100 l/min (VFS 5-100) 0-1,6 bar
	10 l/min – 200 l/min (VFS 10-200) 0-2,5 bar
	0-4 bar
	0-6 bar
	0-10 bar

ANEXO II: CERTIFICADO CHEQ4



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

Datos del proyecto	
Nombre del proyecto	TFG
Comunidad	
Localidad	
Dirección	
Datos del autor	
Nombre	Jesus Pinillos
Empresa o institución	US
Email	
Teléfono	
Características del sistema solar	
Localización de referencia	Barrios (Los) (Cádiz)
Altura respecto la referencia [m]	-3
Sistema seleccionado	Instalación de consumidor único con interacumulador
Demanda [l/día a 60°C]	9.266
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 [%]	72
Demanda neta [kWh]	175.063
Demanda bruta [kWh]	175.134
Aporte solar [kWh]	125.647
Consumo auxiliar [kWh]	52.951
Reducción de emisiones de [kg de CO2]	27.122



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

Cálculo del sistema de referencia

De acuerdo al apartado 2.2.1 de la sección HE4, la contribución solar mínima podrá sustituirse parcial o totalmente mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio.

Para poder realizar la sustitución se justificará documentalmente que las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía primaria no renovable, debidos a la instalación alternativa y todos sus sistemas auxiliares para cubrir completamente la demanda de ACS, o la demanda total de ACS y calefacción si se considera necesario, son iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica y el sistema de referencia (se considerará como sistema de referencia para ACS, y como sistema de referencia para calefacción, una caldera de gas con rendimiento medio estacional de 92%).

Demanda ACS total [kWh]	175.063
Demanda ACS de referencia [kWh]	49.416
Demanda calefacción CALENER [kWh]	0
Consumo energía primaria [kWh]	57.473
Emisiones de CO2 [kg CO2]	11.594

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	TOPSON F3-1 (Wolf)	<input type="checkbox"/>
Contraseña de certificación	NPS 1011 - Verificar vigencia	<input type="checkbox"/>
Número de captadores	84,0	<input type="checkbox"/>
Número de captadores en serie	3,0	<input type="checkbox"/>
Pérdidas por sombras (%)	0,0	<input type="checkbox"/>
Orientación [°]	-37,4	<input type="checkbox"/>
Inclinación [°]	26,0	<input type="checkbox"/>
Circuito primario/secundario		
Caudal circuito primario [l/h]	2.520,0	<input type="checkbox"/>
Porcentaje de anticongelante [%]	20,0	<input type="checkbox"/>
Longitud del circuito primario [m]	60,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	26,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	35,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	poliestireno	<input type="checkbox"/>
Sistema de apoyo		
Tipo de sistema	Caldera convencional	<input type="checkbox"/>
Tipo de combustible	Gas natural	<input type="checkbox"/>
Acumulación		
Volumen [l]	15.000,0	<input type="checkbox"/>
Distribución		
Longitud del circuito de distribución [m]	10,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	38,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	35,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	poliestireno	<input type="checkbox"/>
Temperatura de distribución [°C]	60,0	<input type="checkbox"/>

3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS

3.1 Objeto

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

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

3.2 Normativa aplicable

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

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

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

3.3 Condiciones de materiales y equipos

3.3.1 Tuberías y accesorios

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

necesaria en función de su ubicación.

En los circuitos de agua caliente sanitaria podrán utilizarse cobre y acero Inoxidable. Podrán utilizarse materiales plásticos que soporten las condiciones extremas (presión y temperatura) de funcionamiento del circuito, y que estén autorizadas por la normativa vigente.

Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y sus uniones serán realizadas por accesorios a presión que soporten las condiciones extremas o, mediante soldadura por capilaridad de acuerdo a la norma UNE EN 1057. Se realizará soldadura fuerte cuando la temperatura del circuito pueda superar en algún momento los 125°C. En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero según norma UNE 100050.

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

Accesorios:

a) Compensadores de dilatación

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

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

Los extremos del compensador serán de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chaflán de 37o 30' y un talón de 1,6 mm cuando el diámetro nominal de la tubería sea de hasta 2" inclusive. Para tuberías de diámetro superior, las conexiones serán por medio de bridas en acero al carbono s/normas DIN 2502 o 2503, según las presiones sean de 6 y 10 o 16 Kg/cm². Estas bridas irán soldadas a los cuellos del compensador por los procedimientos recomendados para la soldadura de piezas en acero al carbono de espesores medios.

b) Juntas

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

c) Lubricante de roscas

General: no endurecedor, no venenoso.

d) Acoplamientos dieléctricos o latiguillos

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

e) Derivaciones

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

f) Codos en bombas

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

g) Sombreretes

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

h) Guías

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

i) Termómetros

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

j) Manómetros

Los manómetros serán con válvula de aguja de aislamiento en acero inoxidable, e inmersos en glicerina. Los rangos de los manómetros serán tales que la aguja, durante el funcionamiento normal, este en el medio del día. La precisión será de al menos el 1%. Puntos de toma de presión: Se incluirán los puntos de toma con válvula necesarios y/o indicados en planos o especificaciones.

k) Válvulas de seguridad

Se incluirán todas las válvulas de seguridad indicadas, o necesarias (de tarado adecuado) para un funcionamiento completamente seguro y correcto de los sistemas. Durante el periodo de pruebas de la instalación se procederá al timbrado de las mismas. Las válvulas de seguridad de alivio serán de paso angular y carga por resorte. Serán adecuadas para condiciones de trabajo de 0 a 120 °C y hasta 25 kg/cm². Los materiales de fabricación serán bronce RG-5 para el cuerpo, vástago, tornillo de fijación, tuerca deflectora y la tobera, latón para el cabezal y obturador, acero cadmiado para el resorte Y PTFE para la junta.

l) Purgadores de aire

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

Las derivaciones se harán de tal modo que se eviten retenciones de aire y se permita el paso libre del mismo. Se incluirán purgadores de aire, manuales o automáticos, en todos los puntos altos, particularmente en los puntos más elevados de los montantes principales, así como en todos los puntos necesarios, teniéndose especial cuidado en los retornos (ascensos, codos ascendentes).

En el caso de que, una vez que las redes estén en funcionamiento, se den anomalías por presencia de aire en la instalación, se instalaran nuevos empalmes, purgadores, válvulas según se considere necesario y sin costes extra. Si se deben realizar trabajos que requieran rotura, y reposición de acabados, el contratista se hará cargo de los gastos generados. Se preferirán por norma general los purgadores manuales, salvo en puntos ocultos o de difícil acceso, que hagan recomendable la instalación de purgadores automáticos.

m) Vaciados

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

n) Conexiones a equipos

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

3.3.2 Válvulas

3.3.2.1 Generalidades

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

La elección de las válvulas se realizará, de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura).

Siguiendo los siguientes criterios:

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

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

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

3.3.2.2 Materiales

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

a) Válvulas de esfera

- Cuerpo de fundición de hierro o acero.
 - Esfera y eje de acero duro cromado o acero inoxidable.
 - Asientos, estopada y juntas de teflón.
 - Podrán ser de latón estampado para diámetros inferiores a 1 1/2 con esfera de latón duro cromado.
- b) Válvulas de seguridad de resorte**
- Cuerpo de hierro fundido o acero al carbono con escape conducido.
 - Obturador y vástago de acero inoxidable.
 - Prensa-estopas de latón.
 - Resorte en acero especial para muelle.
- c) Válvulas de retención de capeta**
- Cuerpo y tapa de bronce o latón. Asiento y capeta de bronce.
 - Conexiones rosca-hembra.
- d) Válvulas de retención de muelle**
- Cuerpo y tapa de bronce o latón.
 - Asiento y capeta de bronce. Conexiones rosca-hembra.
 - Resorte en acero especial para muelle.
- e) Purgadores automáticos de aire**
- Cuerpo y tapa de fundición de hierro o latón.
 - Mecanismo de acero inoxidable.
 - Flotador y asiento de acero inoxidable o de plástico.
 - Obturador de goma sintética.

3.3.3 Aislamiento

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

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

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

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

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

3.3.4 Vasos de expansión

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

- Fabricante
- Marca
- Modelo

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

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

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

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

3.3.5 Bombas

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

- Fabricante
- Marca
- Modelo
- Características eléctricas

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

- Cuerpo en fundición o bronce. Partidos, o no, según planos. Se incluirán conexiones para cebado, venteo, drenaje y manómetros en impulsión y descarga.
- Rodete de fundición/polysulfone o bronce.
- Eje en acero inoxidable AISI 316.
- Tubo de estanqueidad en acero inoxidable.
- Cojinetes a bolas de carbono, a prueba de polvo y humedad.
- Cierres Mecánicos: todas las bombas deberán de estar provistas con cierres mecánicos y separadores de sedimentos.
- Juntas torcas de EPDM.
- Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.
- Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto.
- Motor de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220V/1~ o 220/380V/ 3~, 50 Hz, IP.44 clase F.

- Presión de aspiración 2 maca. para 82°C.
- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, número de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

3.3.6 Captadores

3.3.6.1 Generalidades

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

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

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

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

La instalación de sistemas integrados en cubierta se debería realizar mediante procedimiento acreditado por el fabricante y de forma que se garanticen las características funcionales y de durabilidad del sistema. Los datos para la caracterización térmica, hidráulica y mecánica del captador solar deberían proceder de los resultados del ensayo realizado conforme a la norma UNE 12975. A estos efectos, es importante señalar que la función de rendimiento del captador siempre está relacionada con una superficie útil y un caudal de ensayo.

3.3.6.2 Modelo de captador

Todos los captadores que integren la instalación se recomienda que sean del mismo tipo y modelo. Si no fuera posible mantener el mismo modelo en la rehabilitación o ampliación, se dispondrá de un sistema de regulación de caudal por baterías que permita que las nuevas baterías presenten el

mismo caudal (diferencia máxima del 10%) que las existentes cuando circule por el circuito primario el caudal de diseño.

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

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

3.3.6.3 Estructura soporte y sujeción del captador

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

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

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

3.3.7 Sistema eléctrico y de control

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

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

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

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

3.3.8 Aparatos de medida

Los sistemas de medida de temperatura, caudales y energía proporcionan información del estado de funcionamiento de la instalación y permiten realizar la evaluación de las prestaciones energéticas de la instalación.

a) Medida de temperatura

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

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

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

b) Medida de caudal

Los contadores de caudal de agua estarán constituidos por un cuerpo resistente a la acción del agua conteniendo la cámara de medida, un elemento con movimiento proporcional al caudal de agua que fluye y un mecanismo de relojería para transmitir este movimiento a las esferas de lectura por medio de un acoplamiento magnético. La esfera de lectura, herméticamente sellada, será de alta resolución.

Cuando exista un sistema de regulación exterior, este estará precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas. Se suministrarán los siguientes datos, que deberán ser facilitados por el fabricante:

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

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

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

c) Medida de energía térmica.

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

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

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

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

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

3.3.9 Acumuladores

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3.10 Intercambiadores de calor

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

Para el caso de intercambiador incorporado al acumulador, la relación entre la superficie de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

Si en instalaciones a medida sólo se usa un intercambiador entre el circuito de captadores y el acumulador, la transferencia de calor del intercambiador de calor por unidad de área de captador no deberá ser menor que 40 W/m²·K.

El diseño del intercambiador permitirá su limpieza utilizando productos líquidos.

El factor de ensuciamiento del intercambiador de calor no será inferior al especificado, según el tipo de agua:

<u>Circuitos de consumo</u>	<u>m²·K/W</u>
Agua blanda y limpia	0,0006
Agua dura	0,0012
Agua muy dura y/o sucia	0,0018
Circuitos cerrados	0,0008

3.4 Provisión del material

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

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

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

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

3.5 Condiciones de montaje

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

3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción

3.6.1 General

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

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

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

3.6.2 Pruebas parciales

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

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

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

3.6.2.1 Pruebas de equipos

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

3.6.2.2 Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas

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

3.6.2.3 Pruebas de libre dilatación

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

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

3.6.3 Pruebas finales

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

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

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

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

3.6.4 Ajuste y equilibrado

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

3.6.4.1 Sistemas de distribución de agua

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

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

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

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

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

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

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

3.6.4.2 Control automático

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

3.6.5 Recepción

3.6.5.1 Recepción provisional

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

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

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

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

3.6.5.2 Recepción definitiva

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

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

3.7 Mantenimiento

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

- Vigilancia.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

3.7.1 Vigilancia

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

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

Puede ser llevado a cabo por el usuario.

3.7.2 Mantenimiento preventivo

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

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

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

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

3.7.3 Mantenimiento correctivo

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

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

4.MEDICIONES Y PRESUPUESTO

4.1 Sistema de captación

Nº ord	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/Ud (€)	Total (€)
1.1	<p>Ud. Captador Solar Wolf F3-1, o similar, con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Superficie útil: 1,99 m2 --Dimensiones: 2099 x 1099 x 110 mm -Peso del captador: 40 kg -Rendimiento óptico: - Coeficiente k1: 3,235 - Coeficiente k2: 0,0117 - Presión máxima de trabajo: 10 bar 	84	Ud.	690,00	57960,00
1.2	Sistema soporte 4 captadores verticales sobre cubierta plana	21	Ud.	675,00	14175,00
1.3	Bidón de Líquido anticongelante-antiincrustante-anticorrosivo "Solar Fluid-100" con 20% de glicol de 50 litros	12	Ud.	246,00	2706
Total sistema de captación					75087

Tabla 4.1: Presupuesto del sistema de captación

4.2 Sistema de interacumulación

Nº ord	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/Ud (€)	Total (€)
2.1	<p>Interacumulador de calor de 5000 litros marca Lapesa, modelo Master Inox MXV5000-SSB</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad: 5000 l - Altura: 2710 mm - Diámetro exterior: 1910 mm - Peso en vacío: 745 kg - Superficie de intercambio: 10,0 m2 	3	Ud.	20.344,00	61032,00
Total sistema de interacumulación					61032,00

Tabla 4.2: Presupuesto del sistema de interacumulación

4.3 Sistema hidráulico

Nº ord	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/Ud (€)	Total (€)
3.1	Bomba Wilo Top-Z 25/6 - Altura manométrica: 6,0 m - Caudal del circuito: - Consumo: 0,2 kW	2	Ud.	839	1678
3.2	Tubería de cobre 20/22 mm	41,64	Metros	7,32	304,80
3.3	Tubería de cobre 26/28 mm	19,94	Metros	9,08	181,06
3.4	Tubería de cobre 33/35 mm	62,24	Metros	12,9	802,9
3.5	Tubería de cobre 40/42 mm	54,34	Metros	17,26	937,91
3.6	Aislamiento de tubería de 22 mm de diámetro, 30 mm de espesor	41,64	Metros	6,95	289,39
3.7	Aislamiento de tubería de 28 mm de diámetro, 30 mm de espesor	19,94	Metros	8,2	163,51
3.8	Aislamiento de tubería de 35 mm de diámetro, 30 mm de espesor	62,24	Metros	9,28	577,59
3.9	Aislamiento de tubería de 42 mm de diámetro, 30 mm de espesor	54,34	Metros	10,23	555,9
3.10	Codo 90° de cobre 22 x 22 mm	9	Ud.	1,53	13,77
3.11	Codo 90° de cobre 35 x 35 mm	3	Ud.	9,18	27,54
3.12	Codo 90° de cobre 42 x 42 mm	4	Ud.	14,66	58,64
3.13	Unión en T 42-35-35 mm	1	Ud.	51,94	51,94
3.14	Unión en T 35-28-22 mm	4	Ud.	34,28	137,12
3.15	Unión en T 28-22-22 mm	4	Ud.	10,61	42,44
3.16	Unión en T 35 mm	1	Ud.	5,9	5,9
3.17	Unión en T 35-35-22 mm	2	Ud.	41,39	82,78
3.18	Vaso de expansión de 18 litros de la marca Wolf, o similar	1	Ud.	123	123
3.19	Válvula de seguridad 42 mm	3	Ud.	119,78	359,34
3.20	Válvula de retención 42 mm	2	Ud.	62,32	124,64
3.21	Válvula de corte 42 mm	19	Ud.	66,55	1264,45
3.22	Válvula de corte 22 mm	14	Ud.	32,08	449,12
3.23	Purgador de aire automático SOLARVENT o similar	7	Ud.	70,21	491,47
Total sistema hidráulico					8723,20

Tabla 4.3: Presupuesto del sistema hidráulico

4.4 Sistema de control y regulación

Nº ord	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio/Ud (€)	Total (€)
4.1	Termómetro con escala de 0 a 120°C	4	Ud.	12,30	49,20
4.2	Manómetro de Ø40 mm, escala entre 0 y 6 bar	4	Ud.	4,05	16,20
4.3	Centralita de control marca SOREL modelo XTDC	1	Ud.	416,89	416,89
Total sistema de control					482,29

Tabla 4.4: Presupuesto del sistema de control y regulación

4.5 Presupuesto instalación completa

PRESUPUESTO TOTAL

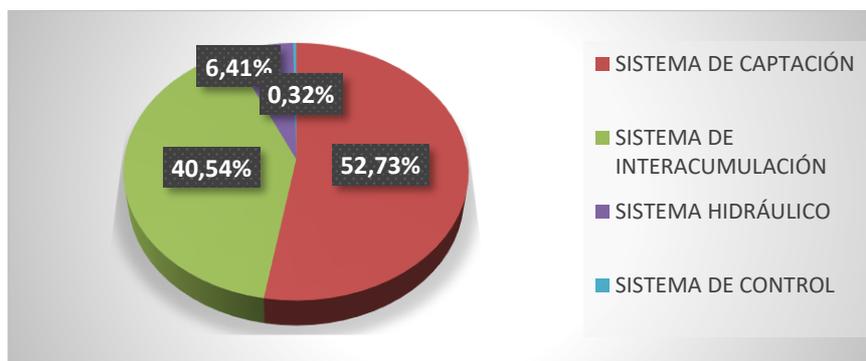
Sistema de captación	75087 €
Sistema de interacumulación	61032 €
Sistema hidráulico	8723,20 €
Sistema de control	482,29 €

PRESUPUESTO TOTAL SIN IVA 145324,49 €

IVA (21%) 30518,14 €

PRESUPUESTO TOTAL 175842,63 €

RATIO €/m² de captación 1051,94 €

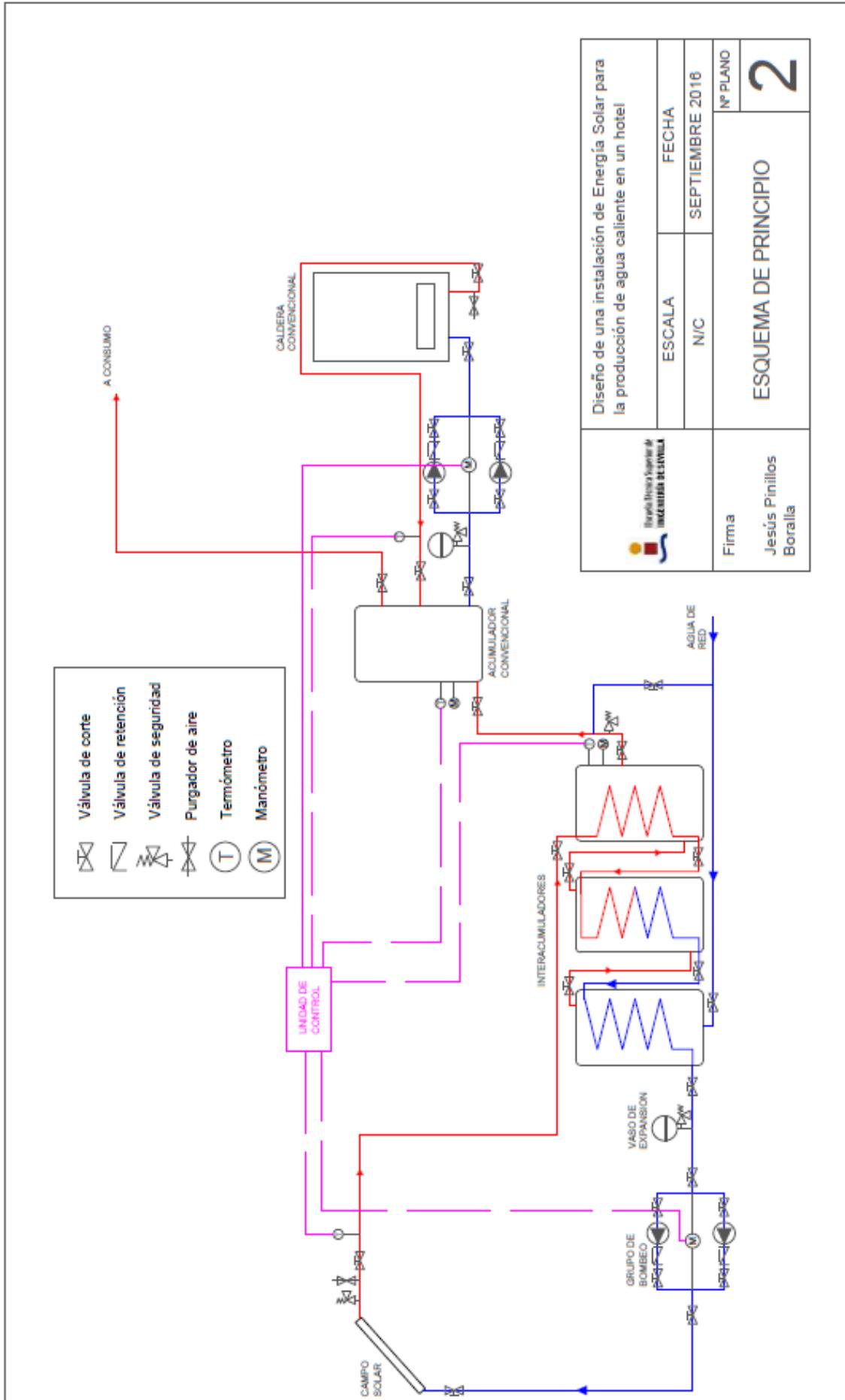


Por lo tanto, el presupuesto final de la instalación es de CIENTO OCHENTA Y UN MIL SETECIENTOS NOVENTA Y SEIS EUROS CON VEINTISEIS CÉNTIMOS.

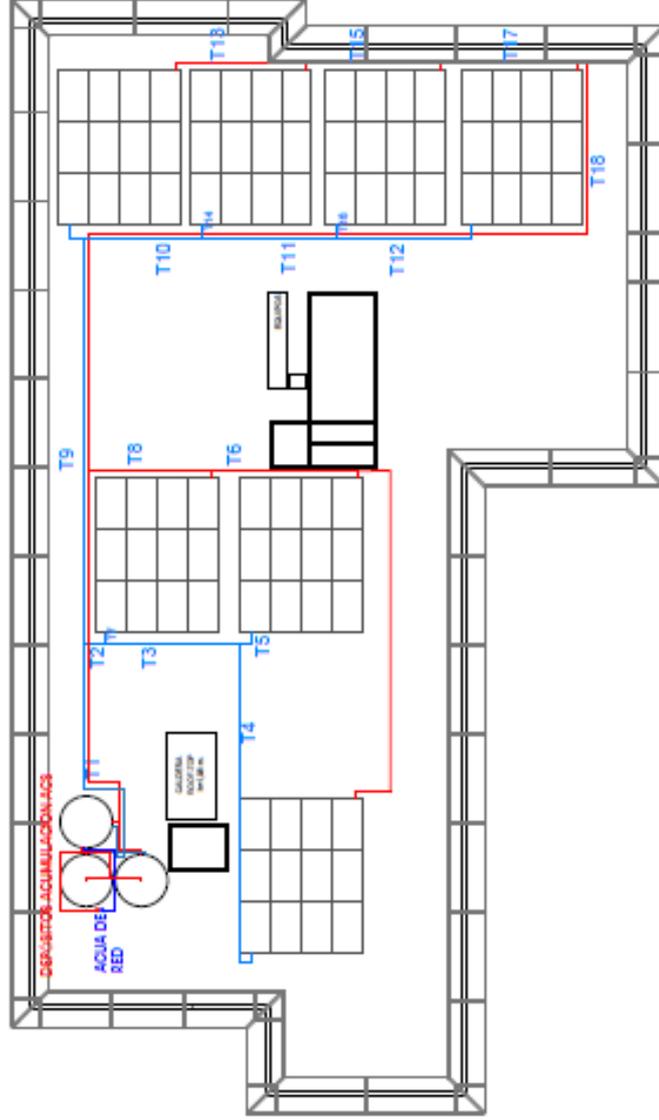
5. PLANOS



 Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Arquitectura	ESCALA	FECHA
	N/C	SEPTIEMBRE 2016
Firma Jesús Pinillos Boralla	LOCALIZACIÓN DEL EDIFICIO	
	Nº PLANO 1	



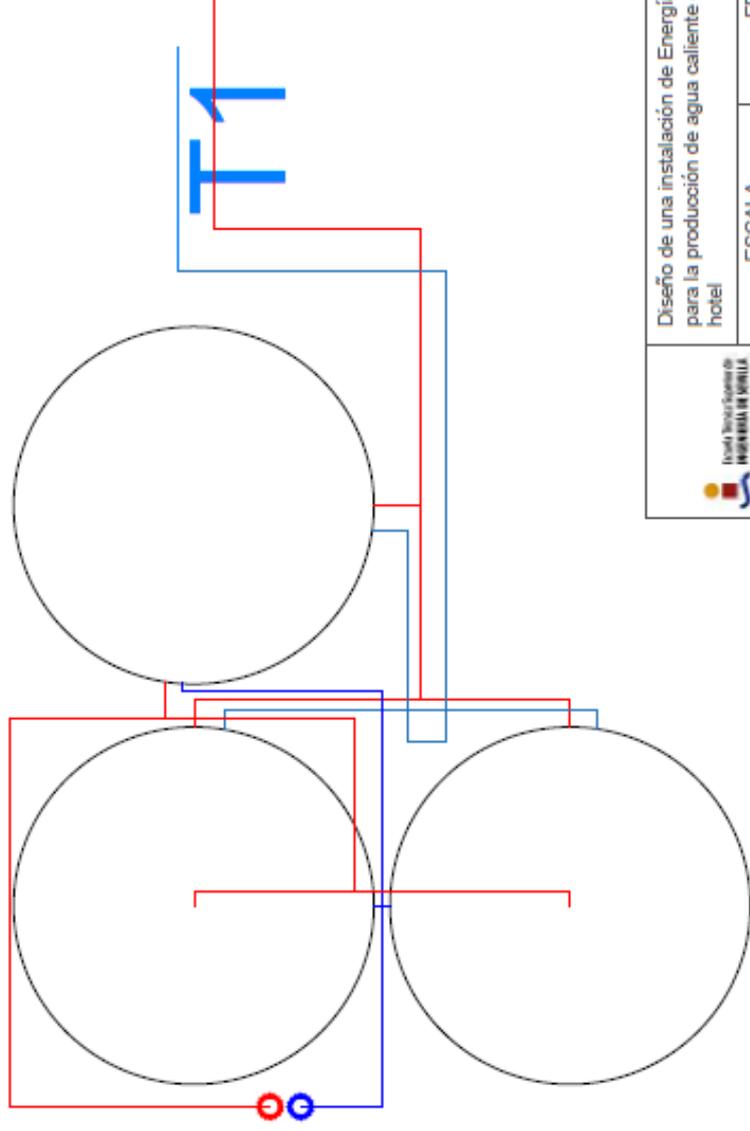
 Universidad de BURGOS	Diseño de una instalación de Energía Solar para la producción de agua caliente en un hotel	
	ESCALA N/C	FECHA SEPTIEMBRE 2018
Firma Jesús Pinillos Boralla	ESQUEMA DE PRINCIPIO	
		Nº PLANO 2



	Diseño de una Instalación de Energía Solar para la producción de agua caliente en un hotel	
	ESCALA 1/150	FECHA SEPTIEMBRE 2016
Firma Jesús Pinillos Borrala	CONEXIÓN DE CAPTADORES PLANTA CUBIERTA	
		Nº PLANO 3

DEPÓSITOS ACUMULACION ACS

AGUA
DE
RED



Diseño de una instalación de Energía Solar para la producción de agua caliente en un hotel

ESCALA
1/30

FECHA
SEPTIEMBRE 2016

Firma
Jesús Pinillos
Boralla

DETALLE CONEXIÓN DE
INTERACUMULADORES

Nº PLANO

4