

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Instalación solar térmica para la producción de
agua caliente sanitaria en un hotel

Autora: Ángela Romero Avesada

Tutor: José Julio Guerra Macho

Departamento de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel

Autora:

Ángela Romero Avesada

Tutor:

D. José Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

Departamento de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Proyecto Fin de Grado: *Instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel*

Autora: Ángela Romero Avesada

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Sevilla, 2021

Agradecimientos

A mi familia. Por ser mi pilar fundamental en estos años de carrera. Gracias por el apoyo brindado y por vuestra paciencia infinita.

A mis profesores y compañeros. Gracias por acompañarme en este bonito camino, ayudando a desarrollarme tanto profesional como personalmente.

Este proyecto estudia el diseño y cálculo de una instalación de energía solar térmica de baja temperatura cuyo objetivo es la producción de agua caliente sanitaria (ACS) para abastecer a un hotel situado en Islantilla, provincia de Huelva, procediendo posteriormente al dimensionado de la misma de forma que se optimice la eficiencia de dicha instalación.

El presente trabajo está compuesto por cinco documentos básicos necesarios para definirlo en su total integridad: memoria descriptiva, memoria de cálculo, pliego de condiciones técnicas, presupuesto de la instalación y planos. Se ha empleado la herramienta de cálculo CHEQ4 para la aplicación, control y verificación del cumplimiento de la contribución solar mínima del diseño de instalaciones solares térmicas dispuesta en la normativa aplicable, destacando el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

Índice

Agradecimientos	5
Resumen	6
.....	6
Índice de Tablas	10
Índice de Figuras	11
1 MEMORIA DESCRIPTIVA	13
1.1 Objeto del proyecto	14
1.2 Justificación	14
1.3 Energía solar térmica para producción de ACS	15
1.3.1 Introducción	15
1.3.2 Clasificación de las instalaciones de energía solar para ACS.....	16
1.3.3 Sistemas y equipos de una instalación de energía solar	19
1.3.4 Captadores solares	20
1.3.5 Acumulación e intercambio	22
1.3.6 Circuito hidráulico	24
1.3.7 Regulación y control.....	27
1.4 Método de cálculo. Software CHEQ4.....	28
1.4.1 Procedimiento de cálculo.....	28
1.4.2 Uso de la herramienta CHEQ4.....	28
1.5 Descripción del edificio	33
1.5.1 Descripción de la instalación convencional.....	34
1.6 Descripción de la instalación solar térmica del hotel.....	36
1.6.1 Principio de funcionamiento de la instalación	36
1.7 Características técnicas de los elementos de la instalación solar del hotel.....	39
1.7.1 Modelo de los captadores solares planos.....	39
1.7.2 Estructura soporte del captador solar.....	40
1.7.3 Interacumulador.....	41
1.7.4 Bomba del circuito primario.....	42
1.7.5 Sistema de regulación y control	43
1.7.6 Accesorios	44
1.8 Normativa.....	45
1.8.1 Código técnico de la edificación (CTE) HE-4.....	45
1.8.2 Normas UNE	45
1.8.3 Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE)	45

1.9	Bibliografía	48
2	MEMORIA DE CÁLCULO.....	50
2.1	Datos de partida.....	51
2.1.1	Parámetros generales del hotel	51
2.1.2	Parámetros climáticos.....	51
2.2	Cálculo de la demanda	52
2.2.1	Cálculo de la demanda de ACS.....	52
2.2.2	Cálculo de la demanda energética	53
2.2.3	Porcentaje de demanda anual cubierta (contribución solar)	54
2.2.4	Instalación solar	55
2.3	Disposición de los captadores solares.....	60
2.3.1	Pérdidas por orientación, inclinación y sombras de los captadores.....	61
2.4	Cálculo del sistema de acumulación solar.....	65
2.5	Dimensionado y diseño del resto de elementos de la instalación.....	66
2.5.1	Dimensionado de circuitos hidráulicos	66
2.5.2	Selección de la bomba del circuito primario	72
2.5.3	Selección del vaso de expansión	73
2.6	Aislamiento térmico de las instalaciones.....	76
2.7	Sistema de regulación y control	77
2.8	Selección de accesorios.....	78
3	PLIEGO DE CONDICIONES.....	80
3.1	Objeto.....	81
3.2	Normativa aplicable	81
3.3	Condiciones de materiales y equipos.....	81
3.3.1	Tuberías.....	81
3.3.2	Válvulas	84
3.3.3	Aislamiento.....	85
3.3.4	Vasos de expansión	85
3.3.5	Bombas.....	86
3.3.6	Captadores	87
3.3.7	Sistema eléctrico y de control	88
3.3.8	Aparatos de medida	88
3.3.9	Acumuladores	90
3.3.10	Intercambiadores de calor	91
3.4	Provisión de material	91
3.5	Condiciones de montaje.....	91

3.6	Pruebas, puesta en marcha y recepción	91
3.6.1	General	91
3.6.2	Pruebas parciales	92
3.6.3	Pruebas finales	92
3.6.4	Ajustes y equilibrados	93
3.6.5	Recepción	93
3.7	Mantenimiento	94
3.7.1	Vigilancia	94
3.7.2	Mantenimiento preventivo	94
3.7.3	Mantenimiento correctivo	95
4	PRESUPUESTO	96
4.1	Sistema de captación	97
4.2	Sistema de acumulación.....	97
4.3	Sistema hidráulico	98
4.4	Sistema de control.....	99
4.5	Presupuesto de la instalación	100
5	PLANOS	101

Índice de Tablas

Tabla 1 Ficha técnica de la caldera de gasóleo Buderus Logano GE315	35
Tabla 2 Dimensiones, características y calidades del modelo QR-E (Fuente: CHROMAGEN).....	39
Tabla 3 Características técnicas, dimensiones y conexiones del modelo MXV3500-SSB	41
Tabla 4 Características de la bomba Wilo HELIX V205-1.....	42
Tabla 5 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan ACS que discurren por el interior y el exterior de los edificios	47
Tabla 6. Parámetros generales del hotel	51
Tabla 7. Parámetros ambientales y climatológicos de Lepe, Huelva. (Fuente: CHEQ4)	51
Tabla 8. Demanda de ACS para usos distintos del residencial privado.....	52
Tabla 9. Demanda energética mensual del hotel.....	53
Tabla 10. Resultados de f variando el número de captadores de la instalación.....	57
Tabla 11. Resultados de f variando el volumen del acumulador solar	58
Tabla 12. Selección del número de captadores en serie.....	59
Tabla 13. Resultados CHEQ4 de la instalación final	60
Tabla 14 Pérdidas límites	61
Tabla 15 Ángulos empleados en el sistema de captación.....	62
Tabla 16 Coeficiente k en función de la latitud del lugar.....	65
Tabla 17 Cálculo de los diámetros para cada tramo del circuito primario	69
Tabla 18 Pérdida de carga en accesorios	70
Tabla 19 Circuito más desfavorable de la instalación	70
Tabla 20 Pérdida de carga total	71
Tabla 21 Datos necesarios para la selección de la bomba	72
Tabla 22 Volumen en tuberías del circuito hidráulico	73
Tabla 23 Volumen total en el circuito primario de la instalación	74
Tabla 24 Presiones necesarias para cálculo del vaso de expansión.....	75
Tabla 25 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios.	77
Tabla 26 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios.....	77
Tabla 27 Espesores de aislamiento de tuberías del hotel.....	77

Índice de Figuras

Figura 1 Aplicaciones de la energía solar térmica.....	15
Figura 2 Crecimiento de la superficie solar térmica instalada	15
Figura 3 Esquema de sistema por termosifón.....	17
Figura 4 Esquema sistema circulación forzada	17
Figura 5 Sistema todo centralizado	17
Figura 6 Sistema acumulación centralizada y apoyo distribuido	18
Figura 7 Sistema todo distribuido	18
Figura 8 Conversión de energía y esquema general de una instalación solar	20
Figura 9 Partes de un CSP.....	21
Figura 10 Tubos en U o tubos concéntricos	22
Figura 11 “tubo de calor” (heat-pipe)	22
Figura 12 Acumulador de ACS, acero inoxidable AISI	23
Figura 13 Acumulador de inercia	23
Figura 14 Tipos de intercambiadores.....	24
Figura 15 Vaso de expansión cerrado	26
Figura 16 Purgador automático en la salida del captador (Izquierda) y purgadores manuales (centro y derecha)	27
Figura 17 Pestaña localización de la instalación	29
Figura 18 Pestaña "Configuración"	30
Figura 19 Demanda para consumo único o múltiple	31
Figura 20 Solar/apoyo en CHEQ4.....	31
Figura 21 Pestaña "Otros parámetros" en CHEQ4	32
Figura 22 Tabla de resultados.....	33
Figura 23 Fotografía del hotel.....	34
Figura 24 Caldera de gasóleo. Marca Buderus. Modelo Logano GE135	34
Figura 25 Esquema depósito acumulación ACS de la instalación convencional	35
Figura 26 Esquema de funcionamiento de la centralita Omega Alpha de Chromagen.....	38
Figura 27 Esquema de principio de la instalación.....	38
Figura 28 Captador solar plano modelo QR-E. (Fuente: CHROMAGEN)	39
Figura 29 Rendimiento del captador solar QR-E (Fuente: CHROMAGEN)	40
Figura 30 Estructura y dimensiones del KIT 2 captadores térmicos (Fuente: CHROMAGEN)	40
Figura 31 Estructura y dimensiones del KIT 3 captadores térmicos (Fuente: CHROMAGEN)	41
Figura 32 Interacumulador solar modelo MXV 3500 – SSB	41
Figura 33 Dimensiones bomba Wilo HELIX V205-1.....	43
Figura 34 Centralita Omega Alpha de Chromagen y sus dimensiones	44
Figura 35 Válvula de Corte (Izquierda); Válvula de Retención (Centro); Válvula de seguridad (Derecha).....	44
Figura 36 Purgador de Aire FLEXVENT de BAXI.....	45
Figura 37 Demanda energética mensual.....	54
Figura 38 Configuración de la instalación	55
Figura 39 Demanda instalación.....	55
Figura 40 Solar/apoyo de la instalación	56
Figura 41 Resultados de la fracción solar variando el número de captadores	57
Figura 42 Resultados de la fracción solar variando el volumen de acumulación	58

Figura 43 Resultados al variar el número de captadores en serie (Ns).....	59
Figura 44 Otros parámetros de la instalación	59
Figura 45 Resultados finales de la simulación.....	60
Figura 46 Esquema básico general de la distribución de captadores en cubierta (Fuente: propia)	61
Figura 47 Conexión de los captadores solares en baterías de 5 con paralelo interno (Fuente: propia).....	61
Figura 48 Geometría solar para un captador solar	62
Figura 49 Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de pérdidas por orientación e inclinación. (Fuente: CTE_DB-HE)	63
Figura 50 Diagrama de trayectorias del Sol	64
Figura 51 Separación mínima entre filas de captadores.....	64
Figura 52 Cubierta del hotel con la asignación de tramos.....	67
Figura 53 Pérdida de carga entre conexiones de entrada y salida del interacumulador.....	68
Figura 54 Curvas características de la bomba Wilo Helix V205	72
Figura 55 Vasos de expansión de membrana Ibaiondo. Características.....	76
Figura 56 Vaso de expansión fabricado conforme Directiva 2014/68/UE.....	76
Figura 57 Desglose del presupuesto de cada sistema de la instalación solar del hotel	100

1 MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Objeto del proyecto

El presente proyecto tiene por objeto el diseño y dimensionado de una instalación de energía solar de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en un hotel de cuatro estrellas situado en la playa de Islantilla, municipio de Lepe (Huelva).

Para el desarrollo del proyecto, se realizará un análisis de las condiciones climatológicas de la zona, teniendo en cuenta la radiación solar incidente en el lugar. Una vez conocida la contribución solar mínima establecida en el código técnico de la edificación (CTE), se analizará la demanda diaria de ACS en el hotel, para así poder elaborar el dimensionamiento de la instalación. Se dimensionarán cada uno de los componentes que forman la instalación y se seleccionarán las soluciones óptimas en base al correcto funcionamiento de la misma, siempre teniendo en cuenta el cumplimiento del CTE y el RITE.

1.2 Justificación

La creciente preocupación por el cambio climático ha incidido positivamente en el interés por las energías renovables, en especial desde la segunda mitad de la década de los ochenta. Las energías renovables han recibido un importante respaldo de la comunidad internacional con el 'Acuerdo de París' suscrito en la Cumbre Mundial del Clima celebrada en diciembre de 2015 en la capital francesa.

El acuerdo, que entró en vigor en 2016, establece por primera vez en la historia un objetivo global vinculante, por el que los casi 200 países firmantes se comprometen a reducir sus emisiones de forma que el aumento de la temperatura media del planeta a final del presente siglo quede "muy por debajo" de los dos grados, -el límite por encima del cual el cambio climático tiene efectos más catastróficos- e incluso a intentar dejarlo en 1,5 grados.

La energía solar térmica es una de las opciones más relevantes para el apoyo a la transición energética, puesto que es una de las tecnologías de mayor rendimiento dentro del ámbito de las energías renovables. Por ello, hay que aprovechar que nos encontramos en un país donde este recurso es abundante y donde contamos con grandes profesionales lo suficientemente cualificados como para saber sacar el máximo potencial de esta tecnología.

La incorporación de instalaciones de energía solar térmica en la edificación, para abastecer sus diferentes demandas térmicas, implica una mejora de la eficiencia energética de los edificios además de preservar el medio ambiente y disminuir los efectos negativos del cambio climático.

El aprovechamiento de la energía solar térmica supone que parte de la demanda del edificio de ACS, calefacción, refrigeración, e incluso piscina, se va a abastecer con una energía renovable que supone un consumo nulo de energía primaria y que disminuirá sus emisiones de CO₂. (IDAE, Impacto de la Energía Solar Térmica en la Calificación Energética de Edificios, 2017).

La aplicación más extendida de energía solar a baja temperatura en edificios y viviendas es la producción de agua caliente sanitaria empleando una instalación de energía solar térmica, como bien se puede observar en la Figura 1, según The International Energy Agency.

En la figura se puede apreciar que dentro de las aplicaciones de la energía solar térmica más del 70% de las mismas se enfocan en la producción de ACS.

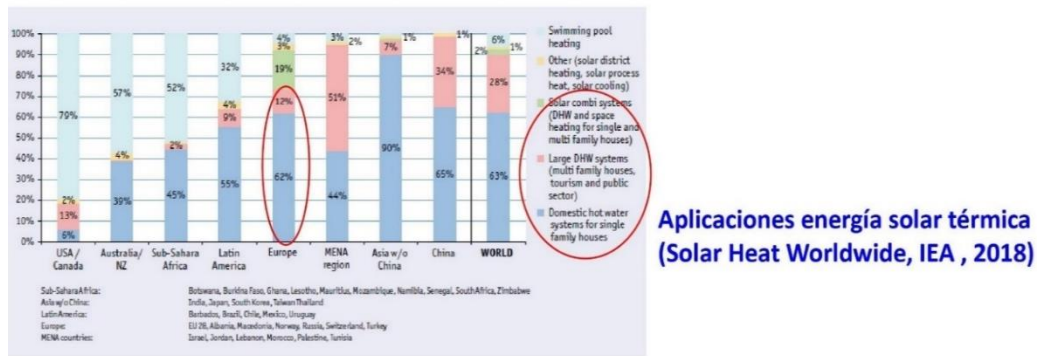
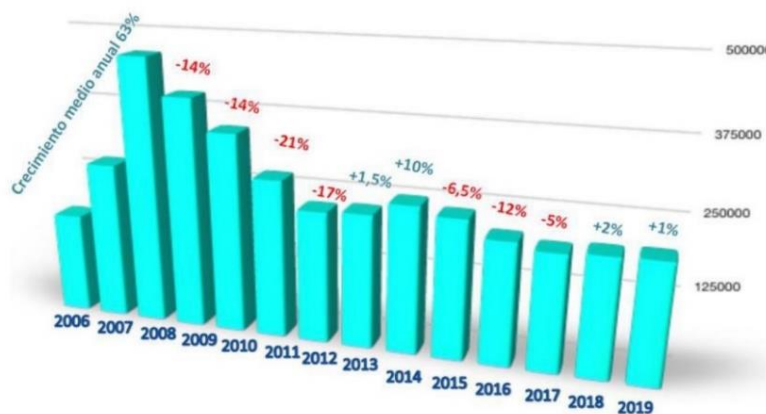


Figura 1 Aplicaciones de la energía solar térmica

Según ASIT (Asociación Solar de la Industria Térmica), en 2019 se han instalado en España un total de 207.150 m², lo que equivale a 145 MWth, un 1% más que en el año anterior. El mayor crecimiento se experimentó en 2008 debido al boom que sufrió el sector de la construcción. A pesar de los duros momentos de crisis que ha sufrido nuestro país, el mercado de este tipo de instalaciones sigue aumentando, empleando principalmente captadores solares planos.



Superficie instalada en España 2006 - 2019 (ASIT, 2019)

Figura 2 Crecimiento de la superficie solar térmica instalada

Finalmente, concluir que uno de los objetivos del presente proyecto es demostrar y fomentar el uso de este tipo de instalaciones para el sector terciario, sobre todo en nuestro país, ya que debemos ser conscientes del maravilloso clima que tenemos y la cantidad de energía radiante procedente de una fuente natural que podríamos aprovechar para satisfacer nuestras actividades vitales diarias.

1.3 Energía solar térmica para producción de ACS

1.3.1 Introducción

La energía solar térmica es una de las energías renovables que se puede aplicar a diversos ámbitos con el objetivo de reducir el uso de energías no renovables como puede ser el empleo de gas natural o carbón.

Las aplicaciones más comunes de sistemas activos solares de baja temperatura, es decir, de aquellos sistemas donde el rango de temperatura se encuentra por debajo de los 100°C, son:

Agua de proceso para industria

Se emplea para precalentar el fluido de trabajo para fin industrial, de forma que el aprovechamiento de energía es sencillo y económico. Es válido para procesos que utilizan agua caliente en sus actividades como: destilación, pasteurización, generación de vapor, secado de productos agrícolas, etc.

Calefacción

La energía solar térmica a baja temperatura es un buen complemento para el sistema de calefacción, sobre todo para aquellos sistemas que no necesiten agua caliente a más de 60°C.

El sistema que mejor se adapta con el aporte solar es el suelo radiante (circuito de tuberías por el suelo de la vivienda o local), ya que la temperatura del fluido que va a través de dichas tuberías se encuentra a 45-50°C. Esta temperatura es fácilmente alcanzable mediante captadores solares.

Refrigeración

Los hábitos actuales de bienestar han incrementado la necesidad de refrigeración en los edificios. Esta demanda, si no se emplean tecnologías activadas por fuentes térmicas gratuitas, producen una alta emisión de CO₂.

Por ello, los sistemas de refrigeración solar emplean energía renovable, y además, la demanda de refrigeración se ajusta a los meses del año con mayor radiación solar. Es decir, existe un equilibrio cobertura-demanda.

Agua caliente sanitaria (ACS)

Dichas instalaciones tienen como fin el aprovechamiento de la energía solar para producir agua caliente. Es el uso más habitual actualmente y constituye una tecnología totalmente madura y rentable. La temperatura de trabajo (40°C – 60°C) es casi idéntica a la del sistema solar térmico de captadores planos, lo que implica un buen rendimiento en el sistema.

El objetivo es calentar el agua para emplearla en usos domésticos como puede ser: ducha, baños, grifos de fregaderos, etc.

1.3.2 Clasificación de las instalaciones de energía solar para ACS

En general, las instalaciones pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios:

Según el sistema de circulación del fluido

- Sistemas naturales o por termosifón

Estos sistemas son sencillos y suponen un menor coste puesto que no necesitan una bomba de circulación, lo cual implica que no consume energía eléctrica para mover el fluido en el circuito primario porque se efectúa por convección natural. El fluido en el captador asciende a medida que se calienta a causa de la radiación solar incidente y, al llegar al acumulador solar situado por encima del captador, intercambia su calor y se enfría, de modo que vuelve hacia el captador.

Estos sistemas requieren un diseño y montaje muy cuidadoso que minimice las pérdidas de carga. Suelen ser sistemas compactos prefabricados formados por uno o dos captadores, un acumulador, y sus correspondientes accesorios. Otro de los inconvenientes que pueden presentar estos sistemas es la escasa estética y la difícil integración arquitectónica.

- Sistemas convección forzada

Estos sistemas precisan de bombas para hacer circular el fluido por los diferentes circuitos lo que implica un control más preciso del sistema y, además, permite controlar la temperatura máxima en los captadores, cosa que el sistema por termosifón no podía hacer. Las bombas entrarán en funcionamiento en función de la temperatura que dispongamos en los acumuladores. Presentan una mejor integración arquitectónica. Como inconveniente, supone un mayor coste debido al consumo eléctrico y al propio montaje y mantenimiento.

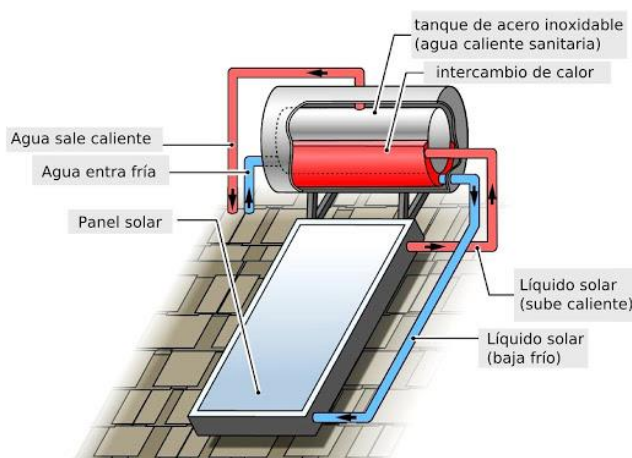


Figura 3 Esquema de sistema por termosifón

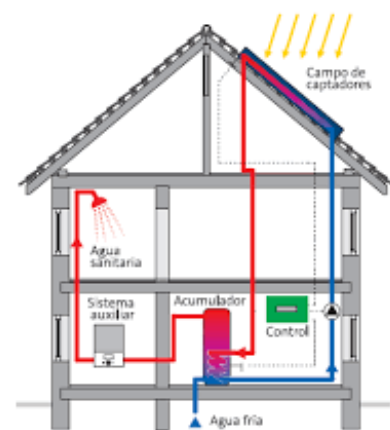


Figura 4 Esquema sistema circulación forzada

Según la acumulación y el sistema auxiliar

Según la forma de realizar la acumulación de energía térmica y el apoyo de energía auxiliar, nos centramos en estas configuraciones:

- Acumulación y apoyo centralizado

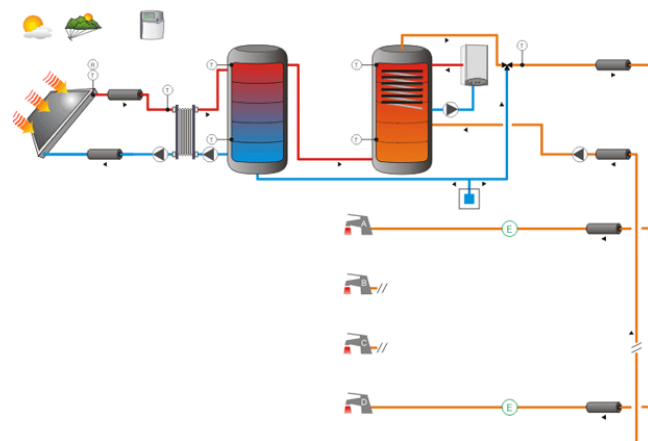


Figura 5 Sistema todo centralizado

En esta configuración de flujo forzado, se trasvasa el calor del fluido caloportador calentado en los captadores solares, mediante un intercambiador externo, a otro fluido hasta un primer acumulador central.

Por otro lado, se dispone de otro sistema de acumulación mediante un interacumulador conectado tanto al primer acumulador como a la caldera del sistema auxiliar centralizado que mantiene la temperatura del agua.

- Sistemas con acumulación centralizada y apoyo distribuido

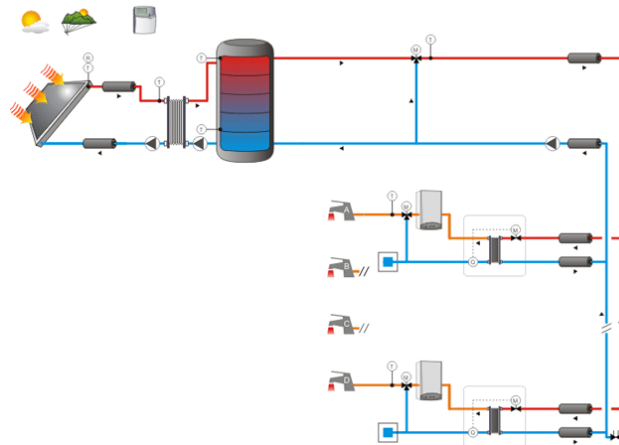


Figura 6 Sistema acumulación centralizada y apoyo distribuido

En esta configuración, existe un campo solar, que calienta el fluido caloportador. Posteriormente, se transfiere la energía a un acumulador central mediante los intercambiadores. Desde este depósito central se distribuye a cada una de las viviendas mediante una red de distribución que se encuentra circulando en permanente en circuito de recirculación para conseguir que la temperatura disponible a la entrada de cada vivienda sea la máxima posible. En cada vivienda, se dispone de un sistema de apoyo convencional.

Al diseñar el circuito de distribución se han de tener en cuenta los coeficientes de simultaneidad de los consumos en las viviendas.

- Sistemas con acumulación y apoyo distribuidos (todo distribuido)

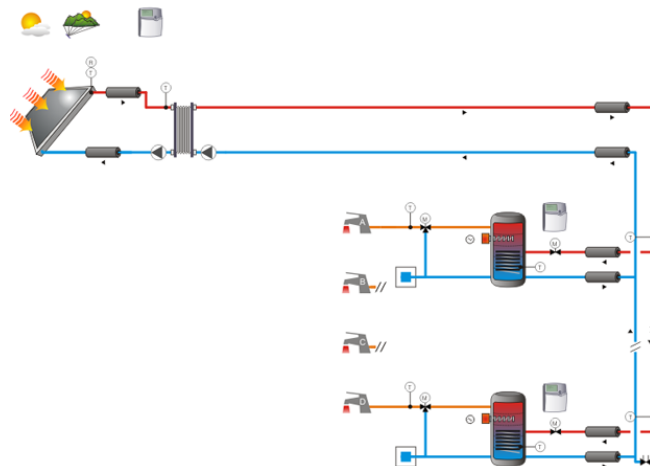


Figura 7 Sistema todo distribuido

La variante consiste en disponer de un acumulador individual en cada vivienda. Este tipo de configuración se elige cuando se presentan problemas de espacio para ubicar un acumulador central o cuando se entienda que el usuario final va a valorar favorablemente el tener un acumulador en su propia vivienda. Este tipo de configuración resulta algo más cara que las descritas anteriormente, debido a que, en los acumuladores individuales, las pérdidas resultan más elevadas, aunque esta configuración ofrece una seguridad frente a la legionelosis y bastante facilidad de manteniendo.

1.3.3 Sistemas y equipos de una instalación de energía solar

En este apartado, se describen los principales sistemas y equipos que conforman la instalación de energía solar térmica de baja temperatura típica. Mediante esta serie de sistemas se busca que la energía del Sol se transforme en agua caliente y todo ello gracias a un recurso totalmente ilimitado, sin ningún coste y además, respetando el medio ambiente ya que dicha energía radiante sustituye a los recursos contaminantes tales como GLP, carbón, etc.

Sistema de captación

Dicho sistema es el encargado de transformar la radiación solar incidente (**energía radiante**) sobre el captador en energía térmica de forma que aumenta la temperatura del fluido caloportador que circula por el circuito primario.

Sistema de intercambio

Realiza la **transferencia de energía** entre distintos circuitos. Esta transferencia puede realizarse directamente desde el circuito primario al agua de consumo a partir de un único sistema de intercambio (Intercambio de carga), o bien a través de dos sistemas de intercambio en el caso que empleemos un acumulador solar de inercia (intercambio de descarga).

En ambos casos, existe la posibilidad de encontrar el intercambiador de calor dentro del acumulador correspondiente.

Sistema de acumulación

Este sistema nos permite almacenar la **energía térmica** hasta que se solicite su consumo o uso. Fundamentalmente, se emplea la acumulación solar de calor sensible en líquido o agua caliente. Dicho sistema es necesario debido al desfase horario entre la producción y el consumo. Los tipos son:

- Acumulación de inercia: Utiliza un fluido intermedio en circuito cerrado que no se consume directamente y que no precisa tratamiento sanitario.
- Acumulación de consumo: El fluido que circula es siempre el agua de consumo sanitario y debe tener la calidad sanitaria correspondiente.

Sistema de hidráulico

Este sistema transforma la energía eléctrica en energía mecánica para transportar el fluido de los captadores a los distintos sistemas a través de tuberías con su aislamiento, válvulas, accesorios, bombas, etc., y que mediante la circulación de fluidos produce la transferencia de energía.

Sistema de apoyo auxiliar

Este sistema conecta el depósito acumulador con el consumo y le aporta la energía térmica necesaria para alcanzar el consumo energético previsto. Si el aporte lo proporciona una caldera de gas, la energía empleada es **energía química** y si se emplea un termo eléctrico la energía usada es **energía eléctrica**.

Sistema de control y regulación

Aplica las estrategias de funcionamiento y de protección organizando el arranque y parada de bombas, las actuaciones de las válvulas de tres vías y cualquier otra función electromecánica que se solicite.

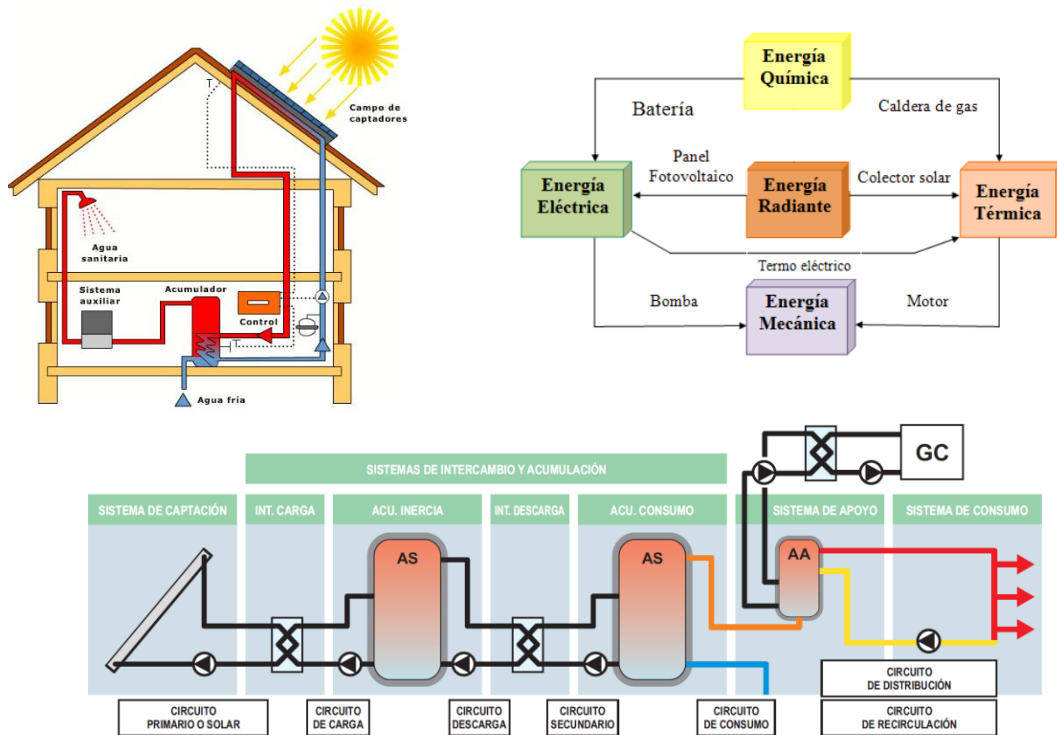


Figura 8 Conversión de energía y esquema general de una instalación solar

1.3.4 Captadores solares

El elemento característico de un sistema de energía solar térmica es el captador solar, donde se capta la radiación solar incidente. Todos los diseños tienen el objetivo de conseguir el mayor rendimiento posible en la conversión de energía radiante en calor, para después suministrarla eficientemente al consumo. Además de producir calor de manera eficiente, el captador debe tener el correcto diseño para soportar las diferentes condiciones climatológicas (lluvia, nieve, granizo, polvo, etc.) y resistir temperaturas extremas, tanto en invierno como en verano.

Principales tipos de captadores solares

Captador solar plano

Es el más empleado para producción de ACS. Un captador solar plano (CSP) es un intercambiador de calor que transforma la radiación

Los componentes básicos del captador solar plano son:

- La cubierta transparente

Generalmente es de vidrio y, además de reducir las pérdidas por radiación y convección, asegura la estanqueidad del captador protegiendo a los componentes interiores frente de agentes externos.

- El absorbedor o placa absorbente

Elemento que debe tener alta absorptividad (superficie negra) para absorber casi la totalidad de la radiación solar incidente, alta conductividad (material metálico) y espesor reducido. En ella se produce la conversión de energía radiante en energía interna del fluido. Generalmente está construida por un material metálico. El rendimiento del captador depende en gran medida del tipo y calidad del tratamiento superficial que tenga el absorbedor de forma que consiga una alta absorptancia y una baja emisividad.

Los dos tratamientos que existen son: selectivos o no selectivos. Los selectivos reducen la emisividad a valor entre 0,05 y 0,5, lo cual permite reducir las pérdidas radiantes en gran medida.

- Tubos

La energía absorbida es transferida por conducción a la zona de la placa en contacto con el fluido de trabajo (tubos). Es imprescindible un buen contacto térmico entre la parte plana del absorbedor y las tuberías del circuito para facilitar la transferencia de calor al fluido por conducción.

- El aislamiento

El aislamiento térmico nos permite reducir las pérdidas por la cara posterior y por los laterales del captador. Normalmente se emplea fibra de vidrio o lana de roca.

- La carcasa

Es el elemento que contiene todos los elementos del captador y sirve para protegerlo del exterior y aportar rigidez. La carcasa debe tener una elevada resistencia mecánica, un buen comportamiento frente a la corrosión y a las variaciones de temperatura.

Habitualmente se emplea aluminio, acero inoxidable, acero galvanizado y lacado o material plástico reforzado con fibra de vidrio.

Captador solar de tubos de vacío

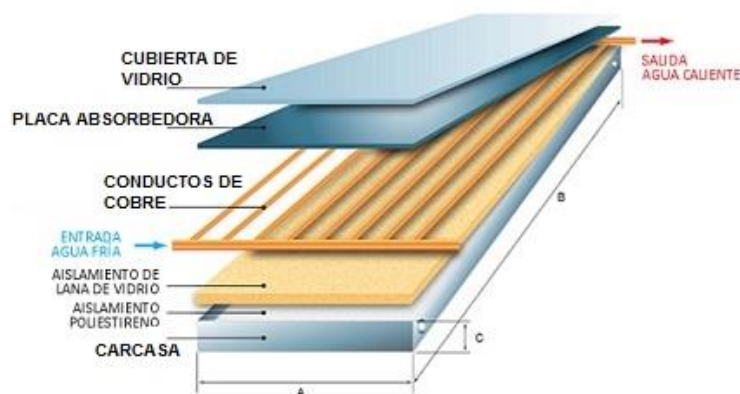


Figura 9 Partes de un CSP

Este captador está compuesto por un conjunto de tubos, conectados hidráulicamente a un colector. Los tubos por donde circula el fluido a calentar se encuentran encapsulados en un tubo de vidrio que actúa como cubierta y envolvente exterior donde se hace el vacío.

El vacío reduce las pérdidas térmicas, tanto de convección como de conducción, en el espacio entre el absorbedor y la cubierta de vidrio alcanzando temperaturas superiores a la de los captadores planos. El nivel de vacío es un parámetro fundamental en la efectividad de la reducción de las pérdidas térmicas y, a la vez, es el factor funcional cuya fiabilidad a largo plazo es más difícil de garantizar.

Actualmente, hay dos tipos de captadores principales solares de tubos de vacío:

- Captador de tubos de calor o "heat-pipe". *Figura 11*
- Captador de vacío de tubo en U o tubos concéntricos. *Figura 10*

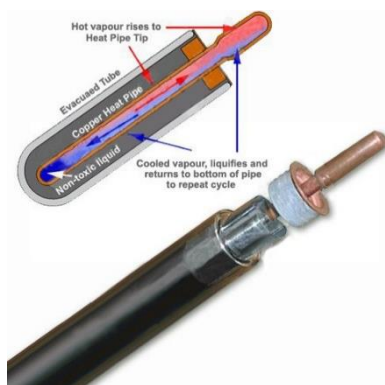


Figura 11 "tubo de calor" (heat-pipe)

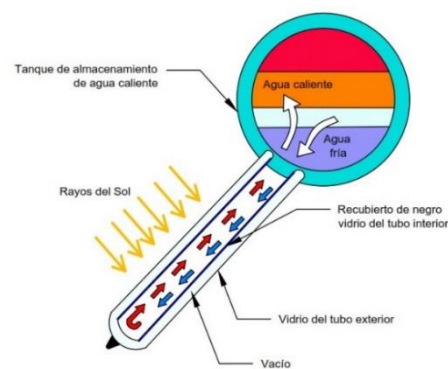


Figura 10 Tubos en U o tubos concéntricos

1.3.5 Acumulación e intercambio

Todas las instalaciones de este tipo requieren un sistema de acumulación de energía por la necesidad de solventar el desfase entre la radiación solar incidente y el consumo energético. La eficiencia del sistema viene fuertemente marcada por la estratificación de las temperaturas en el depósito y por las pérdidas térmicas del acumulador.

En primer lugar, el agua del acumulador sufre una diferencia de temperaturas provocando así que el agua caliente ascienda por efecto termosifón mientras que el agua fría, más densa, tienda a bajar. El efecto de estratificación es deseable ya que incrementa la eficiencia de la instalación lo cual implica dos consecuencias:

- Permite tener el agua más caliente en la parte superior del acumulador y ésta, será la primera en alimentar el sistema de apoyo.
- Por otro lado, el agua que está en la zona inferior del acumulador al estar más fría es la que se entrega al intercambiador haciendo que el fluido de trabajo que circula por el circuito primario llegue a una temperatura más baja al sistema de captación. Este hecho, implica que el rendimiento de los captadores aumenta ya que la temperatura de entrada a los mismos es inferior.

En segundo lugar, las pérdidas térmicas pueden llegar a ser importantes cuando la temperatura del acumulador llega a los 100-110°C. Con el objetivo de minimizar estas pérdidas térmicas, es imprescindible tener en cuenta la necesidad de cubrir con el material adecuado toda la superficie exterior del acumulador, incluyendo tuberías, bocas de conexión y tapas de registro.

Todo el aislamiento debe disponer del espesor necesario establecido según la normativa vigente en función de la temperatura que se pueda llegar a alcanzar en cada caso.

Acumuladores solares. Tipos y características

Acumulador solar de inercia

Se emplean principalmente cuando la instalación de ACS es grande o para sistemas de calefacción. De esta forma, se evita cualquier interrupción en el equipo de calefacción por una demanda insuficiente de energía. El coste de inversión es inferior al coste del acumulador de ACS gracias a que trabajan con presiones máximas inferiores.

Acumulador solar de ACS

Deben cumplir los requisitos exigidos por la normativa vigente para mantener la potabilidad y calidad del agua para su consumo humano. Necesitan protección para evitar la corrosión en el circuito de consumo, lo cual implica un alto mantenimiento.

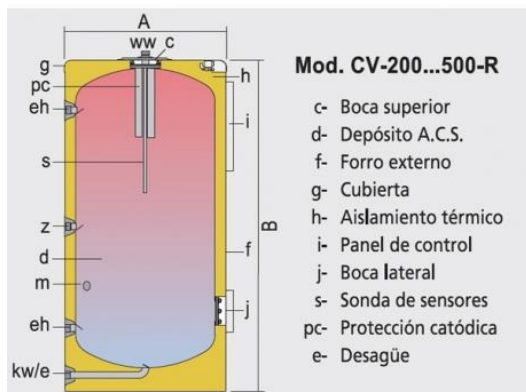


Figura 13 Acumulador de inercia



Figura 12 Acumulador de ACS, acero inoxidable AISI

Intercambiadores de calor. Tipos y características

Los intercambiadores de calor se emplean en los sistemas indirectos donde en el circuito de captadores se emplea un fluido caloportador diferente a la propia agua de consumo.

La utilización del intercambiador está justificada porque elimina o reduce los problemas que surgen en los sistemas directos por depósitos calcáreos, heladas o presiones elevadas en circuito primario por lo que, en general, no se recomienda el uso de los sistemas directos donde el fluido de trabajo de captadores es la propia agua de consumo. (ASIT, 2020)

Tipos de intercambiadores de calor:

Intercambiador interno o incorporado al acumulador (interacumulador)

En este caso, el intercambiador de calor se encuentra en el interior del propio acumulador y realiza la doble función de intercambiar el calor del fluido del circuito primario hacia el agua que está contenida en el acumulador. Este elemento de intercambio puede ser:

- un serpentín
- un haz tubular
- un tubo aleteado

Intercambiador externo o independiente

Los más empleados son los intercambiadores de placa puesto que son económicos y su pequeño tamaño en relación con su área de transferencia.

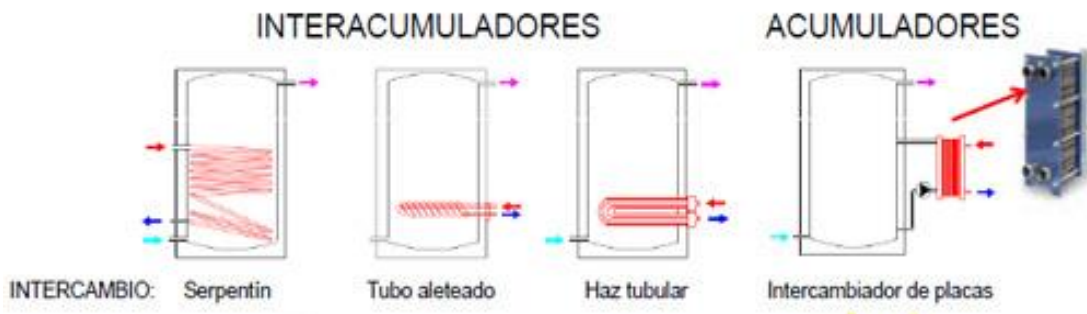


Figura 14 Tipos de intercambiadores

1.3.6 Circuito hidráulico

En la red o circuito hidráulico se encuentra el resto de los elementos necesarios para interconectar todos los elementos de la instalación solar térmica y así, constituir los circuitos primarios, secundarios y de consumo.

Tuberías

Las cañerías interconectan hidráulicamente todos los componentes y canalizan el movimiento de los fluidos. Para la selección del material empleado en las tuberías hay que considerar una serie de aspectos diferentes:

- Compatibilidad con el fluido de trabajo
- Comportamiento con las temperaturas de trabajo y el rango de presiones
- Resistencia frente a la corrosión
- No debe existir posibilidad de formación de obturaciones o depósitos de cal

La longitud de las tuberías debe ser la mínima posible para conseguir disminuir las pérdidas térmicas al máximo, y así, conseguir un mejor rendimiento de la instalación. Los materiales generalmente empleados son el cobre, el acero inoxidable y materiales plásticos aptos para uso sanitario y autorizados por la normativa vigente.

Aislamiento

El aislamiento tiene como principal objetivo la reducción de las pérdidas térmicas a través de las tuberías con el entorno. El aislamiento de las tuberías que se encuentren a la intemperie debe asegurar su resistencia ante las inclemencias meteorológicas.

Válvulas

Las válvulas empleadas en las instalaciones de energía solar térmica pueden ser las siguientes:

1. Válvula de corte

Este tipo de válvulas de corte, generalmente de esfera o bola, permiten aislar manualmente la circulación del fluido de trabajo en un tramo de la instalación, para llevar a cabo reparaciones o

labores de mantenimiento en un equipo en concreto o una tubería. También pueden realizar vaciados. Se basa en la rotación de un obturador esférico con una cavidad cilíndrica coaxial al flujo. Cuando está abierto, ocupa una parte de la tubería, mientras que, si se cierra, bloquea completamente el flujo. Este movimiento es muy rápido y este hecho tiene ventajas e inconvenientes: ya que esto puede ser la causa de un golpe de ariete del sistema.

2. Válvula de seguridad

Válvula que tiene como objetivo proteger todo el circuito y los elementos de la instalación de sobrepresiones. La válvula libera fluido de trabajo al exterior del circuito cuando se alcanzan presiones elevadas. Permanecen cerradas por la acción de un muelle hasta que la presión del fluido es superior a la que ejerce el resorte de forma que éste cede, y obturador se desplaza dejando pasar el fluido. Hay que tener en cuenta las temperaturas máximas que deben soportar.

3. Válvula antirretorno

Estas válvulas impiden el paso del fluido en un sentido y permiten la circulación en el otro. Se suelen emplear en la impulsión de las bombas de circulación, para evitar la posible circulación inversa del fluido durante la noche. Además, es posible su colocación en la alimentación de agua fría a los depósitos de ACS para evitar que el agua caliente pase al circuito de agua fría.

Al igual que con la válvula de seguridad, se deben tener presente en todo momento las condiciones de trabajo ya que pueden presentar componentes fabricados con plásticos. Por otro lado, no deben generar una pérdida de carga muy elevada.

4. Válvula de equilibrado

Se emplean para controlar y regular los caudales, además de equilibrar hidráulicamente los circuitos de la instalación. Estas válvulas generan una pérdida de carga adicional adecuada en el circuito para garantizar una correcta distribución del fluido por toda la instalación. Pueden ser manual o automática.

5. Válvula de llenado automático de red

Sirve para reponer circuitos cerrados, como el circuito primario y mantener la presión mínima cuando se han producido pérdidas de fluido por accionamiento de las válvulas de seguridad, vapor por los purgadores, pequeñas fugas, etc.

No deben utilizarse en el caso de circuitos con mezcla anticongelante. Las válvulas de llenado automático combinan las funciones de reducción de presión, retención y de intercepción o cierre e incorporan filtro de protección contra impurezas.

6. Válvula mezcladora termostática

Son válvulas de tres vías que protegen el circuito de distribución y a los usuarios. Es un dispositivo que mezcla el agua caliente de la acumulación con agua fría de red para evitar que el agua salga a mayor temperatura de la deseada y, por tanto, mantiene la temperatura.

Las instalaciones solares pueden producir ACS a temperaturas superiores a 60°C, por lo que deben utilizarse este tipo de dispositivos para evitar quemaduras en los puntos de consumo.

Estas válvulas incorporan un sensor que capta la temperatura de mezcla y regula las proporciones de los caudales correspondientes.

7. Válvula de motorizada de 2 o 3 vías

Estas válvulas están accionadas por un pequeño servomotor para la regulación del caudal de agua caliente en el circuito actuando en función de la temperatura del agua a la salida de la acumulación.

Bomba de circulación

Las bombas de circulación deberán cumplir con los requisitos de diseño ecológico establecidos en las medidas de la Directiva 2009/125/CE llevando el marcado CE. Los materiales de la bomba del circuito primario tendrán que ser compatibles con las mezclas anticongelantes y, además, con el fluido de trabajo de dicho circuito.

En el circuito secundario de distribución, el fluido es agua potable si posteriormente no existe intercambiador, ya que el agua del acumulador es la misma que va al circuito de consumo. Por dicho motivo, el material de la bomba deberá ser resistente a la corrosión y a las incrustaciones calcáreas como el bronce o acero inoxidable.

Como se indica en la sección HE4 del CTE, en las instalaciones con una superficie superior a 50 m² se montarán 2 bombas idénticas en paralelo, tanto en el circuito primario como en el secundario.

Vaso de expansión

El vaso de expansión es un elemento de seguridad que sirve para absorber el aumento de presión del fluido al calentarse. Este fluido al aumentar su temperatura se expande, y presiona la membrana elástica ubicada en el interior del vaso comprimiendo a su vez el aire o gas que contiene la otra parte del vaso de expansión, evitando así variaciones de presión en el circuito.

Los vasos de expansión de las instalaciones solares deberán ser siempre cerrados, y en el caso de encontrarse en el exterior deberán estar expresamente diseñados para ello.

Los vasos de expansión utilizados en los circuitos primarios deberían tener una temperatura máxima de funcionamiento superior a 100°C y se deben adoptar las medidas necesarias, como la incorporación de un vaso tampón, o un dissipador, para que no se alcance en el interior del vaso de expansión fluido a temperatura superior a la que el mismo pueda soportar.

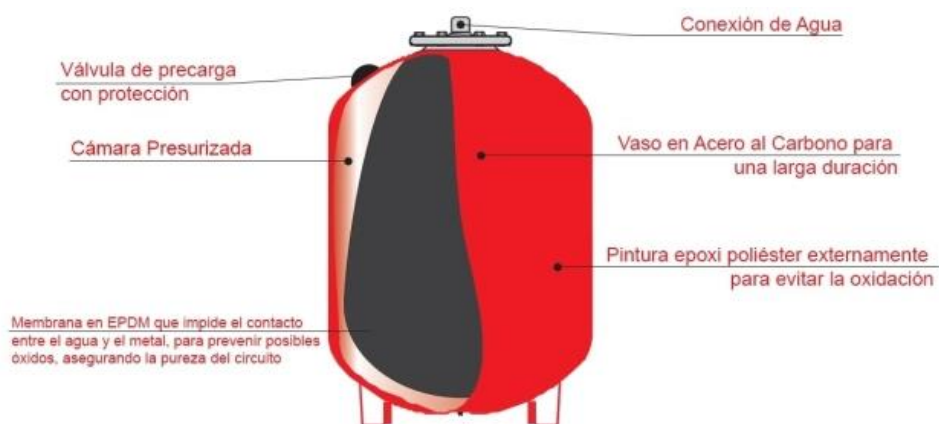


Figura 15 Vaso de expansión cerrado

Sistema de purga, llenado y vaciado

El aire que discurre por los circuitos cerrados disminuye la transferencia de calor, y pueden incluso provocar que la bomba trabaje en vacío, por ello, hay que eliminarlo a través del sistema de purga.

El **sistema de purga** es el encargado de eliminar el aire que entra en el circuito en el caso de encontrarse el sistema en depresión, además de dejar escapar las burbujas de aire que circulan por el interior de las tuberías. Se recomienda instalar siempre purgadores manuales ya que contribuyen a que los circuitos cerrados sean herméticos desde el punto de vista de entrada o salida de aire y fiables, además de más económicos. Los purgadores automáticos de aire a la salida de los captadores, sin embargo, cuentan con otro inconveniente extra, y es la necesidad de ir acompañados de válvulas de corte.



Figura 16 Purgador automático en la salida del captador (Izquierda) y purgadores manuales (centro y derecha)

Cualquier circuito cerrado de una instalación debe contar con un **sistema de llenado**, manual o automático, que permita la entrada de fluido de trabajo y mantener la instalación con una presión de trabajo constante y con una temperatura de los captadores solares dentro de los límites de seguridad. El sistema de llenado debe cumplir la normativa vigente. Los sistemas de llenado pueden llevar directamente agua de red o requerir una mezcla de anticongelante.

En el caso de llevar agua de red, además de un reductor de presión, filtro, válvula de retención y caudalímetro, deben disponer de una válvula de corte.

Cuando los circuitos necesiten anticongelante se deberá incluir un sistema que permita preparar la mezcla en un depósito independiente para, posteriormente, introducirlo en el circuito.

Para facilitar el **vaciado** total o parcial de una instalación solar normalmente se instalan en los puntos más bajos tuberías de drenaje a través de las cuales se puede realizar el vaciado mediante la apertura de una válvula de corte colocada en esta tubería.

1.3.7 Regulación y control

El sistema de control es el encargado de controlar y asegurar el correcto funcionamiento de la instalación, regulando los flujos de energía entre el captador, el sistema de acumulación y finalmente, el consumo, de modo que se consiga el rendimiento óptimo en función de las necesidades del sistema. Los principales objetivos son:

- El control y regulación de la conversión de energía radiante en energía térmica y transferencia eficaz al acumulador.
- Debe proteger contra los sobrecalentamientos producidos en el sistema y del riesgo de heladas. Para estos casos, se emplean sensores.
- Correcto control del proceso de descarga garantizando la máxima transferencia del acumulador al consumo.

El sistema de regulación permite el funcionamiento automático de arranque de las bombas del circuitos primario y secundario cuando exista suficiente energía en los captadores para ser empleada y, por otro lado, también la parada de dichas bombas cuando ya no sea suficiente la energía térmica para calentar el agua caliente sanitaria. La variable principal que marca el funcionamiento de la bomba del circuito primario es el gradiente de temperatura del fluido de trabajo a la salida del campo de captadores y la temperatura del fluido a la salida del acumulador.

Por otro lado, el sistema auxiliar también se ve obligado a ser controlado. El agua procedente de los depósitos de acumulación será mezclada con la proveniente de la red en caso de que la temperatura del depósito sea mayor que la temperatura marcada de consigna, y en caso contrario, es decir, cuando la temperatura del depósito sea inferior se calentará con ayuda del sistema de apoyo.

Los costes de inversión, mantenimiento, así como el consumo de energía eléctrica auxiliar del control, de las bombas y de las válvulas reguladas, han de mantenerse dentro de unos límites razonables.

1.4 Método de cálculo. Software CHEQ4

A continuación, se procede a explicar el método de cálculo empleado en el presente proyecto. Dicho método nos permite comprobar el cumplimiento de la normativa vigente.

1.4.1 Procedimiento de cálculo

Como procedimiento de cálculo se ha optado por emplear dicha herramienta, la cual nos permite analizar el comportamiento energético del sistema para la producción de agua caliente sanitaria en el hotel.

Partiendo de una instalación de energía solar de referencia, podemos calcular la contribución solar mínima de ACS exigida en la sección HE4 del CTE siempre que las características de la instalación estén dentro del rango de aplicación.

1.4.2 Uso de la herramienta CHEQ4

Este software es una herramienta informática desarrollada por IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) y ASIT (Asociación Solar de la Industria Térmica) donde quieren ofrecer a todos los actores implicados en las labores de control y verificación del cumplimiento de la contribución solar mínima del diseño de instalaciones solares térmicas, así como a los propios diseñadores, una forma rápida y precisa de comprobar el dimensionado de dichas instalaciones.

Es una herramienta desarrollada por AIGUASOL, utilizando como motor la metodología de Metasol, combinada con la rapidez y simplicidad de métodos como f-Chart, y el programa de simulación dinámica como TRANSOL.

El software no es un programa de diseño de instalaciones solares térmicas, sino una herramienta de comprobación. Su correcta aplicación es suficiente para acreditar el cumplimiento, desde el punto de vista energético, de los requisitos establecidos en la sección HE4. Por tanto, recae sobre el propio usuario disponer de la última versión del programa y la base de datos actualizada.

El uso de esta herramienta es sencillo e intuitivo. A continuación, se hablará sobre las cinco entradas diferentes que tiene el programa, y a su vez, comentar los datos más relevantes de las mismas.

Localización

En esta pestaña hay que seleccionar la localización para la instalación (provincia y municipio). Automáticamente, el programa ya es capaz de mostrar la zona climática a la que pertenece éste, junto a los datos más relevantes de dicha zona.

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

Provincia: Municipio: Zona climática: Zona V Latitud: 37° 15'

Mapa provincia

Altura municipio seleccionado (m): 25

Altura de la instalación (m):

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	9,7	12,2	12,5
Febrero	13,1	12,2	13,1
Marzo	17,9	13,2	14,7
Abril	22,0	14,2	16,8
Mayo	25,2	16,2	19,5
Junio	28,5	18,2	22,5
Julio	29,1	20,2	25,6
Agosto	25,9	20,2	26,0
Septiembre	20,8	19,2	24,0
Octubre	14,5	17,2	20,3
Noviembre	10,5	14,2	15,7
Diciembre	8,2	12,2	12,8
Promedio	18,8	15,8	18,6

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

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

Figura 17 Pestaña localización de la instalación

Configuración

Esta pestaña permite al usuario seleccionar el tipo de instalación que más se ajuste al sistema que desea validar. Internamente, CHEQ4 seleccionará las curvas de Metasol correspondiente a la instalación elegida y cuáles son los parámetros que la definen. En esta pestaña encontraremos que existen 8 tipos de instalación diferenciadas en dos grupos: consumo múltiple o consumo único.

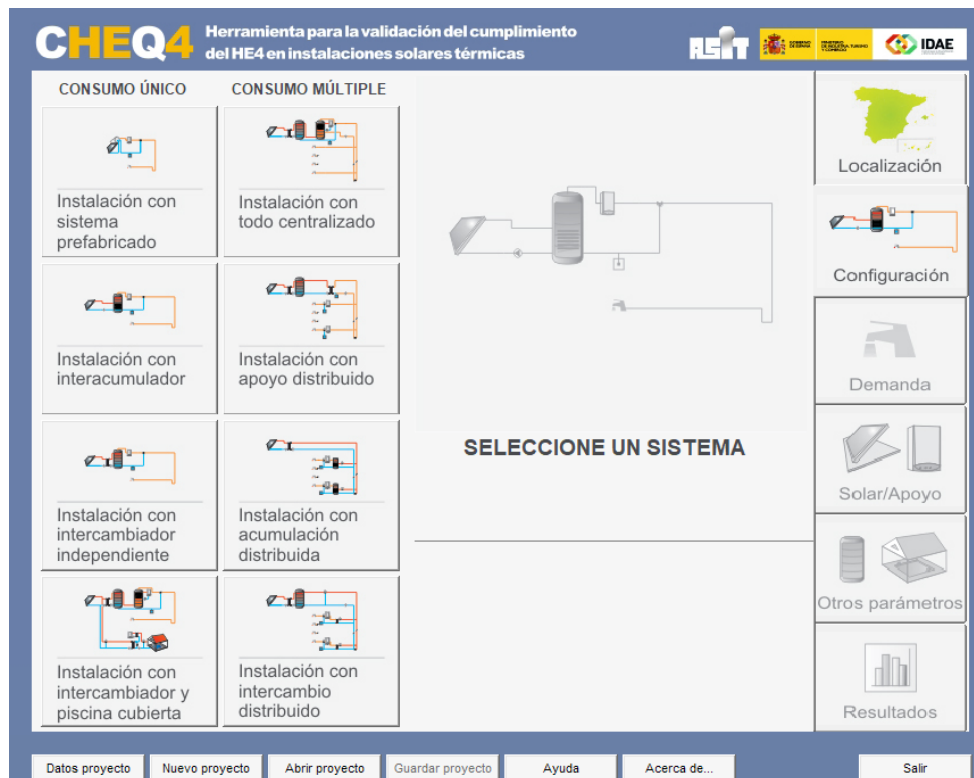


Figura 18 Pestaña "Configuración"

La clasificación de las diferentes configuraciones es:

Para consumo único:

- Instalación para consumo único con sistema prefabricado.
- Instalación para consumo único con interacumulador.
- Instalación para consumo único con intercambiador independiente.
- Instalación para consumo único con intercambiador y piscina cubierta.

Para consumo múltiple:

- Instalación para consumo múltiple con todo centralizado.
- Instalación para consumo múltiple con apoyo distribuido.
- Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida.
- Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido.

Demanda

En esta pestaña debemos especificar la demanda total de ACS del edificio en cuestión. Los parámetros necesarios variarán en función de si se trata de una instalación de consumo único o consumo múltiple. En dicha opción, se establece la aplicación que va a tener la instalación, y en función de ella, obtener la demanda de ACS (L/día a 60°C).

Además, en el apartado **"consumo total"** puede especificarse otro tipo de consumo diario que no se hayan podido incluir en ninguno de los apartados anteriores, como puede ser en nuestro caso el restaurante que hay en el interior del hotel, el cual tiene un consumo extra de ACS.

Por otro lado, existe la posibilidad de establecer una “**ocupación estacional**” donde es posible especificar el porcentaje de ocupación mensual de la instalación en estudio. Finalmente, en el apartado de “**contribución solar mínima exigida**” el programa ya es capaz de determinar automáticamente cuál ha de ser la contribución solar mínima exigida por el HE4.

Figura 19 Demanda para consumo único o múltiple

Solar/Apoyo

Figura 20 Solar/apoyo en CHEQ4.

En este apartado el usuario debe introducir todos los parámetros que son comunes a todos los tipos de configuraciones. Hay que seleccionar:

- La empresa y la marca/modelo del captador. CHEQ4 cuenta con una extensa base de datos donde aparecen la mayoría de los captadores que existen homologados hoy en día en el mercado.
- Características del campo de captadores (Número de captadores, captadores en serie, orientación, inclinación, y pérdidas por sombras)
- Características del circuito primario/secundario (caudal del primario, Longitud equivalente del circuito incluyendo la impulsión y el retorno, diámetro de tubería, etc.)
- Sistema de apoyo (Tipo) y el combustible a utilizar (gas natural, gasóleo, GLP)

Otros parámetros

Llegados a este punto, debemos especificar los parámetros característicos de cada configuración elegida. Estos pueden ser:

- Volumen de acumulación (L)
- La distribución donde se agrupan todas las tuberías situadas a partir de la sala de máquinas.
- Características de la piscina cubierta en el caso que existiera.

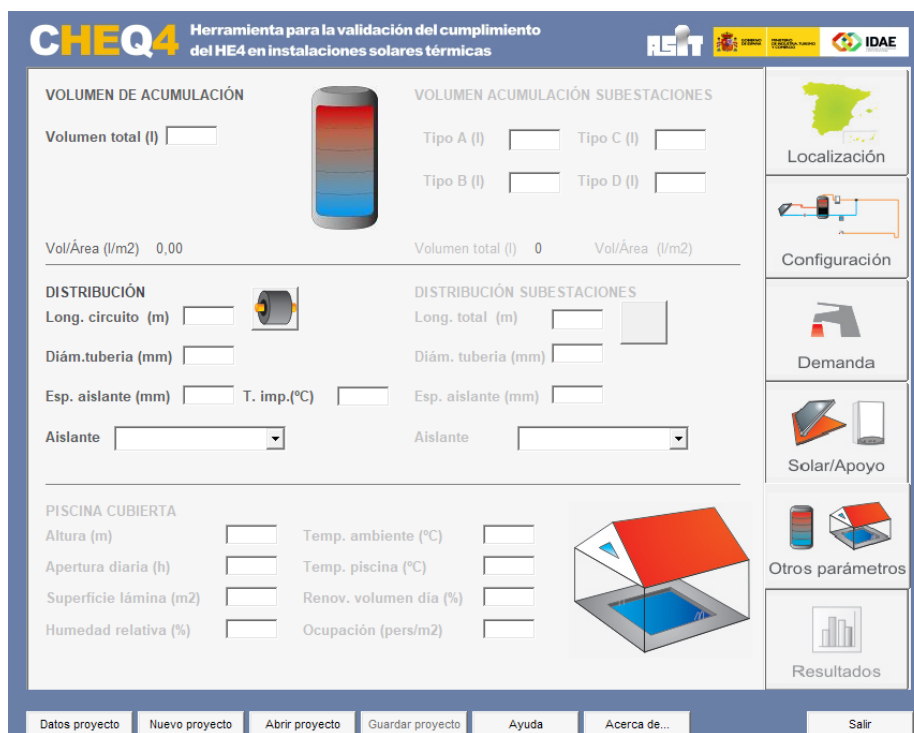


Figura 21 Pestaña "Otros parámetros" en CHEQ4

Resultados

La última pestaña del software corresponde al cálculo y representación de los resultados tras haber seguido la metodología de cálculo de Metasol.

Un indicador situado en la parte superior izquierda de la ventana permite al usuario comprobar si el sistema especificado cumple los requerimientos de contribución solar mínima exigida por el HE4 (según HE4-2.2.1.1 y HE4-2.2.1.2).

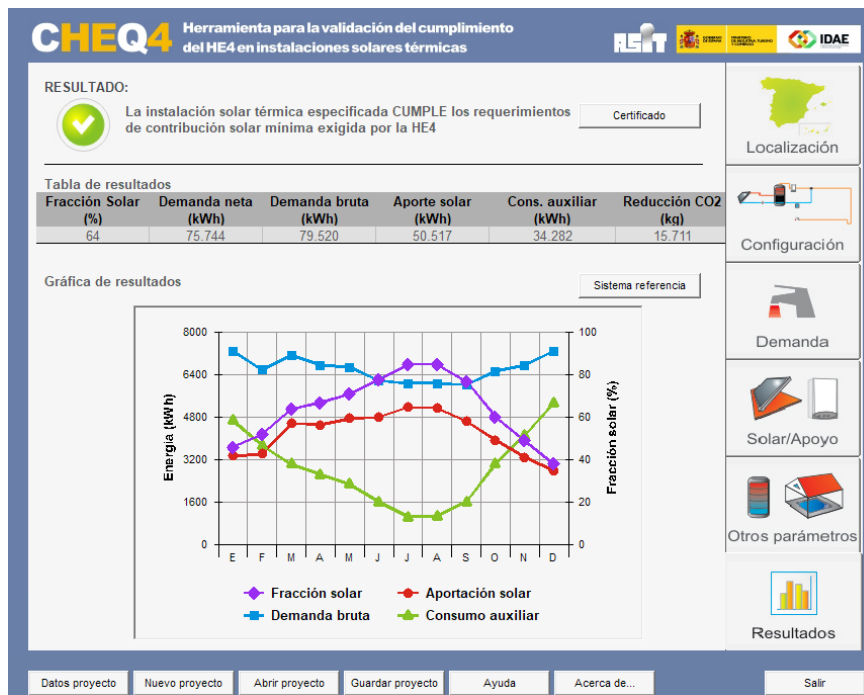


Figura 22 Tabla de resultados.

Además, se muestran los siguientes valores anuales:

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

1.5 Descripción del edificio

En este apartado se procede a describir el edificio en cuestión. Dicha edificación se trata del Hotel Ama Islantilla Resort, situado en Islantilla, provincia de Huelva, España.

Este hotel forma parte de un Complejo Dotacional denominado La Cigüeña@ y alberga la mayoría de los servicios comunes y actividades como restaurante, salas de actividades, conferencias, teatro, supermercado interno, atención médica, etc. El solar presenta fachada a viario público, en concreto al Paseo de las Cumbres, y a ramal con terminación en rotonda al que se accede desde el anteriormente citado Paseo de las Cumbres.

El edificio consta de un sótano 2 cuya aplicación es albergar 61 plazas de garajes, un sótano 1 y una planta baja (ésta cuenta con el acceso y entrada directa a través de la rotonda) cuyas

aplicaciones son dotacionales, y finalmente las plantas superiores a la de acceso principal, primera, segunda y tercera plantas enfocadas a alojamientos.

Por último, contamos con la cubierta donde van a ubicarse los captadores solares para la producción de ACS del hotel. El espacio disponible en la cubierta es suficiente para la distribución de captadores, circuitos hidráulicos y el resto de los elementos y accesorios necesarios. El **nivel de ocupación** se va a suponer del **100%** en todos los meses del año para el cálculo oportuno de la demanda de ACS.



Figura 23 Fotografía del hotel

1.5.1 Descripción de la instalación convencional

En este subapartado, se va a describir la parte más relevante de la actual instalación convencional para producir ACS.

El hotel cuenta con una sala de máquinas donde se encuentran tres calderas de gasóleo. Una de ellas, es la responsable de producir el ACS. Esta caldera es de la marca Buderus (BOSH), concretamente el modelo Logano GE315 cuyas aplicaciones principales son las instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria. Es una caldera de fundición de baja temperatura para quemadores presurizados a gasóleo.



Figura 24 Caldera de gasóleo. Marca Buderus. Modelo Logano GE135

Tabla 1 Ficha técnica de la caldera de gasóleo Buderus Logano GE315

Definición del equipo	
Referencia	CA.02
Marca / Modelo	BUDERUS / LOGANO GE 315 170
Tipo de Caldera	De fundición para quemador presurizado
Combustible	GASOLEO C
Prestaciones	
Potencia útil [KW]	141-170
Rendimiento (%)	95
Número de etapa	2
Presión circuito de agua [KPa]	2,20
Presión de servicio máx. [bar]	6
Temperatura mín. entrada Agua [°C]	No hay temperatura mínima
Temperatura máx. Salida Agua [°C]	110
Consumos	
Consumo eléctrico [V/W]	230 / 250
Consumo de gasóleo C [kg/s]	0,0641-0,0779
Características físicas	
Fondo [mm]	1445
Anchura [mm]	880
Altura [mm]	1195
Peso [kg]	719

Por otro lado, la instalación convencional cuenta con un depósito vertical acumulador donde se almacena el agua calentada cuya capacidad es de 3000L, galvanizado por inmersión en caliente, interior y exteriormente, para previsión de trabajo de 8 kg/cm², incorporando una boca de hombre para registro y limpieza, bridas para entrada y salida de agua, grifo de vaciado, purgador automático de aire y válvula de seguridad conducida a desagüe. El depósito de acumulación recibe agua calentada a una temperatura mínima de 60°C y la distribuirán a una temperatura no inferior a 50°C hasta el punto de consumo más alejado.

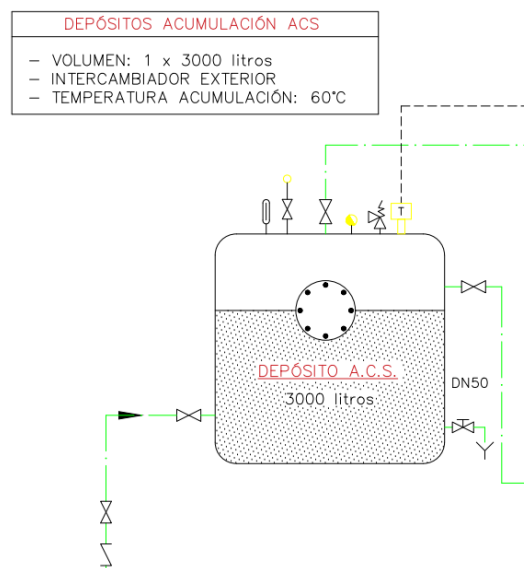


Figura 25 Esquema depósito acumulación ACS de la instalación convencional

1.6 Descripción de la instalación solar térmica del hotel

1.6.1 Principio de funcionamiento de la instalación

En los apartados posteriores se va a desarrollar la explicación de la instalación solar térmica situada en la cubierta del hotel, basándonos en el esquema de principio elaborado previamente con todos los detalles necesarios para una correcta interpretación de dicha instalación.

El principio de funcionamiento de la instalación del hotel se fundamenta en el de cualquier instalación de energía solar térmica, es decir, la conversión de energía radiante procedente del Sol en energía térmica la cuál es aprovechada posteriormente para generar ACS destinada al consumo humano. Este tipo de conversión es del tipo de baja temperatura puesto que el rango de temperaturas máximas que alcanza el fluido de trabajo se encuentra en torno a los 100°C.

El presente proyecto se centra en el diseño y dimensionamiento de los siguientes subsistemas, quedando fuera de estudio el subsistema de apoyo ya que éste se corresponde con la actual instalación convencional de ACS la cual está diseñada y dimensionada al completo. A continuación, se procede a la descripción completa de dichos subsistemas empleando como apoyo el **esquema de principio de la instalación solar** Figura 27.

Sistema de captación

El sistema de captación, el cual forma parte del circuito primario, está compuesto por un grupo de baterías de captadores, todos de la misma marca y modelo. Estas baterías están aisladas unas de otras por válvulas de corte a la entrada y salida de las mismas, permitiendo así las labores de mantenimiento correspondiente o la reparación de cualquier componente hidráulico de la batería sin necesidad de parar al completo el funcionamiento de la instalación.

Por otro lado, se instalarán purgadores manuales en la zona alta de las baterías de los captadores, con el objeto de eliminar con mayor facilidad las posibles bolsas de aire que se puedan acumular en el circuito. Cada purgador contará con una válvula de corte que permita realizar el correcto mantenimiento del purgador. Además, existirá una sonda de temperatura en una de las salidas de las baterías de captadores que será representativa de toda la zona de captación para su correcta regulación.

Sistema de expansión

El vaso de expansión del circuito primario se encontrará por debajo del nivel de los captadores solares con el objetivo de evitar daños en la membrana interna se vea afectada por las altas temperaturas que puede haber en el circuito, y evitando que le puedan llegar golpes de vapor hasta la membrana.

Equipo de bombeo

El equipo de bombeo del circuito primario está compuesto por dos bombas en paralelo. Una de ellas se empleará en caso de avería de la otra bomba o para labores de mantenimiento de ésta. Cada bomba está equipada con una válvula de corte tanto a la entrada como a la salida y, además, una válvula antirretorno en la descarga de cada bomba para evitar el efecto de flujo inverso.

El funcionamiento del equipo de bombeo del circuito primario se muestra con más detalle en: **Funcionamiento general del sistema de control.**

Sistema de llenado

En el sistema de llenado de la instalación se empleará una bomba que sea capaz de impulsar el fluido cuando sea necesario. Esta bomba viene acompañada de un filtro que elimine impurezas que pueda arrastrar el agua de red, válvulas de corte, y válvula antirretorno.

Sistema de acumulación

El circuito primario se distingue del secundario a partir del interacumulador solar de 3500 Litros que se ha decidido instalar en disposición vertical, en la sala de máquinas ubicada en la cubierta del edificio. El interacumulador está aislado térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectada en molde.

Tanto la entrada como la salida del serpentín por donde circula el fluido de trabajo del circuito primario irán provistos de válvulas de corte, al igual que la entrada y salida del agua de consumo. Además, contará con una sonda de temperatura en la parte inferior del interacumulador que permitirá controlar la temperatura del agua de consumo almacenada. Si la diferencia de temperatura entre la salida de la batería de captadores representativa y la parte inferior del interacumulador es superior a cierto valor, el equipo de bombeo del circuito primario estará en funcionamiento.

Por otro lado, hay que señalar que el aumento de temperatura en el interacumulador solar puede crear una sobrepresión en el mismo que, cuando los puntos de consumo del hotel estén cerrados, tiende a evacuarse por la tubería de alimentación de agua fría lo que puede generar un flujo inverso en la tubería. Por dicho motivo, se coloca una válvula antirretorno en la misma.

Sistema de apoyo o auxiliar

El sistema de apoyo de esta instalación está compuesto principalmente por una caldera de gasóleo, y un interacumulador.

La finalidad de este sistema es aportar la energía necesaria para elevar la temperatura del agua procedente de la acumulación solar hasta la temperatura de consigna en el caso de que la instalación solar no sea capaz de cubrir la demanda en un instante de tiempo concreto (por ejemplo, períodos prolongados con condiciones meteorológicas desfavorables).

Sistema de regulación y control

Es una de las partes más importantes de la instalación ya que te permite el correcto funcionamiento de la instalación de forma óptima y teniendo en cuenta en todo momento una protección total.

El control de funcionamiento normal de las bombas del circuito primario será de tipo diferencial, actuando en función de la diferencia de temperatura entre la temperatura del fluido caloportador a la salida de las baterías de captadores (*sonda temperatura 1, S1*) y la salida del interacumulador solar (*sonda temperatura 2, S2*). Observar el esquema de principio para localizar dichas sondas anteriormente comentadas.

Funcionamiento general del sistema de control

La sonda de temperatura 1 (**S1**) se encontrará justo en la parte superior de los captadores para poder controlar y representar la máxima temperatura de dicho circuito. La sonda de temperatura 2 (**S2**) se colocará en la parte inferior del interacumulador solar.

El termostato calcula la diferencia de temperatura entre (S1) y (S2). Por tanto, si:

- La diferencia de temperaturas $T1 - T2 \geq 7^{\circ}\text{C}$ el relé 1 activa la bomba del circuito primario lo cual permite calentar el agua del depósito.
- La diferencia de temperaturas $T1 - T2 \leq 2^{\circ}\text{C}$ la bomba del circuito primario permanece parada ya que no es necesario calentar, en principio, más el agua acumulada en el depósito.

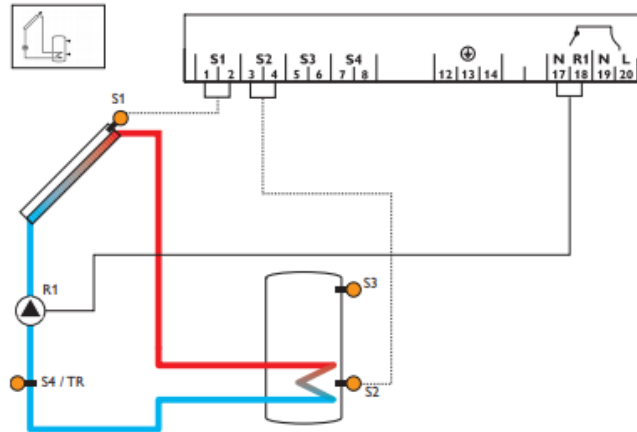


Figura 26 Esquema de funcionamiento de la centralita Omega Alpha de Chromagen.

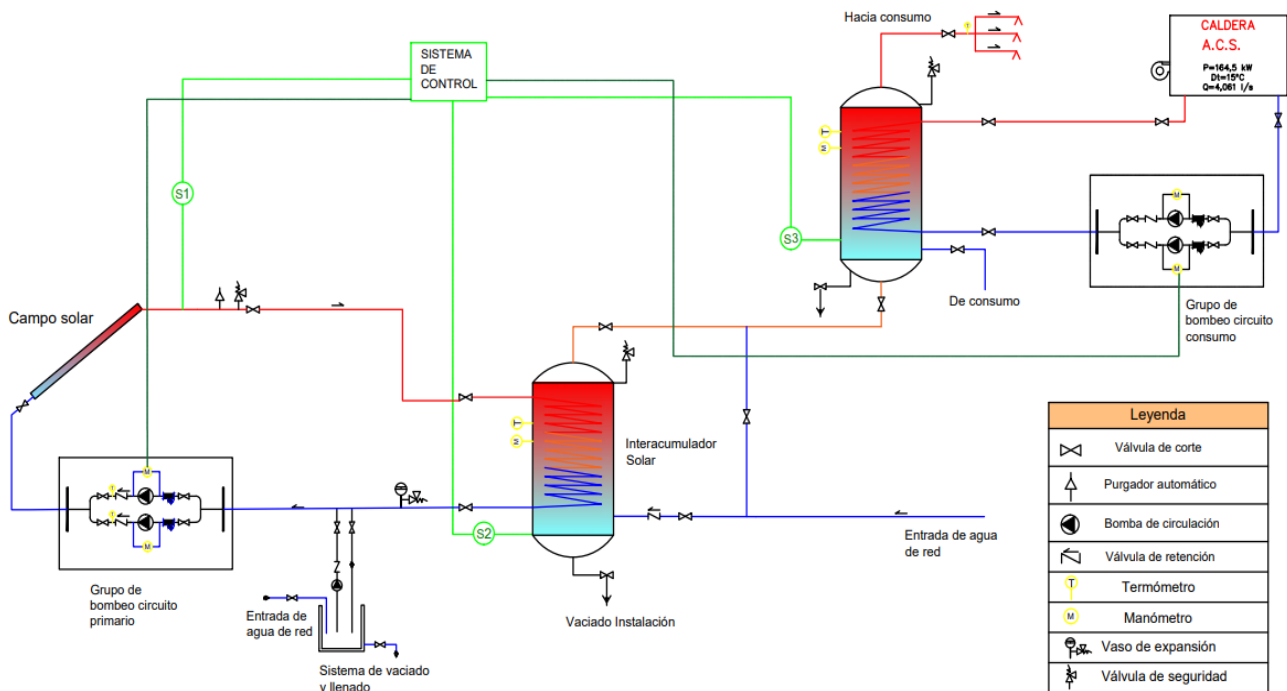


Figura 27 Esquema de principio de la instalación

1.7 Características técnicas de los elementos de la instalación solar del hotel

En este apartado del presente proyecto se van a indicar los elementos seleccionados para el correcto funcionamiento de la instalación solar del hotel.

1.7.1 Modelo de los captadores solares planos

Se ha seleccionado el captador solar selectivo-Serie QR-E, y cuyo fabricante es CHROMAGEN. Se instalarán un total de 30 captadores en la cubierta del hotel. En las siguientes ilustraciones se pueden observar las características técnicas y especificaciones más relevantes.

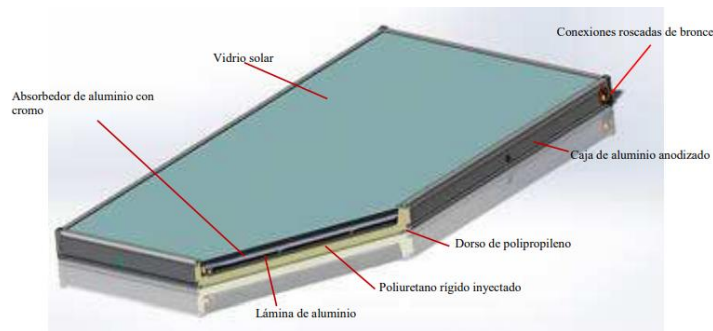


Figura 28 Captador solar plano modelo QR-E. (Fuente: CHROMAGEN)

Tabla 2 Dimensiones, características y calidades del modelo QR-E (Fuente: CHROMAGEN)

Dimensiones y Pesos

Largo Total	2.190 mm	Peso en vacío	35 Kg
Ancho Total	1.090 mm	Capacidad del fluido	1,3 l
Fondo	90 mm	Fluido caloportador	agua ó agua glicolada
Área Total	2,37 m ²	T° de estancamiento	165 °C
Área de Apertura	2,17 m ²	Flexión máxima del captador	1.000 Pa
Área del Absorbedor	2,14 m ²		

Presiones de prueba y caudal recomendado

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

Calidades de fabricación

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

A continuación, se muestra el ajuste de la curva de eficiencia cuadrática para los datos medidos en el ensayo del captador respecto al área de apertura de éste y la temperatura media del fluido a la entrada del captador (T_m).

El rendimiento de captación de la instalación va a depender del captador solar (Factor óptico, factor de pérdidas), de las condiciones ambientales (temperatura ambiente y radiación solar global incidente) y de las condiciones de operación en las que actúa el captador (temperatura del fluido a la entrada).

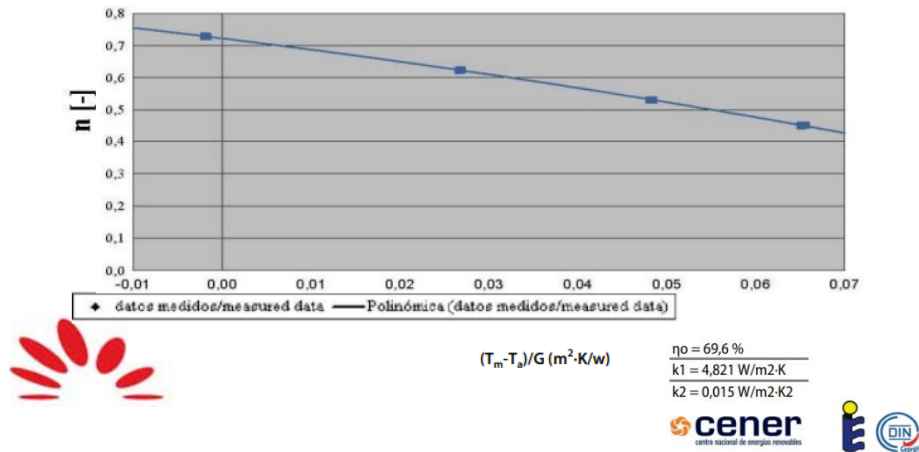


Figura 29 Rendimiento del captador solar QR-E (Fuente: CHROMAGEN)

1.7.2 Estructura soporte del captador solar

Los captadores se instalan sobre una estructura anclaje la cual permite adoptar una inclinación óptima. El fabricante define en este caso las características y detalles constructivos de la estructura siguiendo la normativa aplicable (CTE) para resistir todas las posibles acciones establecidas: pesos propios, sobrecarga de uso, viento, nieve, etc.

El montaje de las baterías de 5 captadores se hará mediante empalmes de perfiles portadores. Dichos empalmes lo forman 2 regletas largas, junto con la tornillería correspondiente. Los perfiles son de una aleación de aluminio y la tornillería es de acero inoxidable. Las baterías de 5 captadores estarán compuestas, por recomendación del fabricante, por:

- 1 kit de 2 captadores
- 1 kit de 3 captadores
- Empalmes

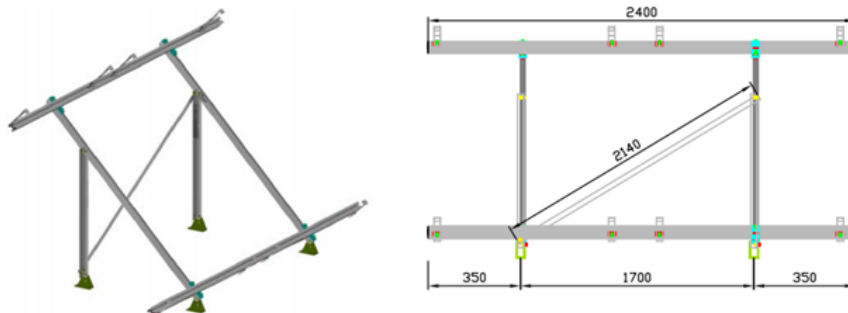


Figura 30 Estructura y dimensiones del KIT 2 captadores térmicos (Fuente: CHROMAGEN)

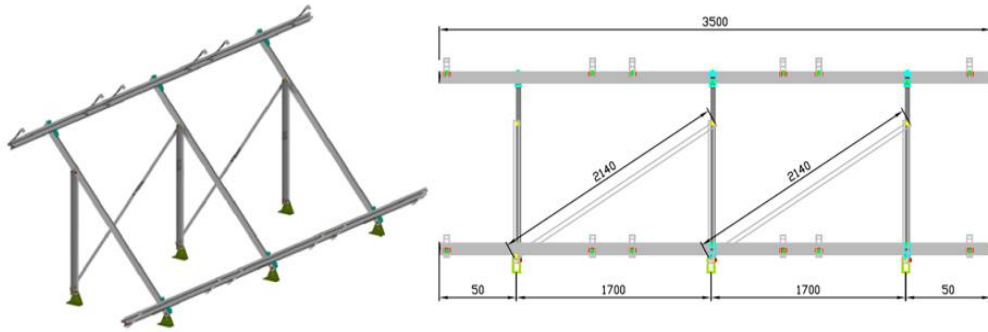


Figura 31 Estructura y dimensiones del KIT 3 captadores térmicos (Fuente: CHROMAGEN)

1.7.3 Interacumulador

Se ha seleccionado el modelo MXV3500-SSB del fabricante LAPESA, cuya capacidad es de 3500 litros y permite la producción y acumulación de ACS. Cuenta con un recubrimiento interior de acero inoxidable, decapado químicamente y pasivado después de ensamblar. El sistema de serpentines con el que cuenta es desmontable, fabricado en acero inoxidable también, y actúa como sistema de producción de ACS a través de la conexión con el circuito primario.

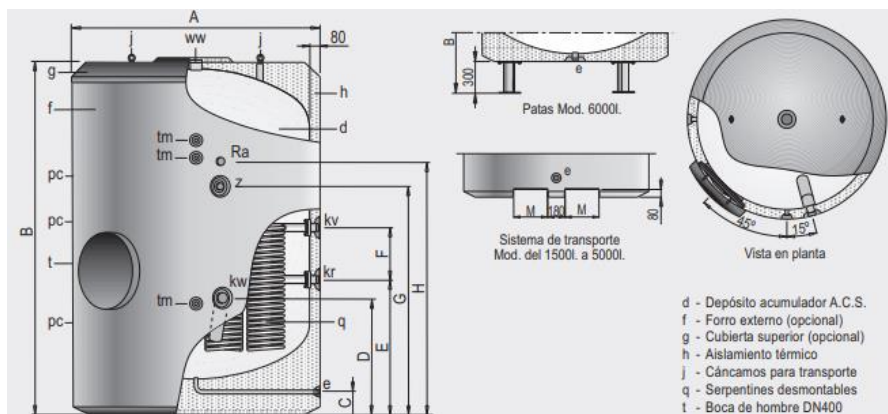


Figura 32 Interacumulador solar modelo MXV 3500 – SSB

Tabla 3 Características técnicas, dimensiones y conexiones del modelo MXV3500-SSB

Características técnicas MXV3500-SSB	
Capacidad de ACS	3500 L
Temperatura máx. depósito de ACS	90°C
Presión máxima de depósito de ACS	8 bar
Temperatura máxima circuito de calentamiento	120°C
Presión máxima circuito de calentamiento	25°C
Número de serpentines SSB	5 unidades
Capacidad de los serpentines SSB	48 L
Superficie de intercambio SSB	8,4 m ²
Peso en vacío aproximado SSB	590kg

Dimensiones	
Cota A: diámetro exterior	1660 mm
Cota B: longitud total	2580 mm
Cota C	175 mm
Cota D	815 mm
Cota E	1015 mm
Cota F	400 mm
Cota G	1545 mm
Cota H	1735 mm
Conexiones	
kw: entrada de agua fría	3
e: desagüe	1
ww: salida de agua caliente	3
z: recirculación	2
kv: avance caldera	2
kr: retorno caldera	2
Ra: conexión resistencia de apoyo	2
tm: conexión sensores laterales	1/2
pc: conexión protección catódica	¾
Número conexiones protección catódica	4

1.7.4 Bomba del circuito primario

Para el circuito primario se ha seleccionado la bomba de la marca Wilo modelo HELIX V205-1. Las características más relevantes son:

Tabla 4 Características de la bomba Wilo HELIX V205-1

Datos de funcionamiento	
Presión de trabajo máxima	16 bar
Líquido bombeado	Agua
Temperatura del fluido	60°C
Rango de temperaturas del fluido	[-30,120] °C
Temperatura máxima ambiente	50 °C
Datos del motor	
Alimentación eléctrica	3~400 V,50 Hz
Potencia nominal del motor	0,55 kW
Intensidad nominal	1,32 A
Velocidad nominal	2.900 rpm
Material	Acero inoxidable

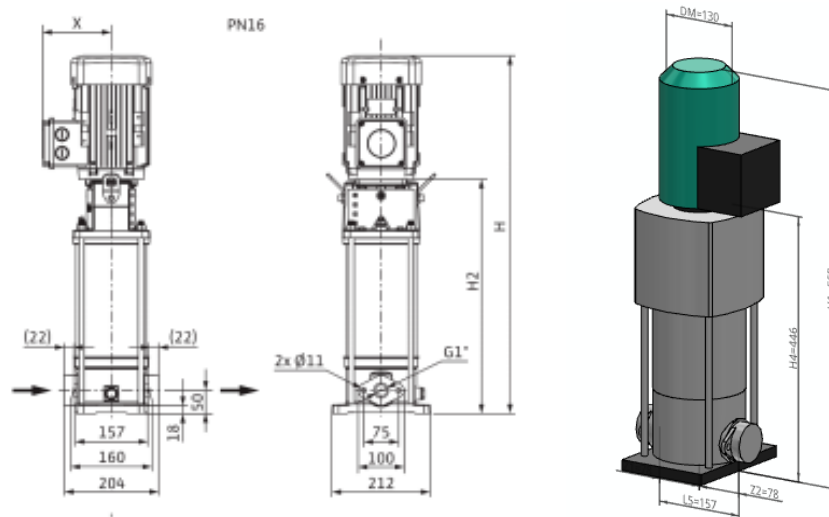


Figura 33 Dimensiones bomba Wilo HELIX V205-1

1.7.5 Sistema de regulación y control

El sistema cuenta con una pantalla de visualización del sistema, 4 sondas de temperatura Pt1000, balance térmico, VBus, control de funcionamiento, control del sistema mediante el Service Center Software, y la caja es fácil de montar y con diseño sencillo.

Las características principales de la centralita son:

- Entradas: 4 sondas de temperatura Pt1000
- Salidas: 1 relé semiconductor
- Potencia absorbida en espera: < 2 W
- Alimentación: 220-240 V (entre 50 y 60 Hz)
- Tipo de conexión: Estrella
- Consumo en modo espera: Inferior a 1 W
- Carcasa: de plástico, PC-ABS y PMMA.
- Montaje: en la pared o cuadro de conexiones
- Temperatura ambiente: 0-40 °C
- Índice de contaminación: 2
- Dimensiones: 172x111x49 mm
- Funciones:
 - Termostato diferencial con funciones opcionales activables incluso después de la puesta en marcha del sistema; control de funcionamiento, contador de horas de funcionamiento de la bomba del circuito primario, captador de tubos de vacío, balance térmico.



Figura 34 Centralita Omega Alpha de Chromagen y sus dimensiones

1.7.6 Accesorios

1. Válvulas

- **Válvula de corte**
- **Válvula de retención**
- **Válvula de seguridad**

Dichos accesorios se han seleccionado a partir de la empresa proveedora PROINCO. A continuación, puede observarse en la figura cada uno de los tipos de válvulas que se van a utilizar en las diferentes partes de la instalación. Las 3 válvulas presentan un tamaño de 1" o 1 ¼" y son capaces de soportar la temperatura y presión de trabajo de nuestra instalación.



Figura 35 Válvula de Corte (Izquierda); Válvula de Retención (Centro); Válvula de seguridad (Derecha)

2. Purgadores

El purgador de aire seleccionado es el modelo FLEXVENT del fabricante BAXI. Estos purgadores automáticos garantizan la expulsión del aire acumulado en los puntos altos de la instalación (zona superior de la batería de captadores), mediante el mecanismo de flotador y válvula.

Recoge los datos climáticos para el dimensionado de instalaciones térmicas. Se ha utilizado para los cálculos de temperaturas y radiaciones en el municipio de Lepe.

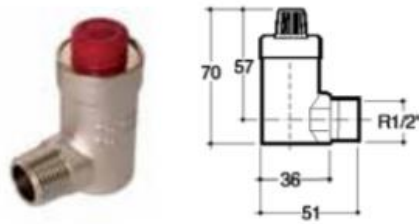


Figura 36 Purgador de Aire FLEXVENT de BAXI

1.8 Normativa

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

1.8.1 Código técnico de la edificación (CTE) HE-4

- Contribución renovable mínima para ACS y/o climatización de piscina

La contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables debe cubrir al menos el 70% de la demanda energética anual para ACS, sin embargo, esta contribución mínima podrá reducirse al 60% cuando nuestra demanda de ACS sea inferior a 5.000 litros/día, como ocurre en nuestro caso. Por tanto, tendremos que cubrir el 60% de la demanda energética anual de nuestro hotel a partir de la instalación solar térmica de captadores solares.

- Sustitución de la contribución renovable mínima para ACS

La contribución renovable mínima para ACS podrá sustituirse parcial o totalmente por energía residual procedente equipos de refrigeración, de deshumectadoras y del calor residual de combustión del motor de bombas de calor accionadas térmicamente, siempre y cuando el aprovechamiento de esta energía residual sea efectiva y útil para el ACS.

1.8.2 Normas UNE

- UNE 100155

Empleada para el dimensionamiento del vaso de expansión. Establece los criterios para el diseño y cálculo de un sistema de expansión de agua en un circuito cerrado, y es de aplicación para los circuitos cerrados de agua caliente, sobrecalentada y refrigerada y soluciones acuosas de los sistemas de climatización.

- UNE 94002

Describe el cálculo de la demanda de energía térmica para instalaciones solares térmicas para producción de ACS tabulando los valores a emplear de consumo de agua caliente, temperatura de referencia y temperatura de agua fría en cada provincia.

- UNE 94003

1.8.3 Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE)

- IT 1.1.4.3 Exigencia de higiene

- IT 1.1.4.3.1 Preparación de agua caliente para usos sanitarios

1. En la preparación de agua caliente para usos sanitarios se cumplirá con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la legionelosis.

2. En los casos no regulados por la legislación vigente, el agua caliente sanitaria se preparará a una temperatura que resulte compatible con su uso, considerando las pérdidas en la red de tuberías.

3. Los sistemas, equipos y componentes de la instalación térmica, que de acuerdo con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la legionelosis deban ser sometidos a tratamientos de choque térmico se diseñarán para poder efectuar y soportar los mismos.

4. Los materiales empleados en el circuito resistirán la acción agresiva del agua sometida a tratamiento de choque químico.

5. No se permite la preparación de agua caliente para usos sanitarios mediante la mezcla directa de agua fría con condensado o vapor procedente de calderas.

▪ IT 1.2.4.1 Generación de calor y frío.

- IT 1.2.4.1.2.4: Preparación de agua caliente para usos sanitarios

Para el dimensionamiento de las instalaciones de agua caliente sanitaria, se tendrá en cuenta lo establecido en:

- a) La sección HE4, así como cualquier otra sección o anejo del Documento Básico HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación donde se regule la demanda de agua caliente sanitaria.
- b) La sección HS4 Suministro de Agua del Código Técnico de la Edificación.
- c) La norma UNE-EN 12831-3.2.

Los calentadores y depósitos de agua caliente sanitaria cumplirán con los límites de eficiencia energética en % y de pérdidas máximas de los depósitos en kWh/año, establecidas en el reglamento de diseño ecológico aplicable o la normativa que lo sustituya.

En el caso de incorporación de sistemas de generación auxiliar convencional a los depósitos de acumulación de la instalación renovable, estos no deben suponer una disminución del aprovechamiento de los recursos renovables, hecho que deberá quedar justificado en el proyecto o memoria técnica en su caso según el apartado f) de la IT 1.2.3.

▪ IT 1.2.4.2 Redes de tuberías y conductos.

- IT 1.2.4.2.1: Aislamiento térmico de redes de tuberías.

Para el cálculo del espesor mínimo de aislamiento se podrá optar por el procedimiento simplificado o por el alternativo. Para instalaciones de más de 70 kW debe utilizarse el método alternativo. En ningún caso el espesor mínimo debe ser menor al especificado en las tablas de la IT 1.2.4.2.1.2.

Los espesores mínimos de aislamiento de las redes de tuberías que tengan un funcionamiento continuo, como redes de agua caliente sanitaria, deben ser los indicados en las tablas anteriores aumentados en 5 mm, tal y como se refleja en la tabla inferior.

Tabla 5 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan ACS que discurren por el interior y el exterior de los edificios

Diámetro exterior (mm)	Aislamiento de tuberías para ACS	
	Interior	Exterior
$D \leq 35$	30	40
$35 < D \leq 60$	35	45
$60 < D \leq 90$	35	45
$90 < D \leq 140$	45	55
$140 < D$	45	55»

- IT 1.2.4.3.4: Control de instalaciones centralizadas de preparación de agua caliente sanitaria
 - a) Control de la temperatura de acumulación.
 - b) Control de la temperatura del agua de la red de tuberías en el punto hidráulicamente más lejano del acumulador.
 - c) Control para efectuar el tratamiento de choque térmico.
 - d) Control de funcionamiento de tipo diferencial en la circulación forzada del primario, y, en su caso, secundario, de las instalaciones de energía solar térmica. Adicionalmente al control diferencial se podrán emplear sistemas de control accionados en función de la radiación solar, u otros sistemas similares que no reduzcan las posibilidades de aprovechamiento de la energía solar
 - e) Control de seguridad para los usuarios.

- IT 1.2.6.1: Contribución de calor renovable o residual para la producción térmica del edificio. Estos sistemas deberán ser diseñados para alcanzar los objetivos de energía primaria y emisiones de CO₂ que están establecidos en el CTE.

- IT 1.3: Exigencia de seguridad

- IT 1.3.4.2.4 Expansión

Los circuitos cerrados de agua o soluciones acuosas estarán equipados con un dispositivo de expansión de tipo cerrado, que permita absorber, sin dar lugar a esfuerzos mecánicos, el volumen de dilatación del fluido. El apartado de la Memoria de Cálculo 2.5.3 Selección del vaso de expansión seguirá los criterios indicados en la norma UNE 100155.

- IT 1.3.4.4.3 Accesibilidad

Para favorecer la limpieza, mantenimiento y reparación de los equipos y aparatos, se deberán de situar en espacios que faciliten su acceso. Los elementos de medida, control, protección y maniobra se deben instalar en lugares visibles y fácilmente accesibles. Para aquellos equipos o

aparatos que deban quedar ocultos se preverá un acceso fácil. La situación exacta de estos elementos de acceso y de los mismos aparatos deberá quedar reflejada en los planos finales de la instalación.

- IT 1.3.4.4.4 Señalización

Se dispondrá un plano con el esquema de principio de la instalación que deberá estar situado en la sala de máquinas, enmarcado en un cuadro de protección. Todas las instrucciones de seguridad, de manejo y maniobra y de funcionamiento, según el «Manual de Uso y Mantenimiento», deben estar situadas en lugar visible, en sala de máquinas y locales técnicos.

- IT 1.3.4.4.5 Medición

Todas las instalaciones térmicas deben disponer de la instrumentación de medida suficiente para la supervisión de todas las magnitudes y valores de los parámetros que intervienen de forma fundamental en el funcionamiento de los mismos. Para favorecer su lectura y mantenimiento, los aparatos de medida se situarán en lugares visibles y fácilmente accesibles. La lectura debe de efectuarse sin esfuerzo. Antes y después de cada proceso que lleve implícita la variación de una magnitud física debe haber la posibilidad de efectuar su medición, situando instrumentos permanentes, de lectura continua, o mediante instrumentos portátiles.

▪ IT 2.3: Ajuste y equilibrado

- IT 2.3.3 Sistemas de distribución de agua

La empresa instaladora será la encargada de realizar y documenta los procedimientos tanto de ajuste como los de equilibrado de los sistemas de distribución de agua.

- IT 2.3.4 Control automático

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

1.9 Bibliografía

- [1] Acciona. Obtenido de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/>
- [2] Apuntes de Energía Solar. Departamento de Ingeniería Energética.
- [3] Gnali Bocia Mondial GB. Obtenido de <https://www.gnalibocia.es/blog-es/El-funcionamiento-de-las-v%C3%A1lvulas-de-corte-66.html>
- [4] IDAE. (2009). Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. Madrid.
- [5] IDAE. (2017). Impacto de la Energía Solar Térmica en la Calificación Energética de Edificios. Madrid.
- [6] IDAE, & ASIT. (2020). Guía Técnica de la Energía Solar Térmica. Obtenido de <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-de-energia-solar-termica>

- [7] IDEPA. (2021). Mercado CE. IDEPA. Obtenido de <https://www.idepa.es/innovacion/enterprise-europe-network-asturias/asesoramiento/marcado-ce/el-marcado-ce-por-productos>
- [8] Martín, G. (s.f.). caloryfrio.com. Obtenido de <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/agua-caliente/acumuladores-agua-dimensionamiento-eficiencia-instalaciones-ac.html>
- [9] Martínez, J. C., Yáñez, C., Escobar, R., Encina, S., & Jiménez, P. (2010). Sistemas Solares Térmicos II. Guía de Diseño e Instalación para grandes Sistemas de Agua Caliente Sanitaria. MINERGA.
- [10] Planas, O. solar-energia.net. Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/bajatemperatura#:~:text=Los%20sistemas%20de%20energ%C3%ADa%20solar,a%20mayor%20temperatura%20de%2065%C2%BAC.>
- [11] Portillo, G. (2021). Renovables verdes. Obtenido de <https://www.renovablesverdes.com/energia-solar-termica/>
- [12] SAINCAL. Vaso de expansion, Saincal. Obtenido de <https://www.saincal.com/>
- [13] (2010). Sistema de energía solar térmica para calentamiento de agua para ACS y procesos y climatización, con apoyo de bomba de calor aire-agua.
- [14](Toro, 2020)

Normativa

- [15] Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE)
- [16] Código Técnico de la Edificación Documento Básico de Ahorro de Energía (CTE DB-HE)
- [17] AEONOR Norma UNE 100-155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” 2004.

Catálogos comerciales

- [18] Lapesa. Depósitos de gran capacidad para producción y acumulación de agua caliente sanitaria
- [19] Chromagen. Chromagen Solar Water Solutions Captador Solar QR-E. Manual Técnico de Instalación, Uso y Mantenimiento. 2021.
- [20] Termicol. Catálogo Termicol 2020. Disponible en: <https://termicol.es/>

2 MEMORIA DE CÁLCULO

2.1 Datos de partida

En este apartado se detallarán todos los cálculos realizados para justificar el diseño y cálculo de la instalación solar térmica para producir ACS en el hotel ubicado en la Avenida de las Cumbres, municipio de Lepe, Huelva. Se ha seguido en todo momento las directrices marcadas por la normativa correspondiente.

2.1.1 Parámetros generales del hotel

Tabla 6. Parámetros generales del hotel

Provincia	Huelva
Localidad	Lepe
Ubicación	Paseo de las Cumbres
Altura sobre el nivel del mar	25 metros
Latitud	37 °
Longitud	7° 12'
Orientación	Noroeste
Zona Climática	Zona V
Ocupación del hotel	84 personas

2.1.2 Parámetros climáticos

Unos de los parámetros fundamentales que influyen en las prestaciones de la instalación son los parámetros climáticos, los cuales determinan la oferta de energía disponible.

Los datos de la Tabla 7 han sido obtenidos según el programa CHEQ4 y ajustados según la altura donde se van a instalar los captadores: irradiación global media mensual sobre la horizontal (según Atlas de Radiación Solar en España de AEMET), temperatura media mensual de agua de red (según UNE 94002) y temperatura ambiente media mensual (según UNE 94003).

Tabla 7. Parámetros ambientales y climatológicos de Lepe, Huelva. (Fuente: CHEQ4)

Meses	Radiación [MJ/m ²]	Temperatura de red [° C]	Temperatura ambiente [° C]
Enero	9,7	12,2	12,5
Febrero	13,1	12,2	13,1
Marzo	17,9	13,2	14,7
Abril	22,0	14,2	16,8
Mayo	25,2	16,2	19,5
Junio	28,5	18,2	22,5
Julio	29,1	20,2	25,6
Agosto	25,9	20,2	26,0
Septiembre	20,8	19,2	24,0
Octubre	14,5	17,2	20,3
Noviembre	10,5	14,2	15,7
Diciembre	8,2	12,2	12,8
Promedio	18,8	15,8	18,6

2.2 Cálculo de la demanda

2.2.1 Cálculo de la demanda de ACS

En este subapartado, se calcula el consumo diario total de agua caliente sanitaria según el Documento Básico Ahorro de energía Sección 4 del Código Técnico de la Edificación. En la Tabla 8 , encontramos los valores tabulados por el CTE en función de la aplicación final del ACS y contando con una temperatura de referencia de ACS de 60°C.

Tabla 8. Demanda de ACS para usos distintos del residencial privado.

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

Para dicho cálculo se tiene en cuenta el consumo diario total del hotel más el consumo diario total del restaurante ubicado en el interior de este:

- **Hotel:** Según el Código Técnico de la Edificación sección HE4, para un hotel *** le corresponde un consumo de 41 Litros/día*persona a una temperatura de referencia de 60 °C. La demanda se calcula desde el punto de vista de máximo consumo posible por lo que suponemos que cada habitación contará con dos personas. La ocupación máxima del hotel es de 84 personas.

$$D_{ACS}^{HOTEL} = 41 \frac{\text{Litros}}{\text{día} * \text{persona}} * 84 \text{ personas} = 3.444 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

- **Restaurante:** Al consumo del hotel hay que incorporarle la demanda adicional que conlleva el restaurante situado en el interior del edificio, el cual cuenta con un aforo máximo de 69 personas.

$$D_{ACS}^{RESTAURANTE} = 8 \frac{\text{Litros}}{\text{día} * \text{persona}} * 69 \text{ personas} = 552 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

- **Demanda diaria total de ACS**

$$D_{ACS} = D_{ACS}^{HOTEL} + D_{ACS}^{RESTAURANTE} = 3996 \text{ L/día}$$

2.2.2 Cálculo de la demanda energética

En este apartado calcularemos la demanda energética mensual, es decir, la energía necesaria para calentar el caudal de agua diario desde la temperatura del agua de red hasta los 60°C.

En la *Tabla 9* se muestran las demandas energéticas mensuales anteriormente comentadas. Éstas han sido calculadas empleando la siguiente fórmula:

$$L_{ACS} = D_{ACS} * \rho_{\text{agua}} * C_p * (T_{ac} - T_{RED}) * \Delta t$$

Donde:

- L_{ACS} demanda de energía (MJ/mes)
- D_{ACS} consumo unitario diario medio según HE4 del CTE (litros/día)
- ρ_{agua} densidad del agua, siendo ésta 1 kg/litro
- C_p calor específico del agua, siendo éste 4190 J/(kg·°C)
- T_{ac} temperatura de referencia del ACS, siendo ésta 60°C según el CTE HE4.
- T_{RED} temperatura del agua de red, indicada en Tabla 7 según la UNE 94002:2005, °C
- Δt número de días correspondientes a ese mes

Tabla 9. Demanda energética mensual del hotel.

Meses	Temperatura de red [°C]	Demanda mensual [MJ/mes]
Enero	12,2	25108,15
Febrero	12,2	22678,33
Marzo	13,2	24582,88
Abril	14,2	23281,55
Mayo	16,2	23007,05
Junio	18,2	21248,23
Julio	20,2	20905,95
Agosto	20,2	20905,95
Septiembre	19,2	20739,90
Octubre	17,2	22481,78
Noviembre	14,2	23281,55
Diciembre	12,2	25108,15
Total anual		273329,47 [MJ/año]

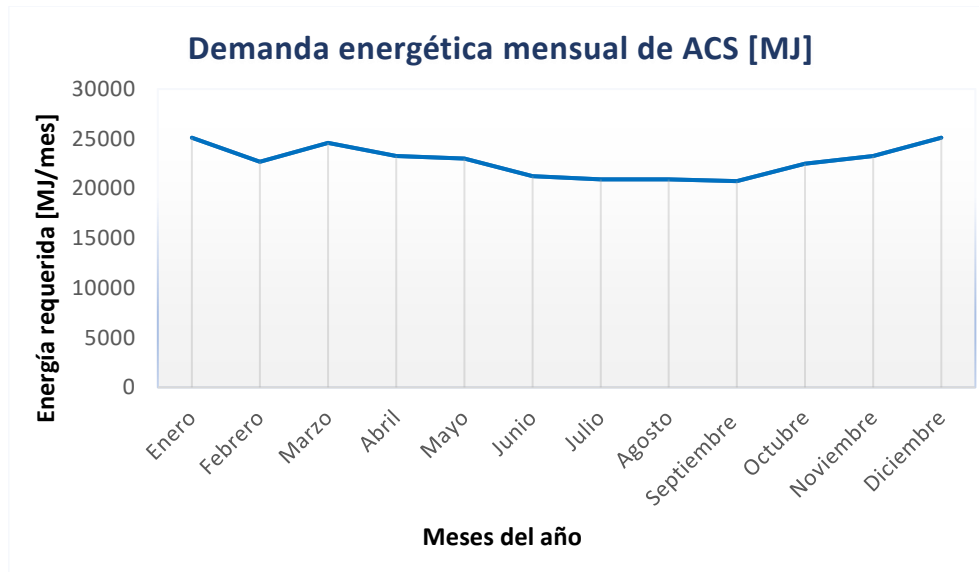


Figura 37 Demanda energética mensual

Finalmente, la demanda energética total anual se puede obtener mediante la suma de todas las demandas energéticas mensuales del hotel necesarias para la producción de ACS. Esta demanda anual es aproximadamente de 273.330 [MJ/año].

A continuación, se procede a calcular el indicador que muestra la eficacia de la instalación, siendo este parámetro el porcentaje de demanda anual cubierta o la fracción solar.

2.2.3 Porcentaje de demanda anual cubierta (contribución solar)

El porcentaje de demanda cubierta (f) de una instalación solar térmica es el parámetro fundamental puesto que me permite validar el cumplimiento de la contribución solar mínima exigida por el HE4 CTE. Dicha fracción solar puede definirse como la cantidad de energía solar obtenida dividida por el total de la energía requerida:

$$f (\%) = \frac{Q_{SOLAR}}{Q_{ACS} + P_{t\acute{e}rmicas}} * 100$$

Donde:

- Q_{SOLAR} : Potencia térmica anual captada (Aporte solar)
- Q_{ACS} : Potencia anual consumida por la instalación de ACS (Demanda)
- $P_{t\acute{e}rmicas}$: Pérdidas térmicas anuales por distribución, acumulación y recirculación.
Siendo $P_{t\acute{e}rmicas} \ll Q_{SOLAR}$

La contribución mínima de energía procedente de fuentes cubrirá al menos el 70% de la demanda energética anual para ACS, sin embargo, esta contribución mínima podrá reducirse al 60% cuando nuestra demanda de ACS sea inferior a 5.000 litros/día, como ocurre en nuestro caso puesto que nuestro consumo es de 4.044 litros/día. Por tanto, tendremos que **cubrir el 60% de la demanda energética anual** de nuestro hotel a partir de la instalación solar térmica de captadores solares.

2.2.4 Instalación solar

Para el cálculo de la fracción de demanda cubierta (f) de mi instalación solar térmica he empleado la herramienta CHEQ4, para poder validar la contribución solar mínima.

Acumulación

La instalación del Hotel *** para producción de ACS es de consumo único con acumulador solar, intercambiador interno (interacumulador) y válvula termostática.



Figura 38 Configuración de la instalación

Demanda energética del sistema

Al ser la instalación de consumo único, se debe especificar la aplicación y el número de personas que pueden encontrarse en el hotel. Dicho procedimiento de cálculo ha sido elaborado en el apartado 2.2.2 según la normativa vigente.

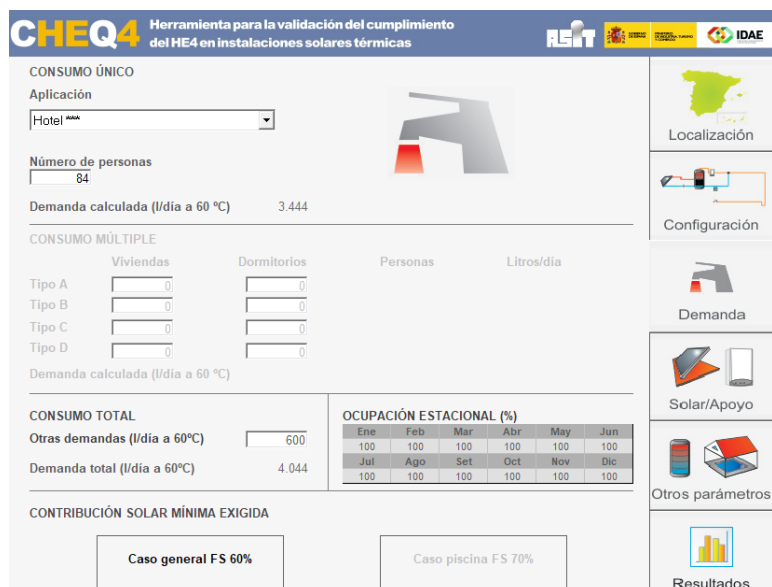


Figura 39 Demanda instalación

Solar/apoyo

Se especifican los parámetros necesarios comunes a todos los tipos de configuraciones. Para ello, previamente se ha definido una serie de valores geométricos y técnicos de los captadores solares que se van a emplear en esta instalación:

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

CAPTADORES

Empresa: CHROMAGEN ESPAÑA, S.L.U.
 Marca/Modelo: QR-E

Datos de ensayo:

Área (m ²)	2,33
n0 (-)	0,683
a1 (W/m ² K)	3,772
a2 (W/m ² K ²)	0,013
Qtest(l/hm ²)	72
k50	0,93
Laboratorio	CENER
Certificación	NPS-7319

CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores: 30 Captadores en serie: 1 Pérdidas sombras (%): 0
 Orientación (°): 0 Inclinación (°): 37,15 Área total captadores (m²): 69,90

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO

Caudal prim.(l/h): 5,033 Anticongelante (%): 0 Long. circuito (m): 200
 Diám. tubería (mm): 36 Esp. aislante (mm): 30 Aislante: genérico

SISTEMA DE APOYO

Tipo de sistema: Caldera convencional
 Tipo de combustible: Gasóleo

Figura 40 Solar/apoyo de la instalación

Análisis para la selección del número de captadores solares

A continuación, se van a realizar una serie de simulaciones donde se van a variar los parámetros fundamentales de la instalación con el objetivo de encontrar aquellos que la hagan más eficiente y así, poder reducir el empleo de energías no renovables y que perjudiquen nuestro entorno aprovechando, por tanto, la energía solar como fuente renovable.

Los parámetros para considerar son: número de captadores, número de captadores en serie, volumen del depósito de almacenamiento y fracción solar.

■ Análisis 1: Sistema de captación

Como se justificó en el apartado anterior, la contribución solar mínima debe ser del 60% cuando la demanda de ACS sea inferior a $5000 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$. Se ha elaborado una tabla y una gráfica variando el número de captadores solares considerando un único captador en serie y un volumen de acumulación acorde con las dimensiones del campo solar ($V= 3500L$) y además, teniendo en cuenta la restricción que imponía el antiguo CTE (el actual CTE ha eliminado dicha obligación del DB H4), donde el área de los captadores debe tener un valor tal que cumpla:

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

Donde:

- A: área total de captadores [m^2]
- V: volumen del depósito de acumulación solar [Litros]

Según los resultados obtenidos, utilizaremos como mínimo 28 captadores solares planos en nuestra instalación para cumplir la normativa vigente y cumplir con la mínima contribución solar requerida. Hay que elegir la opción que posea un número de captadores múltiplos de 2,3,4 o 5 en función de la distribución que se desee en las baterías de captadores y además, considerando siempre el espacio disponible en la cubierta del hotel.

Considerando que cada batería va a estar compuestas por 5 captadores solares planos, se ha decidido elegir 30 captadores solares en vez de 28 por facilidad de distribución de filas en la cubierta del hotel.

Tabla 10. Resultados de f variando el número de captadores de la instalación

Número de captadores	5	10	16	18	20	22	24	26	28	30	32	38
$\frac{V}{A}$	300,4	150,2	93,9	83,5	75,1	68,3	62,6	57,8	53,7	50,1	46,9	39,5
Fracción solar (%)	12	27	39	43	47	50	54	57	60	63	66	74

Nota: Tomando como valores fijos → número de captadores en serie ($N_s=1$) y volumen de acumulación ($V=3500L$).

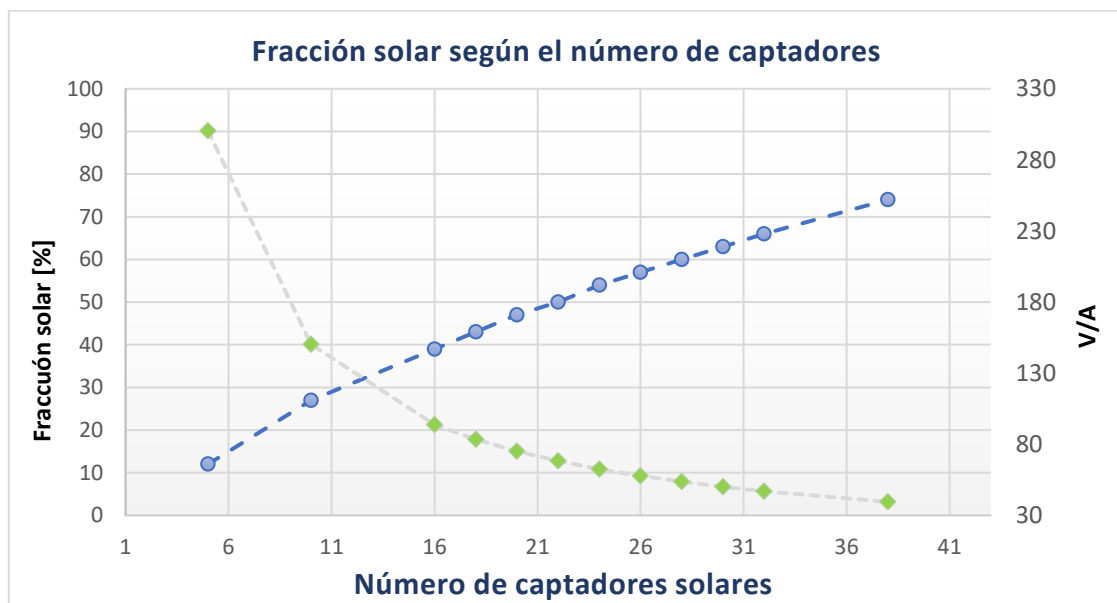


Figura 41 Resultados de la fracción solar variando el número de captadores

▪ **Análisis 2: Volumen de acumulación**

Una vez elegidos el número de captadores para nuestra instalación se realiza el siguiente análisis variando el volumen de acumulación como se puede mostrar en la tabla y gráfica siguientes, y dejando fijos el número de captadores en serie ($N_s=1$) y el número de captadores ($N=30$).

Se ha representado la curva de la contribución solar en función del cociente volumen de acumulación-área de captación. Como se puede observar en la, la influencia en la contribución solar (f) del volumen de acumulación es mínima, por ello se va a elegir el depósito de acumulación con capacidad mínima que me permita cumplir la normativa.

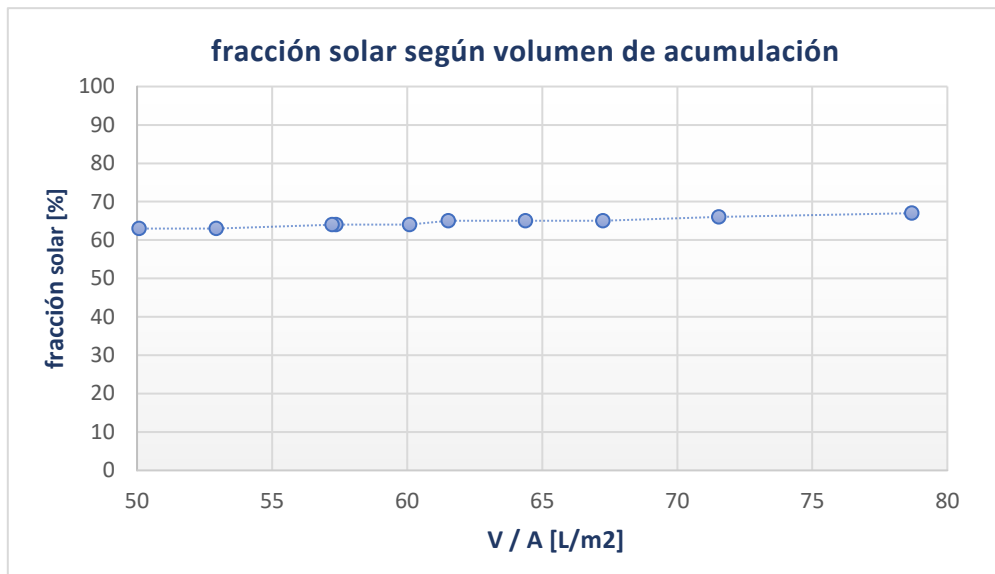


Figura 42 Resultados de la fracción solar variando el volumen de acumulación

Se ha seleccionado un interacumulador de 3.500 Litros de capacidad, con capacidad similar a que existe ubicado en el hotel. Dicho volumen cumple con la contribución solar mínima exigida por el CTE.

Tabla 11. Resultados de f variando el volumen del acumulador solar

volumen de acumulación [L]	Volumen/Área [Litros/m²]	Fracción solar [%]
3000	42,92	62
3500	50,07	63
3700	52,93	63
3800	57,36	64
4000	57,22	64
4200	60,09	64
4300	61,52	65
4500	64,38	65
4700	67,24	65
5000	71,53	66

▪ **Análisis 3: Número de captadores en serie**

Por último, se realiza el último análisis variando el número de captadores en serie, y dejando fijos el número de captadores (N=30) y el volumen de acumulación (V/A= 50,07 [Litros/m²]). Analizando los resultados obtenidos, se decide colocar un único captador en serie, puesto que al incrementar este número la contribución solar disminuye incumpliendo por tanto la normativa.

Tabla 12. Selección del número de captadores en serie

Nº de captadores en serie	Fracción solar [%]
1	63
2	58
3	53

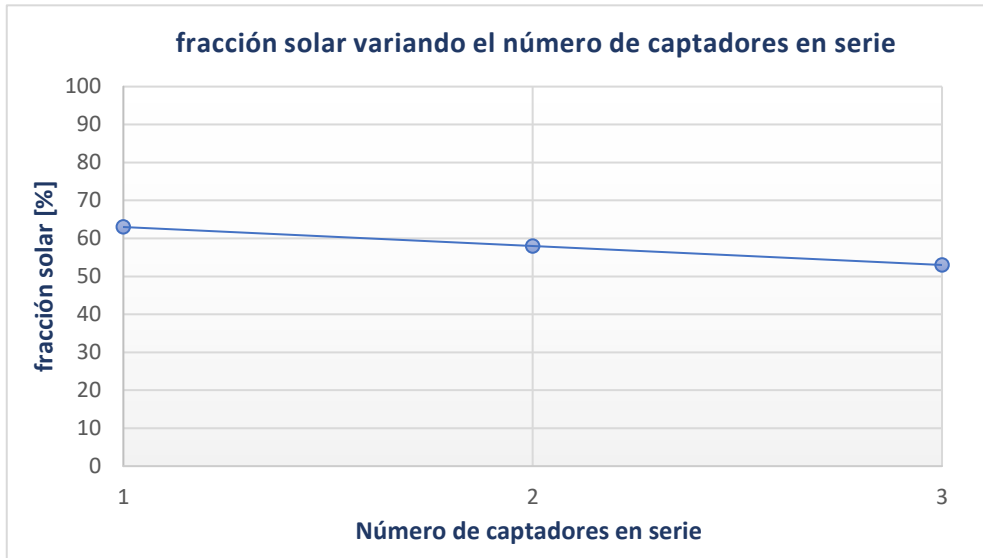


Figura 43 Resultados al variar el número de captadores en serie (Ns)

Las pantallas finales correspondientes al software CHEQ4.2 se muestran a continuación, tras haber elaborado el análisis anteriormente explicado y detallado paso a paso.

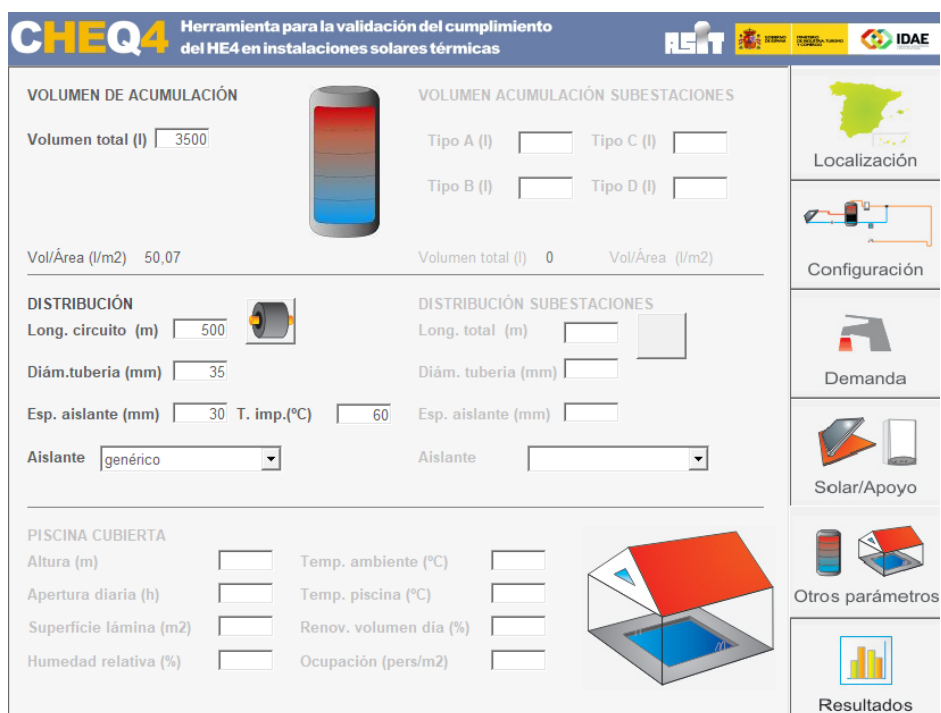


Figura 44 Otros parámetros de la instalación

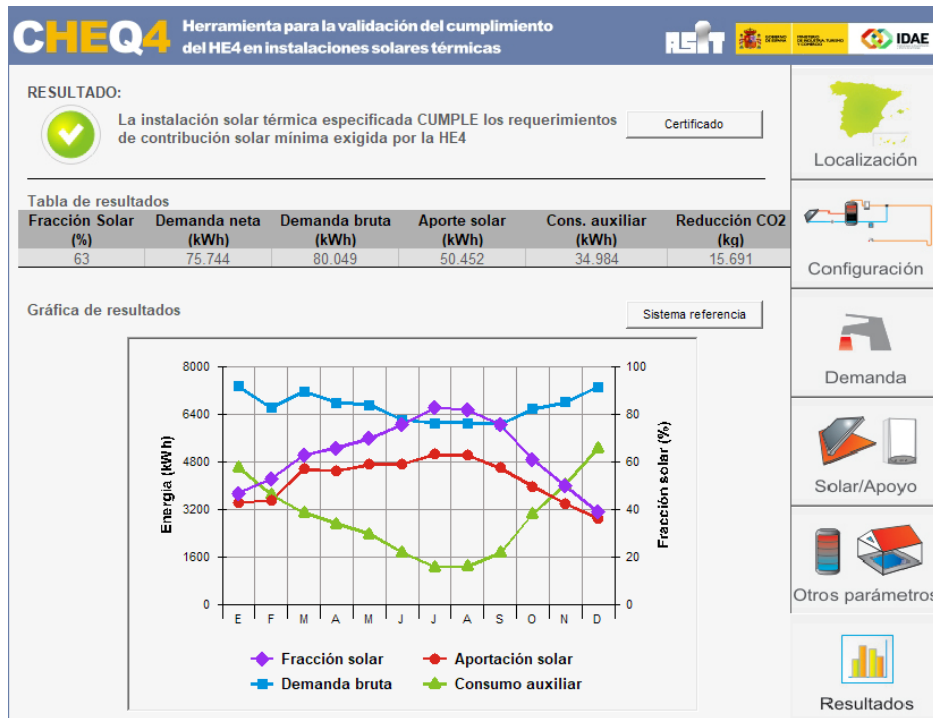


Figura 45 Resultados finales de la simulación

Tras realizar estos tres análisis de los parámetros más significativos, se toma como **resultado final** para nuestra instalación lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 13. Resultados CHEQ4 de la instalación final

Número de captadores	30
Inclinación	37º
Orientación	Sur
Captadores en serie	1
Área total de captadores	55,92 [m ²]
Volumen de acumulación	3500 [litros]
Volumen/Área	50,07 [litros/m ²]
Contribución solar	63 [%]

2.3 Disposición de los captadores solares

El proyecto contempla la instalación de 30 captadores en la cubierta del hotel. Cumpliendo con los criterios establecidos en el RITE y en el CTE, la disposición de los mismos tiene las siguientes características:

- El campo de captación lo constituirán baterías de captadores compuestas por el mismo número de elementos (5 captadores/batería). En la Figura 46 se puede apreciar la distribución diseñada para nuestra instalación solar.
- Dentro de cada batería de 5 captadores serán conexiados en paralelo, como recomendación del fabricante. Esto implica que el caudal total de la batería se reparte de manera equitativa por cada captador y, por tanto, todos trabajan con el mismo caudal y la temperatura de salida del fluido caloportador será la misma. Esta conexión provoca que la

pérdida de carga producida sea menor que si todo el caudal pasara por el mismo captador. Observar la Figura 47.

- La conexión entre filas de captadores se diseña para un sistema de retorno invertido, de forma que el circuito quede equilibrado hidráulicamente.

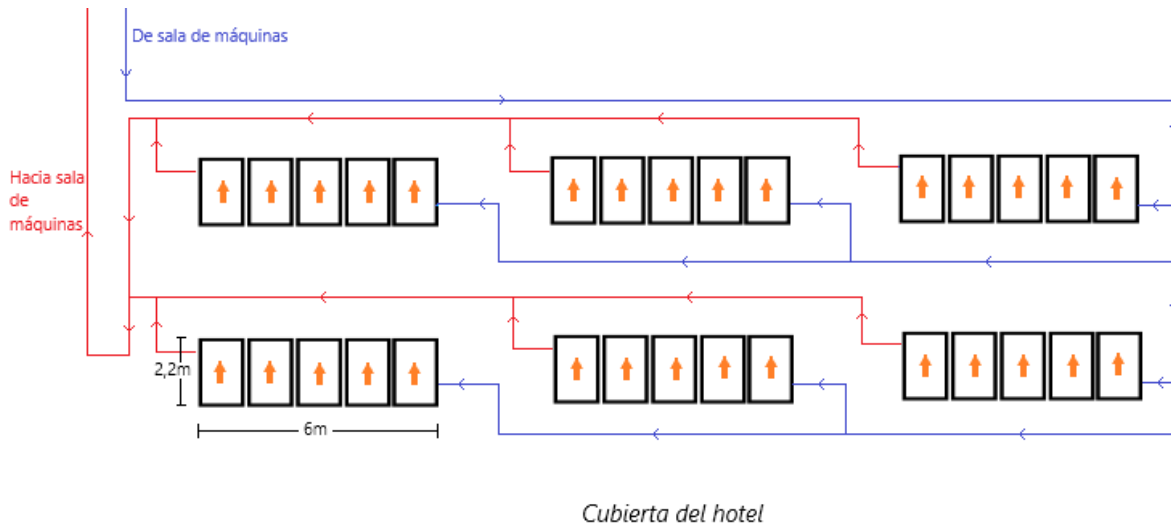


Figura 46 Esquema básico general de la distribución de captadores en cubierta (Fuente: propia)

2.3.1 Pérdidas por orientación, inclinación y sombras de los captadores

En primer lugar, se van a calcular las pérdidas por orientación e inclinación de los captadores, y finalmente se calcularán las pérdidas por sombras y pérdidas totales. Se deberán cumplir con los límites indicados en la siguiente tabla:

Tabla 14 Pérdidas límites

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

Pérdidas por orientación e inclinación

Estas pérdidas pueden definirse como la cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema de captación a consecuencia de no tener la orientación e inclinación óptimas. A continuación, se van a determinar los límites en la orientación e inclinación de acuerdo con las pérdidas máximas permitidas por la normativa vigente. Se calcularán en función de:

- Ángulo de inclinación, β , definido como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal.
- Ángulo azimutal del captador, Υ , definido como el ángulo formado entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar.

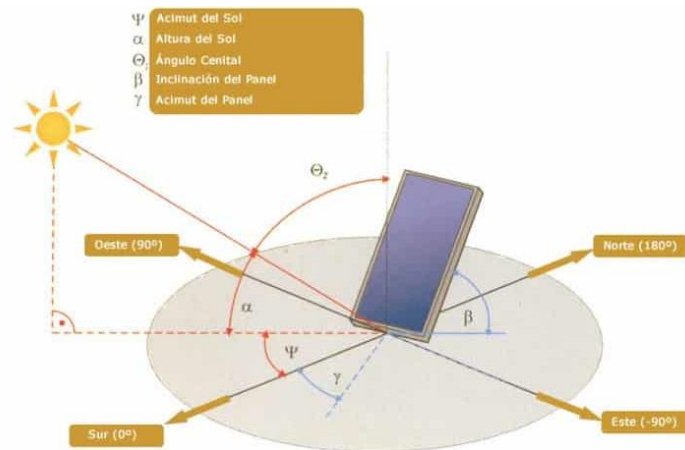


Figura 48 Geometría solar para un captador solar

Los captadores solares ubicados en la cubierta horizontal están orientados hacia el Sur geográfico, la cual es considerada la orientación óptima. La mejor inclinación, β_{OPT} , depende del período de utilización de la instalación. Se considera consumo constante anual, por tanto, la inclinación óptima coincide con la latitud geográfica del lugar. Sin embargo, la inclinación de los captadores es diferente a la inclinación óptima ya que se ha seguido la recomendación del fabricante del modelo empleado en la instalación (ángulo de inclinación recomendado = latitud del lugar + 10°).

A modo de resumen, los ángulos comentados anteriormente para la instalación de captadores del hotel son:

Tabla 15 Ángulos empleados en el sistema de captación

Orientación	Inclinación captadores (β)	Acimut (γ)
Sur	37°	0°

Para determinar las pérdidas producidas por la orientación e inclinación establecidas por los captadores se va a seguir el siguiente procedimiento:

- Calculamos en primer lugar los ángulos máximos y mínimos de inclinación mediante el siguiente diagrama válido para una latitud (ϕ) de 41°. Al tratarse del caso general, el rendimiento de la instalación debe variar entre el 90-95% ya que no puede existir más de un 10% de pérdidas por inclinación y orientación. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta acimut (0°) nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima; Si no hay intersección entre ambas líneas, las pérdidas son superiores a las permitidas y por tanto, la instalación está fuera de los límites.
- Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud ($\phi = 37,25$) de Lepe y la de $\phi = 41^\circ$, de acuerdo con:
 - a) **Inclinación máxima** = inclinación máx ($\phi = 41^\circ$) – (41° – latitud)
 - b) **Inclinación mínima** = inclinación mín ($\phi = 41^\circ$) – (41° – latitud)
- En casos cerca del límite y como instrumento de verificación, se emplea:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 * [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{\text{óptimo}})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \gamma^2] \quad \text{sí } 15 < \beta < 90^\circ$$

Observando la siguiente ilustración, obtenemos los valores de inclinación máxima y mínima:

$$\text{inclinación máx } (\phi = 41^\circ) \approx 60^\circ$$

$$\text{inclinación mín } (\phi = 41^\circ) \approx 7^\circ$$

Pasamos a corregir los límites de inclinación aceptables para la latitud del hotel ($\phi=37^\circ$):

a) Inclinación máxima = $60 - (41^\circ - 37^\circ 15') = 56^\circ 15'$

b) Inclinación mínima = $7 - (41^\circ - 37^\circ 15') = 3^\circ 15'$

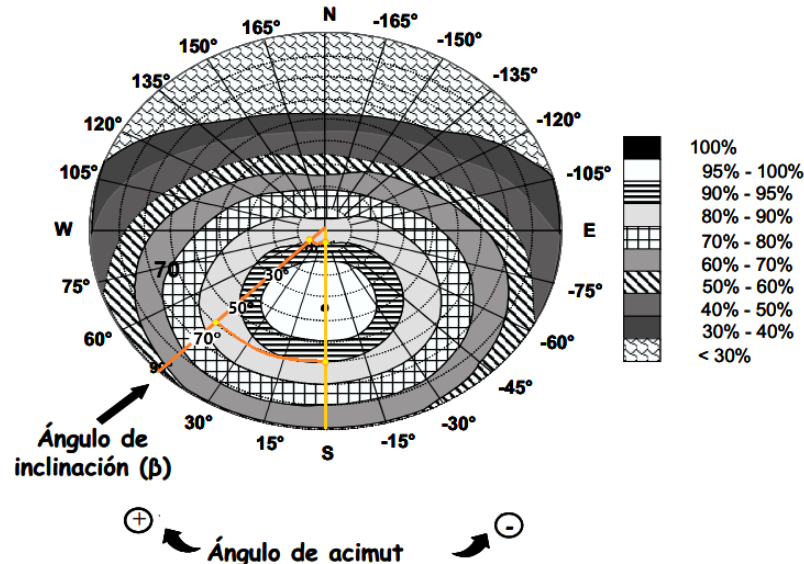


Figura 49 Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de pérdidas por orientación e inclinación. (Fuente: CTE_DB-HE)

La inclinación de la instalación es de 37° , es decir, nos encontramos dentro de los límites aceptables, y con ello se cumple el caso general indicado en el CTE.

Para concluir esta parte del cálculo con mayor precisión aplicaremos el instrumento de verificación anteriormente nombrado. El valor de las pérdidas es muy inferior al límite impuesto por la normativa vigente:

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas (\%)} &= 100 * \left[1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{\text{óptimo}})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \gamma^2 \right] = \\ &= 100 * \left[1,2 * 10^{-4} * (47 - 37^\circ)^2 + 3,5 * 10^{-5} * 0^2 \right] = 1,14\% \end{aligned}$$

Pérdidas por sombras

Debemos considerar las posibles pérdidas producidas por las sombras creadas entre las distintas hileras de captadores o por objetos cercanos a ellas. Tales pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie, de no existir sombra alguna.

- Pérdidas por obstáculos remotos

Estas pérdidas pueden ser ocasionadas por la existencia de elementos situados alrededor de los captadores como, por ejemplo, muros, edificios próximos de mayor altura, plantas, etc. En este proyecto las pérdidas debido a obstáculos remotos se han descartado puesto que no se

consideran elementos con altura superior al hotel que pueda hacer sombra al sistema de captación.

El procedimiento de cálculo de este tipo de pérdidas si existieran en nuestro proyecto consistiría en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del Sol. Habría que localizar los principales obstáculos, en términos de sus coordenadas de posición acimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal), y se representa su perfil en el siguiente diagrama.

Finalmente, se emplean unas tablas incluidas en el antiguo CTE referidas a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación, eligiendo aquella más parecida a nuestro perfil. Se selecciona el porcentaje de pérdida y se hace la suma total de todas las contribuciones para hallar la pérdida total por sombras.

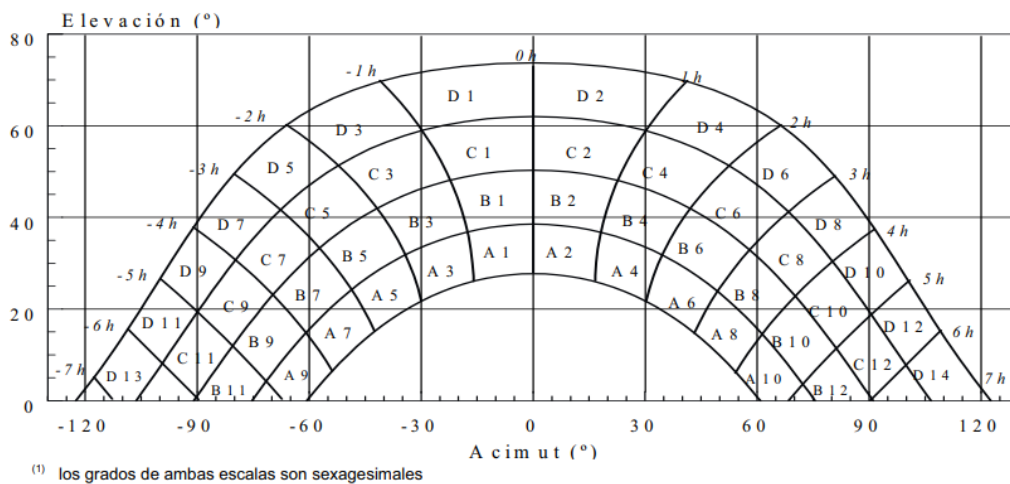


Figura 50 Diagrama de trayectorias del Sol

- Pérdidas debidas a la propia instalación: distancia entre hileras de captadores

El cálculo de la separación entre filas de captadores se calcula de tal forma que no existan sombras de una fila sobre la siguiente en un instante de tiempo fijado. Para dicho cálculo vamos a emplear en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura elaborado por el departamento de energía solar de IDAE y CENSOLAR.

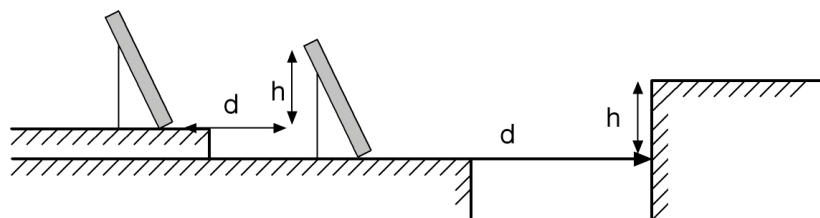


Figura 51 Separación mínima entre filas de captadores

$$d = \frac{h_{\text{captador}}}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} = k * h_{\text{captador}}$$

Donde:

- d: distancia entre una fila de captadores y otra fila de altura h, que pueda producir sombras sobre la instalación. Esta distancia debe garantizar un mínimo de 4 horas de Sol en torno al mediodía del solsticio de invierno.
- Coeficiente adimensional cuyos valores más significativos se muestran en la siguiente tabla (siendo $k = \frac{1}{\tan(61 - \text{latitud})}$).

Tabla 16 Coeficiente k en función de la latitud del lugar

Latitud	k
29º	1,600
37º	2,246
39º	2,4715
41º	2,747
43º	3,078
45º	3,487

- h_{captador} : la altura del elemento que puede ocasionar sombras ($h_{\text{captador}} = L \times \text{sen}\beta$); L longitud del captador; β es la inclinación del mismo.

Por tanto, el cálculo de la distancia mínima entre filas es:

$$d_{\text{mínima}}^{\text{filas}} = \frac{2,19 * \text{sen}(47^\circ)}{\tan(61 - 37^\circ 15')} = \mathbf{3,64 \text{ metros}}$$

2.4 Cálculo del sistema de acumulación solar

En este apartado, se procede a realizar la comprobación del área del serpentín situado en el interacumulador solar. Es decir, el objetivo es conocer si la superficie de intercambio es suficiente o no.

Como bien se calculó anteriormente a partir de CHEQ4, el volumen de acumulación solar necesario para el hotel es de 3500 litros, por ello, el interacumulador seleccionado posee dicha capacidad. El modelo elegido es MXV-3500 SSB del fabricante Lapesa. Nos permite cubrir la demanda de ACS del hotel, incluyendo la época invernal donde mayor consumo de agua caliente se produce.

Para conocer si la selección del modelo es correcta o suficiente para nuestra instalación tendremos que evaluar una serie de parámetros:

- Superficie de intercambio

La superficie mínima de diseño del serpentín interior del acumulador solar (S) entre el área total de captadores (A) debe encontrarse en este rango (recomendado por el antiguo CTE):

$$\frac{S}{A} \geq 0,15$$

Por tanto, considerando nuestro caso donde el área de captadores es de 55,92 m², la superficie útil de intercambio a tener en cuenta debe ser de:

$$S \geq 8,386$$

Nuestro interacumulador incorpora un serpentín de 8,4 m², por lo que nos encontramos en la zona de cumplimiento de la recomendación.

- La relación entre el volumen de acumulación y el consumo diario de nuestra instalación es aconsejable que se encuentre entre 0,8 y 1,2. En nuestro caso, se cumple:

$$\frac{V}{D_{ACS}^{TOTAL}} = \frac{3500}{3996} = 0,875$$

- La relación entre el volumen de acumulación y el área de captación es recomendable que se encuentre entre:

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

En nuestro caso se cumple también, puesto que dicha relación es de 50,07 L/m².

2.5 Dimensionado y diseño del resto de elementos de la instalación

En este apartado, se muestran los cálculos necesarios para el dimensionado del resto de componentes que forman la instalación solar térmica del hotel como es el circuito hidráulico del sistema de captación hasta el interacumulador, el sistema de expansión (vaso de expansión), el aislamiento térmico de las tuberías y accesorios correspondientes, el sistema de motorización y control de la instalación solar y finalmente, el sistema eléctrico.

2.5.1 Dimensionado de circuitos hidráulicos

Para el diseño del circuito primario se calculará, en primer lugar, el caudal de diseño que circula por cada tramo de tubería y por cada batería de captadores solares.

Para ello, se va a considerar la recomendación del valor de caudal proporcionada por el fabricante paralelamente al objetivo de incrementar al máximo el aporte energético de los captadores minimizando las pérdidas de carga.

En segundo lugar, y con el fin de cumplir el objetivo anteriormente descrito, se debe encontrar un equilibrio entre caudal seleccionado y el diámetro de las tuberías a emplear.

En tercer y último lugar, se calcularán las pérdidas de carga que sufre cada uno de los tramos del circuito hidráulico generadas por los accesorios existentes como pueden ser: codos, ensanchadores y reductores dinámicos, bifurcaciones, válvulas de corte completamente abiertas, válvulas antirretorno y válvulas de retención.

El caudal del circuito primario se calcula como:

$$Q_{\text{primario}} = Q_{\text{ensayo}} * A_{\text{TOTAL CAPTACIÓN}} = Q_{\text{ensayo}} * \frac{N_{\text{captadores}}}{N_{\text{serie}}} * A_{\text{captador}}$$

Siendo:

- $Q_{\text{primario}} \left[\frac{\text{L}}{\text{h}} \right]$ el caudal total de fluido caloportador que circular por el circuito primario
- $Q_{\text{ensayo}} \left[\frac{\text{L}}{\text{h} * \text{m}^2} \right]$ el caudal que circula por cada captador. $Q_{\text{ensayo}} = Q_{\text{real}}$
- $A_{\text{TOTAL CAPTACIÓN}} [\text{m}^2]$ el área total de captación solar
- $A_{\text{captador}} [\text{m}^2]$ el área total de un captador
- $N_{\text{captadores}}$ el número de captadores que forma el campo de captación
- N_{serie} número de captadores en serie ($N_{\text{serie}} = 1$ en nuestro caso)

Sustituyendo los datos en la ecuación anterior nos queda que el caudal del primario es:

$$Q_{\text{primario}} = 45 \left(\frac{\text{L}}{\text{h} * \text{m}^2} \right) * 30 \text{ (captadores)} * 2,37 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{captador}} \right) = 3.199,5 \frac{\text{L}}{\text{hora}}$$

El siguiente paso es el cálculo de los diámetros de cada tramo de tubería. Para ello, se ha elaborado un esquema donde se asignan los distintos nombres a los tramos de tubería como bien se puede observar en la Figura 52. Para dimensionar correctamente los diámetros hay que tener en cuenta las dos condiciones siguientes (IDAE & ASIT, Guía Técnica de la Energía Solar Térmica, 2020):

- La velocidad de circulación del fluido será inferior a 2 m/s cuando la tubería discurra por locales habitados e inferior a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.
- La pérdida de carga unitaria de tuberías nunca sea superior a 40mm de columna de agua (4 milibares) por metro lineal de tubería.

$$\Delta P_{\text{MÁX LINEAL}} \leq 40 \frac{\text{mmca}}{\text{m}} = 392,25 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

- El diámetro de las tuberías normalizado (DN)

En la figura inferior, se muestran los tramos asignados a cada tubería que discurre por la zona de captación y que llega/sale de sala de máquinas.

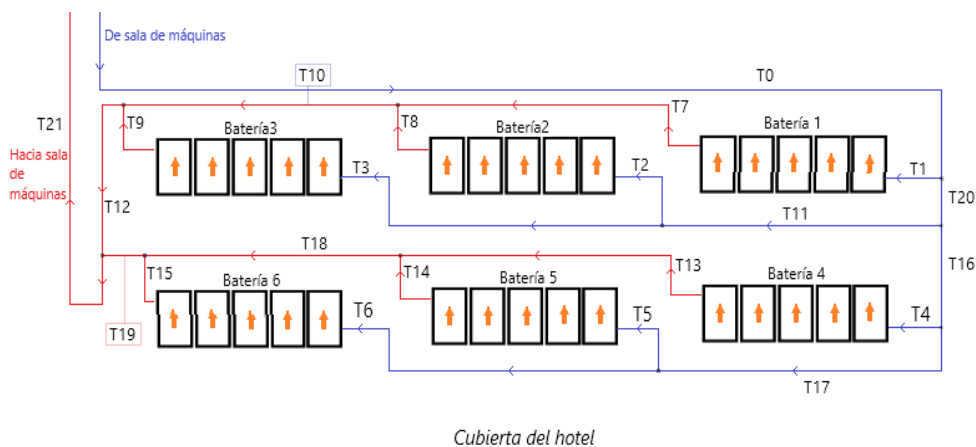


Figura 52 Cubierta del hotel con la asignación de tramos

2.5.1.1 Pérdidas de carga en los captadores solares

Para el cálculo de la pérdida de carga que se produce en cada uno de los captadores, el fabricante Chromagen proporciona la ecuación que permite obtener fácilmente el valor de dicha caída de presión en función del caudal de diseño.

$$q_i = 45 \left(\frac{L}{h * m^2} \right) * 2,37 (m^2) * \frac{1 h}{60 min} = 1,778 \frac{L}{min}$$

$$\Delta P_{\text{captador}} = 1,9 * q_i^2 + 7,3 * q_i = 18,986 \text{ mm. ca} = 0,01899 \text{ m. c. a} = 1,861 \text{ mbar}$$

Siendo:

- $\Delta P_{\text{captador}}$ la caída de presión en el captador solar en [mm. ca]
- q_i el caudal de diseño que recorre el captador en $\left[\frac{L}{min} \right]$

Teniendo en cuenta que los **captadores solares están conectados en paralelo**, la pérdida de carga de una sola batería es la de un solo captador. A su vez, estas baterías están conectadas también en paralelo entre sí, por tanto, $\Delta P_{\text{captador}} = 18,989 \text{ mm. ca}$ es el valor que debemos considerar para la pérdida de carga en baterías.

2.5.1.2 Pérdidas de carga en el interacumulador solar

El fabricante del modelo seleccionado, MXV-3500-SSB, ofrece una curva donde se puede obtener la pérdida de carga en dicho interacumulador a partir del caudal del circuito primario que circula por el serpentín interior.

Accedemos a la gráfica de la parte inferior a partir del caudal del circuito primario, es decir, $Q_{\text{primario}} = 3,2 \frac{m^3}{h}$. Por lo tanto, la pérdida de carga es:

$$\Delta P_{\text{interacumulador}} = 43 \text{ mbar} = 439 \text{ mm. c. a}$$

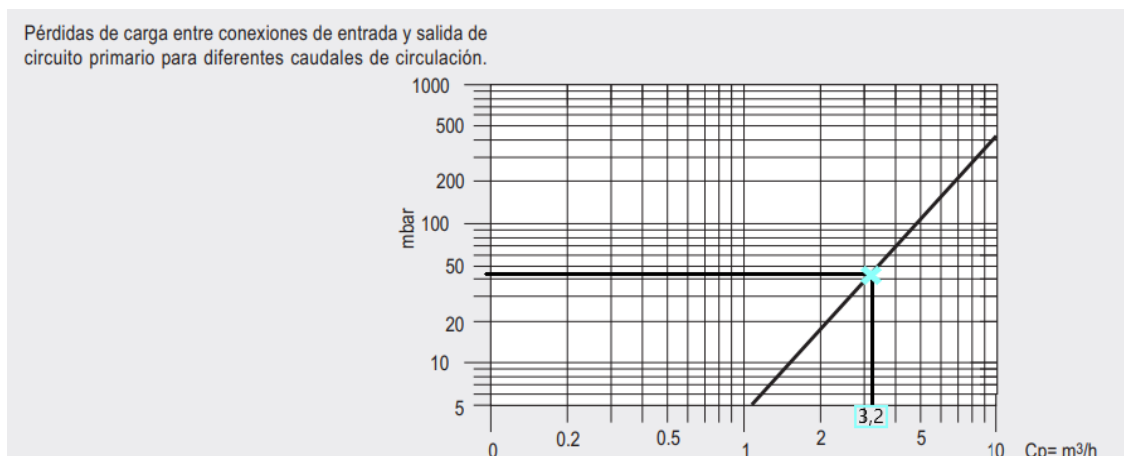


Figura 53 Pérdida de carga entre conexiones de entrada y salida del interacumulador

2.5.1.3 Pérdidas de carga en la red de tuberías

Las canalizaciones del circuito primario desde los captadores solares hasta el interacumulador se realizarán con tuberías de cobre.

El diámetro de cada una de las tuberías que discurren por la cubierta se calculará en función del caudal que fluye por el interior de éstas, y teniendo presente el fluido caloportador que circula por el circuito primario.

Para el cálculo del diámetro interior que se va a utilizar en cada tramo de tubería se considera que la velocidad de circulación del fluido debe restringirse a 2 m/s.

$$v = \frac{Q}{A_{\text{paso}}} = \frac{4 * Q}{\pi * D_{\text{int}}^2} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Donde:

- Q caudal de circulación de fluido por el interior de la tubería
- v velocidad de circulación del fluido (2 m/s)
- D_{int} el diámetro interior de cada tubería

En la siguiente tabla se muestran los diámetros de cada tramo, el caudal, la longitud de cada uno, y la **pérdida de carga unitaria en milímetros de columna de agua por metro lineal**.

Para dichos cálculos se procede a utilizar la hoja Excel [14] válida para tuberías de paredes lisas de cobre, por la que circula un caudal de agua caliente sin aditivos.

Tabla 17 Cálculo de los diámetros para cada tramo del circuito primario

Tramo	Velocidad (m/s)	Caudal (L/h)	Longitud (m)	Diámetro (")	ΔP _{unitaria} (mm.c.a/m)
T0	1,1	3199,5	177,04	1,25	0,04
T1	0,5	533,25	0,5	0,75	0,02
T2	0,5	533,25	0,75	0,75	0,02
T3	0,5	533,25	7,75	0,75	0,02
T4	0,5	533,25	0,5	0,75	0,02
T5	0,5	533,25	0,75	0,75	0,02
T6	0,5	533,25	7,75	0,75	0,02
T7	0,5	533,25	7,75	0,75	0,02
T8	0,5	533,25	0,75	0,75	0,02
T9	0,5	533,25	0,75	0,75	0,02
T10	0,6	1066,5	7	1	0,02
T11	0,6	1066,5	7,25	1	0,02
T12	0,9	1599,75	4,65	1	0,03
T13	0,5	533,25	7,5	0,75	0,02
T14	0,5	533,25	0,75	0,75	0,02
T15	0,5	533,25	0,75	0,75	0,02
T16	0,9	1599,75	4,15	1	0,03
T17	0,6	1066,5	7,25	1	0,02
T18	0,6	1066,5	7	1	0,02
T19	0,9	1599,75	0,5	1	0,03
T20	0,9	2666,25	0,75	1,25	0,03
T21	1,1	3199,5	160,94	1,25	0,04

Todos los accesorios de tubería (válvulas, codos, tes, reducciones, etc.) introducen una pérdida de carga al pasar el fluido por ellos. A continuación, procedemos a calcular la **pérdida de carga** generada por los **accesorios de tubería** del circuito primario. Para ello, se empleará el método de la longitud equivalente, el cuál determina cuánta pérdida de carga tiene un accesorio comparándolo con la que tiene un metro lineal de tubería recta del mismo diámetro que el accesorio.

Los valores de longitudes equivalente se encuentran tabulados, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

Tabla 18 Pérdida de carga en accesorios

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

Para calcular la pérdida de carga total que se produce en cada tramo de tubería se aplica la fórmula siguiente. Los datos necesarios y los resultados aparecen en la *Tabla 20* Pérdida de carga total:

$$\Delta P_{TOTAL} = (L_{tubería} + L_{accesorios\ equivalente}) \times \Delta P_{unitaria}$$

Finalmente, se realiza un estudio sobre los posibles caminos/lazos más desfavorables que va a realizar el fluido en el circuito primario. Los posibles caminos son 6.

El diseño del circuito hidráulico es mediante retorno invertido, lo que indica que la red de tuberías está equilibrada hidráulicamente hablando y esto evita añadir válvulas de equilibrado ya que no se supera en ningún lazo un desequilibrio superior al 10%.

El circuito con mayor pérdida de carga es el **lazo número 6**, el cual presenta una pérdida de $\Delta P_{circuito} = 17,02$ m.c.a.

Tabla 19 Circuito más desfavorable de la instalación

Lazos	Tramos atravesados	$\Delta P_{circuito}$ (m.c.a)	Pérdida de carga (%)
1	T0, T1, T7, T10, T12, T21	16,95	-0,41
2	T0, T20, T11, T2, T8, T10, T12, T21	17,00	-0,14
3	T0, T20, T11, T3, T9, T12, T21	17,01	-0,08
4	T0, T20, T16, T4, T13, T18, T19, T21	17,00	-0,15
5	T0, T20, T16, T17, T5, T14, T18, T19, T21	17,01	-0,07
6	T0, T20, T16, T17, T6, T15, T19, T21	17,02	0,00

La $H_{manométrica}$ de la bomba del circuito primario en el punto de trabajo debe compensar las pérdidas de carga totales, las cuales vienen definidas por:

$$H_{manométrica} = (\Delta P_{circuito} + \Delta P_{intercambiador} + \Delta P_{captador}) * (1 + 5\% \text{ seguridad})$$

$$H_{manométrica} = (17,02 + 0,44 + 0,019) * 1,05 = \mathbf{18,3 \text{ m. c. a}}$$

Tabla 20 Pérdida de carga total

Tramo	Accesorios en cada tramo	$L_{tubería}$ (m)	$L_{accesorios}$ $L_{equivalente}$ (m)	$\Delta P_{unitaria}$ (m.c.a)	ΔP_{TOTAL} (m.c.a)
T0	4 codos (90°); 3 V.esféricas; 1 V.retención	177,04	46,9	0,04	9,02
T1	T rama derivada; 1 V.esférica	0,5	8,71	0,02	0,18
T2	T rama derivada; 1 V.esférica; 1 codo (90°)	0,75	9	0,02	0,19
T3	T rama alineada; V.esférica; 2 codos (90°)	7,75	8,8	0,02	0,32
T4	T rama derivada; 1 V.esférica	0,5	8,71	0,02	0,18
T5	T rama derivada; 1 V.esférica; 1 codo (90°)	0,75	9	0,02	0,19
T6	T rama alineada; 1 V.esférica; 2 codos (90°)	7,75	8,8	0,02	0,32
T7	1 V.esférica; 3 codos (90°); T rama alineada	7,75	9,09	0,02	0,33
T8	T rama derivada; 1 V.esférica; 2 codos (90°)	0,75	9,29	0,02	0,19
T9	T rama derivada; 1 V.esférica; 2 codos (90°)	0,75	9,29	0,02	0,19
T10	T rama alineada	7	0,24	0,02	0,12
T11	T rama derivada	7,25	0,92	0,02	0,14
T12	T rama alineada; 1 codo (90°)	4,65	0,64	0,03	0,18
T13	1 V.esférica; 3 codos (90°); T rama alineada	7,5	9,09	0,02	0,32
T14	T rama derivada; 1 V.esférica; 2 codos (90°)	0,75	9,29	0,02	0,19
T15	T rama derivada; 1 V.esférica; 2 codos (90°)	0,75	9,29	0,02	0,19
T16	T rama alineada	4,15	0,24	0,03	0,15
T17	T rama alineada; 1 codo (90°)	7,25	0,64	0,02	0,13
T18	T rama alineada	7	0,24	0,02	0,12
T19	T rama derivada	0,5	0,92	0,03	0,05
T20	T rama derivada	0,75	0,31	0,03	0,03
T21	4 codos (90°); V.esférica	160,94	16,17	0,04	7,13

2.5.2 Selección de la bomba del circuito primario

Se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de ellas de reserva para las labores de mantenimiento de la otra bomba o posible rotura, de forma que se asegure en todo momento un funcionamiento continuo del sistema de bombeo.

Para la selección de la bomba del circuito primario se tendrá en cuenta:

- Q_{primario} caudal del circuito primario que debe impulsar hacia el campo de captación.
- $H_{\text{manométrica}}$ es el sumatorio que engloba todas las pérdidas de carga de la instalación siendo en este caso: $\Delta P_{\text{circuito}}$, $\Delta P_{\text{intercambiador}}$ y $\Delta P_{\text{captador}}$ vistas en el subapartado apartado anterior.

Tabla 21 Datos necesarios para la selección de la bomba

$Q_{\text{primario}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	3,2
$H_{\text{manométrica}} \text{ (m)}$	18,3

Podemos observar según la **curva característica de dicha bomba** (curva Q-H), que ésta podría trabajar justo en el punto de diseño de la instalación. Por tanto, la bomba escogida sería la **Wilo Helix V205**. Las características técnicas de la bomba vienen descritas en la memoria descriptiva del proyecto.

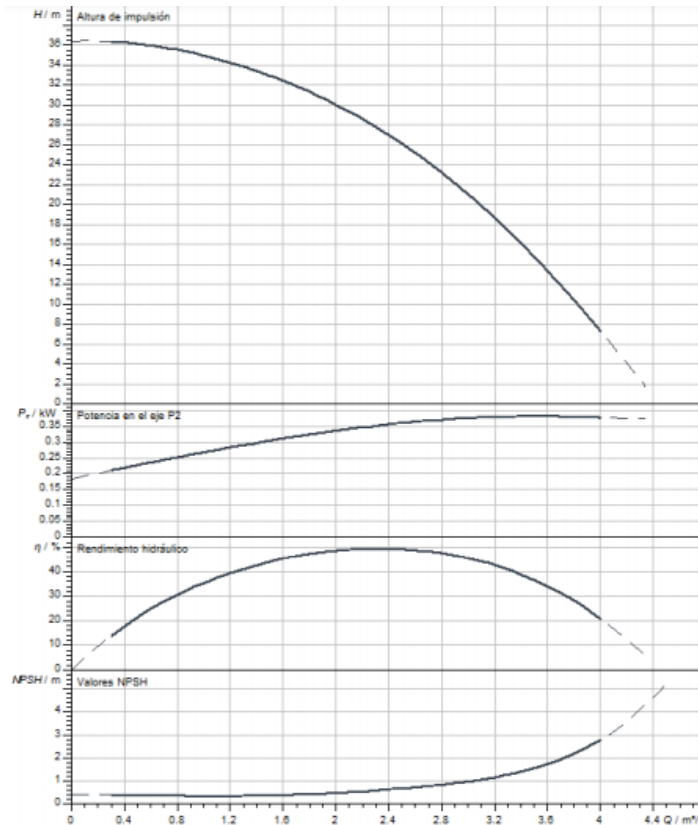


Figura 54 Curvas características de la bomba Wilo Helix V205

2.5.3 Selección del vaso de expansión

La capacidad del vaso de expansión será calculada a partir de la norma UNE 100155-2004, siguiendo como referencia los pasos que indica:

1. **Volumen total del circuito** en el cual se encuentra instalado el vaso de expansión.

$$V_{\text{total}} = V_{\text{tubería}} + V_{\text{captadores}} + V_{\text{interacumulador serpentin}}$$

- Volumen en tuberías

$$V_{\text{tubería}} = \pi * \left(\frac{\text{Diámetro}}{2} \right)^2 * L_{\text{tubería}}$$

La fórmula anterior indica que para cada longitud de tubería vamos a tener un volumen diferente de fluido. Por tanto, hay que calcularlo tramo a tramo y a continuación, hacer un sumatorio de cada volumen de fluido de cada tramo. En la siguiente tabla se obtienen los valores finales los cuales han sido calculados a partir de una hoja Excel:

Tabla 22 Volumen en tuberías del circuito hidráulico

Tramo	Longitud tramo	Diámetro tubería	Volumen tramos
	(m)	(mm)	(L)
T0	177,04	31,75	140,168
T1	0,5	19,05	0,143
T2	0,75	19,05	0,214
T3	7,75	19,05	2,209
T4	0,5	19,05	0,143
T5	0,75	19,05	0,214
T6	7,75	19,05	2,209
T7	7,75	19,05	2,209
T8	0,75	19,05	0,214
T9	0,75	19,05	0,214
T10	7	25,40	3,547
T11	7,25	25,40	3,674
T12	4,65	25,40	2,356
T13	7,5	19,05	2,138
T14	0,75	19,05	0,214
T15	0,75	19,05	0,214
T16	4,15	25,40	2,103
T17	7,25	25,40	3,674
T18	7	25,40	3,547
T19	0,5	25,40	0,253
T20	0,75	31,75	0,594
T21	160,94	31,75	127,421
TOTAL			297,668

$$V_{\text{tubería}}^{\text{TOTAL}} = 297,7 \text{ Litros}$$

- Volumen en captadores

El volumen del fluido en el campo solar se calcula mediante la hoja técnica proporcionada por el fabricante de los captadores, donde nos indica la cantidad de fluido que puede albergar en el interior. Por tanto, considerando que la capacidad del fluido es de 1,3 Litros y que hay en total 30 captadores solares:

$$V_{\text{captadores}} = 1,3 \frac{\text{Litros}}{\text{captador}} * 30 \text{ captadores} = \mathbf{39 \text{ Litros}}$$

- Volumen en interacumulador (serpentín del interacumulador solar)

La capacidad del serpentín de nuestro modelo viene indicada en el catálogo técnico del fabricante.

$$V_{\text{serpentín}}^{\text{interacumulador}} = \mathbf{48 \text{ Litros}}$$

Tabla 23 Volumen total en el circuito primario de la instalación

	Tuberías	Captadores	Interacumulador	Total
Capacidad (L)	297,7	39	48	384,7

2. **Determinación de la temperatura máxima de funcionamiento del sistema.** Esta temperatura se corresponde con la temperatura de impulsión. Sin embargo, se va a considerar la máxima temperatura que pueden admitir los equipos de la instalación ya que esta situación atiende a la situación más desfavorable. Esta temperatura más crítica viene dada por la temperatura máxima alcanzable en los captadores solares. Se tomará como temperatura máxima 130°C puesto que la temperatura que nos indica el fabricante es excesivamente alta, 165°C.
3. **Cálculo del coeficiente de expansión.** Empleamos la fórmula indicada por la norma UNE 100155:2004 para temperaturas desde 70°C hasta 140°C (ambas excluidas), donde t es la temperatura máxima de funcionamiento:

$$C_e = (-33,48 + 0,738 * t) * 10^{-3}$$

Para una temperatura de 130°C el valor de $C_e = 0,0625$

4. **Determinación de las presiones máximas y mínimas de trabajo junto con la presión de la válvula de seguridad.**
 - La presión mínima de funcionamiento $P_{\text{mínima}}$ será **siempre** mayor que la presión atmosférica de forma que nunca penetre aire en la instalación, y mayor también que la presión de saturación del vapor de agua.
Se establece según la altura geométrica del emplazamiento del vaso de expansión con respecto a la de los captadores solares que, en este caso, es la misma, por tanto, únicamente

se le deberá proporcionar un margen de seguridad de 0,5 bar superior a la presión atmosférica.

- La presión máxima de funcionamiento, $P_{m\acute{a}xima}$, será ligeramente menor que la presión de tarado de la válvula de seguridad, y se calcula como:

$$P_{M\acute{a}xima} = 0,9 * P_{Vs}$$

$$P_{M\acute{a}xima} = P_{Vs} - 0,5$$

- La presión de la válvula de seguridad P_{Vs} es la presión inferior entre las presiones máximas de trabajo, a la temperatura de funcionamiento, de los equipos y aparatos que forman parte del circuito primario. En la instalación los captadores admiten una presión máxima de 10 bar y el interacumulador solar de 8 bar, por lo que se empleará una presión inferior a ambas.

Finalmente, las presiones necesarias son:

Tabla 24 Presiones necesarias para cálculo del vaso de expansión

$P_{M\acute{a}xima}$ (bar)	P_{Vs} (bar)	$P_{M\acute{i}nima}$ (bar)
5,4	6	1,5

5. Cálculo del coeficiente de presión.

Se aplica la ecuación siguiente:

$$C_p = \frac{P_{M\acute{a}xima}}{P_{M\acute{a}xima} - P_{M\acute{i}nima}} = 1,3846$$

6. Volumen final del vaso de expansión

$$\text{Volumen}_{\text{vaso}} = \text{Vol}_{\text{total}} * C_e * C_p = 384,7 * 0,0625 * 1,3846 = 33,3 \text{ Litros}$$

Finalmente, tras los cálculos realizados anteriormente se procede a la selección del vaso de expansión en el catálogo del fabricante elegido. Para ello, se ha tenido en cuenta las dos recomendaciones de la Guía Técnica de IDAE [6] donde se indica que:

- El diámetro del ramal de conexión del vaso al circuito primario debe ser lo suficientemente grande para que de esta manera se reduzca la presión del circuito dejando pasar el caudal de fluido caloportador suficiente al vaso de expansión.
- Si la superficie de captación es menor de 150 m² el diámetro del ramal de conexión al vaso no debe ser inferior a 1".

Se ha considerado seleccionar el modelo 35 SMR-P del fabricante Ibaiondo.

Cuenta con una capacidad de 35 litros, y una conexión R de 1", cumpliendo con todos los requisitos anteriormente comentados. Cuenta con una membrana recambiable, según EN 13831. Además, es capaz de soportar picos de temperatura de hasta 130°C durante una hora.

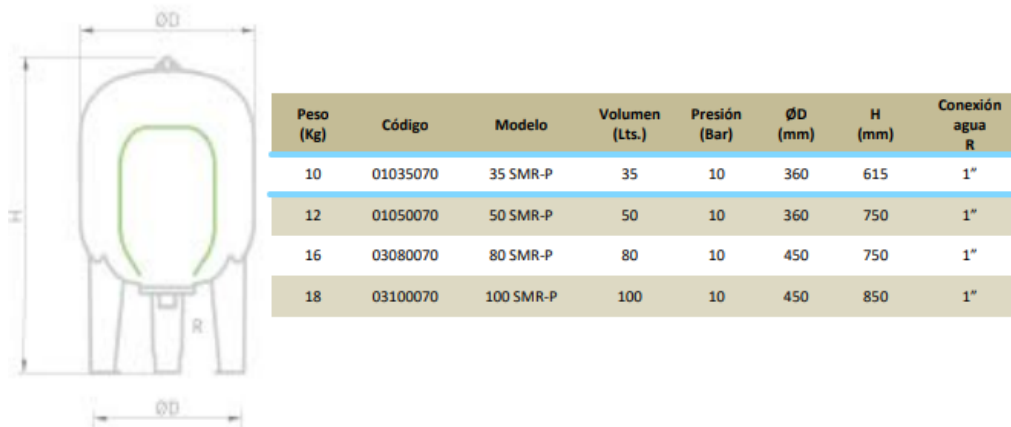


Figura 55 Vasos de expansión de membrana Ibaiondo. Características.



Figura 56 Vaso de expansión fabricado conforme Directiva 2014/68/UE.

2.6 Aislamiento térmico de las instalaciones

Según lo establecido en el RITE, emplearemos aislamientos térmicos en tuberías del circuito primario, accesorios que transporten ACS tanto dentro como fuera del edificio, equipos y aparatos para usos sanitarios.

Considerando lo redactado en el actual RITE:

- Para el cálculo del espesor mínimo de aislamiento se podrá optar por el procedimiento simplificado o por el alternativo. Para instalaciones de más de 70 kW debe utilizarse el método alternativo. En ningún caso el espesor mínimo debe ser menor al especificado en las Tabla 25 y Tabla 26.
- Los espesores mínimos de **aislamiento de las redes de tuberías** que estén funcionando en continuo, deben ser los de la Tabla 25 y Tabla 26 aumentados en 5 milímetros.
- Los espesores mínimos de **aislamiento de los accesorios de la red**, como válvulas, filtros, etc., serán los mismo que los de la tubería donde estén instalados.

Emplearemos por tanto el criterio del procedimiento simplificado [6]. Los datos proporcionados en las tablas superiores son valores tomados para un diámetro exterior D de la tubería sin aislar y para un material con conductividad térmica de referencia a 10°C de 0.040 W/ (m.K).

Tabla 25 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios.

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 26 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios.

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

Todos los **diámetros exteriores** de las tuberías de la instalación tienen un diámetro **inferior a 35 mm**, como máximo tienen 31.75 mm, y basándose en un rango de temperatura entre 60 y 100°C (Temperatura alcanzable cuando el sistema esté parado, por ejemplo, operaciones de mantenimiento) la selección del espesor de aislamiento para tuberías exteriores es de 40 mm (teniendo en cuenta la consideración del RITE).

Para las tuberías que discurren por la sala de máquinas la norma establece que el espesor se reduce en 10mm como bien podemos comprobar en las tablas. Luego, el espesor de aislamiento es de 30mm.

Tabla 27 Espesores de aislamiento de tuberías del hotel.

	Exterior edificio	Interior edificio
Espesor aislamiento	40 mm	30 mm

2.7 Sistema de regulación y control

Se dotará a la instalación del hotel de un sistema de regulación y control que permita mantener en todo momento las condiciones de diseño a la vez que ajuste el consumo a la demanda térmica, así como a interrumpirlo (en el caso que sea necesario). Para una mejor visualización del funcionamiento del sistema de control, es aconsejable ver el esquema de principio del hotel donde se muestra la instalación solar con acumulación centralizada.

El aparato seleccionado es el **modelo Omega Alpha** del **fabricante Chromagen**. Las características del mismo se muestran en la memoria descriptiva. Las funciones que presenta son varias:

- Termostato diferencial con funciones opcionales activables incluso después de la puesta en marcha.
- Control de funcionamiento.
- Contador de horas de funcionamiento de la bomba solar.
- Captador de tubos de vacío.
- Balance térmico.

Según el catálogo del fabricante, el termostato debe poder ser separado de la red eléctrica mediante un dispositivo suplementario con una distancia mínima de separación de 3 mm a todos los polos, o mediante un dispositivo de separación (fusible) conforme a las normas vigentes.

Las 4 sondas de temperatura (S1 a S4) se deben conectar con cualquier polaridad a los bornes:

- Sonda 1 = 1/2 (sonda del captador)
- Sonda 2 = 3/4 (sonda del interacumulador solar)
- Sonda 3 = 5/6 (sonda del acumulador de ACS)
- Sonda 4 = 7/8 (opcional)

2.8 Selección de accesorios

En este apartado se muestran los accesorios que van a formar parte de la instalación solar del hotel:

- Válvulas de corte
 - Entrada y salida de cada grupo de captadores
 - Entrada y salida del grupo de bombeo primario
 - En el sistema de llenado y vaciado
 - Entradas y salidas del interacumulador
 - Bypass al interacumulador
- Válvulas de seguridad
 - A la salida de cada uno de los grupos de captadores
 - Junto al vaso de expansión del circuito primario
 - En el interacumulador solar
- Válvulas de retención. Se sitúan:
 - En la impulsión de las bombas montadas en paralelo.
 - En la acometida de agua fría.
 - En el sistema de llenado y vaciado de la instalación
- Purgadores de aire:
 - Uno por cada batería de captadores
- Termómetros. Se instalarán:
 - uno para el interacumulador solar,
 - uno a la salida del campo de captadores,
 - uno en la acometida hacia consumo.
- Manómetros. Se instalarán:
 - uno por cada bomba,
 - uno para el interacumulador solar,
 - uno junto al vaso de expansión
- Estructuras soporte para los captadores: El fabricante CHROMAGEN proporciona las estructuras necesarias para la unión de los captadores solares en baterías de 5. Además de las propias estructuras, también nos garantiza los elementos necesarios para su correcto

montaje (ganchos, regletas, garras térmicas, tornillería). Para la formación de baterías de 5 captadores se necesitan:

- Kit de 2 captadores
- Kit de 3 captadores
- Empalmes para unir ambos kits

3 PLIEGO DE CONDICIONES

3.1 Objeto

Los criterios utilizados para nuestra instalación son fijados en el pliego de condiciones técnicas de baja temperatura donde se definirán los equipos y materiales utilizados, montajes de los equipos y mantenimiento de estos.

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.
- Código Técnico de la Edificación – Acciones en la Edificación (CTE-DB-AE)
- Código Técnico de la Edificación – Seguridad en caso de incendio (CTE-DBSI)
- Código Técnico de la Edificación – Protección frente al ruido (CTE-DB-HR)
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones Técnicas Complementarias (ITC.BT). Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio.
- Norma UNE-EN 12975-1:2006. “Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares”.
- Norma UNE 94002: Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda de la energía térmica.
- Norma UNE 94003: Datos climáticos para el dimensionado de las instalaciones solares térmicas.
- Aparte de la Normativa de carácter obligatorio anteriormente mencionada, se utilizará otras normas como la 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. Puede ocurrir que, en ocasiones, a falta de normativa española, podrán utilizarse de organismos internacionales, tales como CER, ISO, etc. En cualquier caso, se seguirá la edición más reciente de toda la normativa mencionada, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.

Asimismo, se respetarán cualesquiera otras normativas o reglamentos mencionados en el presente pliego.

3.3 Condiciones de materiales y equipos

3.3.1 Tuberías

En los distintos circuitos cerrados los materiales aptos son las 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 ACS 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 con la norma UNE EN 1057.

Se realizará soldadura fuerte cuando la temperatura del circuito pueda superar en algún momento los 125°C. En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero según Norma UNE 100050.

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

- **Accesorios**

1- 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.

Serán siempre situados 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.

2- Juntas

El uso de las juntas de amianto queda prohibido. La presión nominal mínima será PN-10 y soportarán temperaturas que lleguen hasta los 200 °C.

3- Lubricante de roscas

Los lubricantes que no sea endurecedor o venenoso.

4- Derivaciones

Está permitido el uso de empalmes soldados. Las aberturas realizadas en las tuberías tendrán gran precisión para lograr intersecciones perfectamente acabadas.

5- Codos en bombas

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

6- Sombreretes

La protección adecuada se incluirá para cada una de las tuberías que atraviesen el tejado de acuerdo con las instrucciones de la Dirección Facultativa.

7- Guías

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

8- Termómetros

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

9- 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.

10- Manómetro

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

11- Purgadores de aire

Cuando sea necesario, y con el fin de disponer de una instalación silenciosa y evitar formación de cámaras de aire se dispondrá la tubería con pendiente ascendente hacia la dirección de flujo. Las derivaciones se harán de tal modo que se eviten retenciones de aire y se permita el paso libre del mismo. Se incluirán purgadores de aire, manuales o automáticos, en todos los puntos altos, particularmente en los puntos más elevados de los montantes principales, así como en todos los puntos necesarios, teniéndose especial cuidado en los retornos (ascensos, codos ascendentes).

En el caso de que, una vez que las redes estén en funcionamiento, se den anomalías por presencia de aire en la instalación, se 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.

12- 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. Las válvulas de vaciado necesarias serán suministradas para poder proceder con el vaciado completo de todas las tuberías y equipos.

13- Conexiones a equipos

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

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.

Materiales

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

- Válvulas de esfera:
 - Cuerpo de fundición de hierro o acero.
 - Esfera y eje de acero duro cromado o acero inoxidable.
 - Asientos, estopada y juntas de teflón. Podrán ser de latón estampado para diámetros inferiores a 1 1/2 con esfera de latón duro cromado.
- Válvulas de asiento:
 - Cuerpo de bronce (hasta 2") o de fundición de hierro o acero.
 - Tapa del mismo material que el cuerpo.
 - Obturador en forma de pistón o de asiento plano con cono de regulación de acero inoxidable y aro de teflón. No será solidario al husillo.
 - El asiento será integral en bronce o en acero inoxidable según el cuerpo de la válvula.
 - Prensa, estopas del mismo material que cuerpo y tapa.
- Válvulas de seguridad de resorte:
 - Cuerpo de hierro fundido o acero al carbono con escape conducido.

- Obturador y vástago de acero inoxidable.
- Prensa, estopas de latón. Resorte en acero especial para muelle.
 - Válvulas de retención de clapeta:
 - Cuerpo y tapa de bronce o latón.
 - Asiento y capeta de bronce.
 - Conexiones roscas hembra.
 - Válvulas de retención de muelle:
 - Cuerpo y tapa de bronce o latón.
 - Asiento y capeta de bronce.
 - Conexiones roscas hembra.
 - Resorte en acero especial para muelle.
 - Purgadores automáticos de aire:
 - Cuerpo y tapa de fundición de hierro o latón.
 - Mecanismo de acero inoxidable.
 - Flotador y asiento de acero inoxidable o de plástico.
 - Obturador de goma sintética.

3.3.3 Aislamiento

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

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

Como protección del material aislante se podrá utilizar una cubierta o revestimiento de escayola protegido con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio. En el caso de que el aislamiento este basado en espuma elastómera se podrá usar pinturas plásticas impermeables cuya exposición prolongada al sol no afecte a sus propiedades fundamentales.

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

3.3.4 Vasos de expansión

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

- Fabricante
- Marca
- Modelo

Se recomienda que los vasos 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 descargas.
- 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.
- Acoplamiento flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.
- Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto.
- Motor de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220V/1~ o 220/380V/ 3~, 50 Hz, IP.44 clase F.
- Presión de aspiración 2 maca. para 82°C.
- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, numero de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.

- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

3.3.6 Captadores

3.3.6.1 Generalidades

El captador 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 del trabajo.
- Temperatura de estancamiento a 1000 W/m^2 y $30 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Volumen del fluido de transferencia de calor.
- Peso del captador vacío.
- Lugar de fabricación.

Es recomendable que los captadores que se utilicen se ajusten a las características técnicas que se muestran a continuación:

- Material de la cubierta transparente: vidrio templado de espesor no inferior a 3 mm y transmisividad mayor o igual a 0.8.
- Distancia media entre el absorbedor y la cubierta transparente no inferior a 2 cm ni superior a 4 cm.
- Absorbedor constituido solo por materiales metálicos.

La instalación de sistemas integrados en cubierta se debería realizar mediante procedimiento acreditado por el fabricante y de forma que se garanticen las características funcionales y de durabilidad del conjunto.

Los datos para la caracterización térmica, hidráulica y mecánica del captador solar deberían proceder de los resultados del ensayo realizado conforme a la norma UNE 12975. Es importante señalar que la función de rendimiento del captador siempre está relacionada con una superficie útil y un caudal de ensayo.

3.3.6.2 Modelo de captador

Todos los captadores que integren la instalación se recomienda que sean del mismo tipo y modelo. Si no fuera posible mantener el mismo modelo en la rehabilitación o ampliación, se dispondrá de un sistema de regulación de caudal por baterías que permita que las nuevas baterías presenten el mismo caudal (diferencia máxima del 10%) que las existentes cuando circule por el circuito primario el caudal de diseño.

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

- No implique modificaciones en el caudal que circula por dicho captador fuera del rango $\pm 5\%$ respecto del caudal original de diseño unitario.

- No suponga una disminución del rendimiento térmico del sistema de captación en las condiciones habituales de operación.
- Estéticamente sean similares.

3.3.6.3 Estructura soporte y sujeción del captador

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

Todos los materiales de la estructura soporte se deberían proteger contra la acción de los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la acción combinada del aire y el agua.

Las estructuras de acero deberían protegerse mediante galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas de zinc o tratamientos anticorrosivos equivalentes. La realización de taladros en la estructura se debería llevar a cabo antes de proceder al galvanizado o protección de la estructura.

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

3.3.7 Sistema eléctrico y de control

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

Se construirá un cuadro eléctrico específico para la instalación solar. El sistema de control consistirá en un controlador digital programable e incorporará una adquisición de datos de la instalación en tiempo real, telegestionable a distancia a través de un módem ya incorporado. Los datos para 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 colectores y las zonas de estancamiento (en el caso de la piscina).
- La precisión de los sistemas de control y la regulación de los puntos de consigna asegurará que en ningún caso las bombas estén en marcha con diferencias de temperaturas menores de 3°C ni paradas con diferencias superiores a 7°C.
- La diferencia de temperatura entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial no será inferior a 3°C.
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.

3.3.8 Aparatos de medida

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

- **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.

- **Medida de caudal:**

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

La esfera de lectura, herméticamente sellada, será de alta resolución.

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

- Calibre del Contador.
- Temperatura máxima del fluido.
- Caudales:
 - En servicio continuo.
 - Máximo (durante algunos minutos).
 - Mínimo (con precisión mínima del 5 %).
 - De arranque.
- Indicación mínima de la esfera.
- Capacidad máxima de la totalización.
- Presión máxima de trabajo.
- Dimensiones.
- Diámetro y tipo de 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.

- **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 las siguientes características técnicas:

- Volumen cubicado real.
- Principales dimensiones.
- Presión de máximo trabajo.
- Situación y diámetro de las bocas de conexión.
- Situación y especificaciones de los puntos de sujeción o apoyos.
- Máxima temperatura de utilización.
- 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:

- Nombre del fabricante y razón social.
- Contraseña y fecha de registro de tipo.
- Número de fabricación.
- Volumen neto de almacenamiento en litros.
- Presión máxima de servicio.
- Los depósitos vendrán equipados de fábrica con las bocas necesarias soldadas antes de efectuar el tratamiento de protección interior. Al objeto de este pliego de condiciones 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 este autorizada su utilización por la Administración Competente.

Cuando el intercambiador está incorporado al acumulador solar, éste estará situado en la parte inferior de este 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.

Intercambiadores externos

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

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

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

3.4 Provisión de material

Los componentes instalados deberán de 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 embalados deban quedarse temporalmente a la intemperie, se colocarán con un ángulo mínimo de 20° y máximo de 80°.

3.5 Condiciones de montaje

Las condiciones de montaje 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 esta 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.

– Prueba 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.

– 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 con UNE EN 14336:2005, en función del tipo de fluido transportado.

– Pruebas de libre dilatación:

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

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

3.6.3 Pruebas finales

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

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

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

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

3.6.4 Ajustes y equilibrados

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

- Sistema de distribución de agua:

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

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

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

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

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

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

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

- Control automático:

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

3.6.5 Recepción

- 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 quedara 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 desoplativas de los resultados de las pruebas parciales y finales.
- Un manual de instrucciones de funcionamiento de los equipos principales de la instalación

- **Recepción definitiva**

Desde el acta de recepción provisional, la propiedad podrá y deberá notificar cualquier incidencia en el funcionamiento de la instalación. Transcurrido el plazo estipulado desde el acta de recepción, la Recepción Provisional se transformará en Recepción Definitiva. A partir de la Recepción Definitiva entrara en vigor la garantía.

3.7 Mantenimiento

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

- Vigilancia.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

3.7.1 Vigilancia

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

Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Puede ser llevado a cabo por el usuario.

3.7.2 Mantenimiento preventivo

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

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

El mantenimiento preventivo para instalaciones con superficie de captaciones superiores a 20 m^2 deberán de tener revisiones de la instalación cada seis meses. Y revisiones anuales para aquellas que sean inferiores a 20 m^2 .

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

3.7.3 Mantenimiento correctivo

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

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

4 PRESUPUESTO

4.1 Sistema de captación

N. Ord	Concepto	Cantidad	P.V.P (€)	Total (€)
1.1	Captador solar plano QR-E CHROMAGEN o similar: <ul style="list-style-type: none"> - Superficie útil: 2.17 m² - Caudal captador: 45 L/h*m² - Pérdida de carga captador: 1,861 mbar - Dimensiones: 2190x1090x90 mm - Peso en vacío: 35 kg - Rendimiento óptico: 69.6 % - Coeficiente de pérdida K1: 4.821 W/ m²K - Coeficiente de pérdida K2: 0.015 W/ m²K - Presión máxima de trabajo: 10 bar - Presión de operación: 8 bar - Capacidad del fluido: 1.3 Litros 	30	628	18,840
1.2	Estructura soporte cubierta plana 5 captadores 30-45º CHROMAGEN o similar:	6	566	3,396
Total				22,236.0

4.2 Sistema de acumulación

N. Ord	Concepto	Cantidad	P.V.P (€/ud)	Total (€)
1.1	Interacumulador solar LAPESA modelo MXV 3500-SSB o similar: <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad: 3500 L - Peso en vacío: 590 kg - Diámetro exterior: 1660 mm - Altura: 2580 mm - Aislamiento: espuma rígida de poliuretano inyectada en molde, libre de CFC. - Presión máxima de ACS: 8 bar - Montaje: Vertical y suelo - Número de serpentines: 5 - Capacidad de serpentines: 48 L - Superficie de intercambio: 8.4 m² - Pérdida de carga serpentín: 43 mbar 	1	14,125.0	14,125.0
Total				14,125.0

4.3 Sistema hidráulico

N. Ord	Concepto	Ud.	Cantidad	P.V.P (€)	Total (€)
1.1	Bomba circuito primario WILO Helix V205-1 16/E/KS/400-50 o similar: <ul style="list-style-type: none"> - Altura: 669 mm - Peso: 26 kg - Potencia absorbida nominal: 550 W - Intensidad nominal: 1.32A - Velocidad nominal: 2900 rpm - Presión máxima de trabajo: 16 bar - Temperatura ambiente máxima: 50°C - Alimentación eléctrica: 3~400V, 50Hz - Caudal bomba: 3.2 m³/h - Altura manométrica: 18.3m 	Ud.	2	1026	2,052
1.2	Vaso de expansión SMR-P (35 – 100 Litros) membrana recambiable IBAIONDO o similar: <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad: 35 Litros - Peso: 10 kg - Presión máxima de trabajo: 10 bar - Altura: 615 mm - Diámetro: 360 mm - Conexión agua (R): 1" - Rango de temperatura: [-10, 100]°C 	Ud.	1	102.07	102.07
1.3	Tubería de cobre medicinal D=28mm Salvador Escoda S. A o similar:	m	74.8	13.31	5,483.59
1.4	Tubería de cobre medicinal D=35mm Salvador Escoda S. A o similar:	m	337.75	16.44	5,552.61
1.5	Aislamiento Coquilla preaislada para energía solar ARMAFLEX ACE S de ARMACELL 35 mm o similar: (Circuito primario interior sala de máquinas)	m	25.8	8.03	207.18
1.6	Aislamiento Coquilla preaislada para energía solar ARMAFLEX ACE S de ARMACELL 42 mm o similar: (Circuito primario exterior cubierta)	m	386.75	8.71	3,368.60
1.7	Codo de 90º de cobre MH de Conex Bänninger 35 mm – Comercial PROINCO o similar: (Circuito primario interior sala de máquinas)	Ud.	4	7.62	30.48
1.8	Codo de 90º de cobre MH de Conex Bänninger 42 mm – Comercial PROINCO o similar: (Circuito primario exterior cubierta)	Ud.	25	9.33	233.25

1.9	Te reducida HHH SERIE 5000 - Conex Bänninger o similar:	Ud.	20	14.58	291.6
1.10	Válvula de retención kent roscar H-H NY de STANDARD HIDRÁULICA – Comercial PROINCO de 35mm o similar:	Ud.	5	12.3	61.5
1.11	Válvula de seguridad con membrana ordinaria SV WATTS – Comercial PROINCO de 42mm o similar:	Ud.	8	68.79	550.32
1.12	Válvula de corte esférica Salvador Escoda S.A de 35mm (6 Uds. por caja) o similar:	Ud. caja	2	18.3	36.6
1.13	Válvula de corte esférica Salvador Escoda S.A de 42mm (2 Uds. por caja) o similar:	Ud.	6	29.93	179.58
1.14	Purgador de aire FLEXVENT BAXI o similar:	Ud.	6	12.7	76.2
Total					18,226.21

4.4 Sistema de control

N. Ord	Concepto	Cantidad	P.V.P (€)	Total (€)
1.1	Manómetro Salvador Escoda S. A o similar: <ul style="list-style-type: none"> - Diámetro: 50 mm - Escala: 0 – 16 bar - Temperatura máxima 	3	5.05	15.15
1.2	Termómetro Acero inoxidable Salvador Escoda S. A o similar: <ul style="list-style-type: none"> - Vaina: Latón (incluida) - Diámetro: 80 mm - Escala: 0 – 120 °C 	3	26.05	78.15
1.3	Centralita Solar Omega Alpha de CHROMAGEN o similar: <ul style="list-style-type: none"> - Entradas: 4 sondas de temperatura PT 1000 - Sonda 1: Sonda del captador - Sonda 2: Sonda del interacumulador solar - Salidas: 1 relé semiconductor - Temperatura ambiente: 0 °C ... 40 °C - Índice de contaminación: 2 - Dimensiones: 172x111x49 mm - Potencia absorbida en modo espera: < 2 W - Alimentación: 200... 240 V ~ 50...60 Hz 	1	250	250
Total				343.3

4.5 Presupuesto de la instalación

TIPO DE SISTEMA	PRECIO
Sistema de captación	22,236.0 €
Sistema de acumulación	14,125.0 €
Sistema hidráulico	18,226.21 €
Sistema de control	343.3 €

El costo de la instalación asciende al aplicar el % de IVA a:

Presupuesto total sin aplicar IVA	54,930.51 €
IVA (21%)	11,535.41 €
Presupuesto total	66,465.92 €

PRESUPUESTO TOTAL: 66,465.92 €

RATIO/m² de captación: 1,188.59 €/ m²

SESENTA Y SEIS MIL, CUATROCIENTOS SESENTA Y CINCO CON NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS.

Presupuesto de cada sistema de la instalación

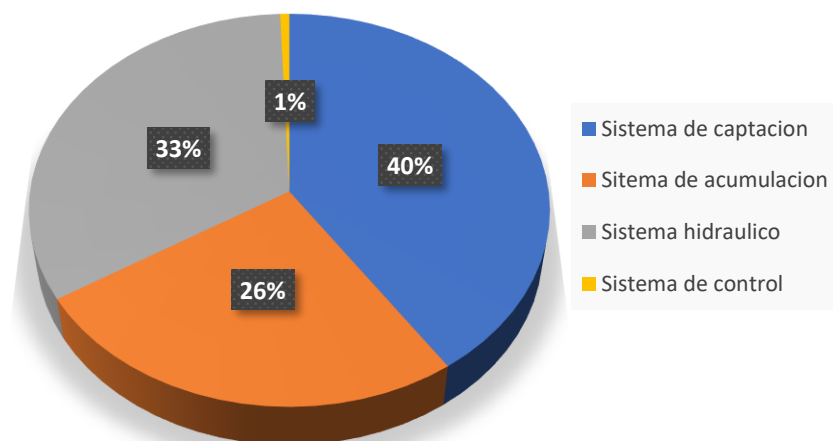
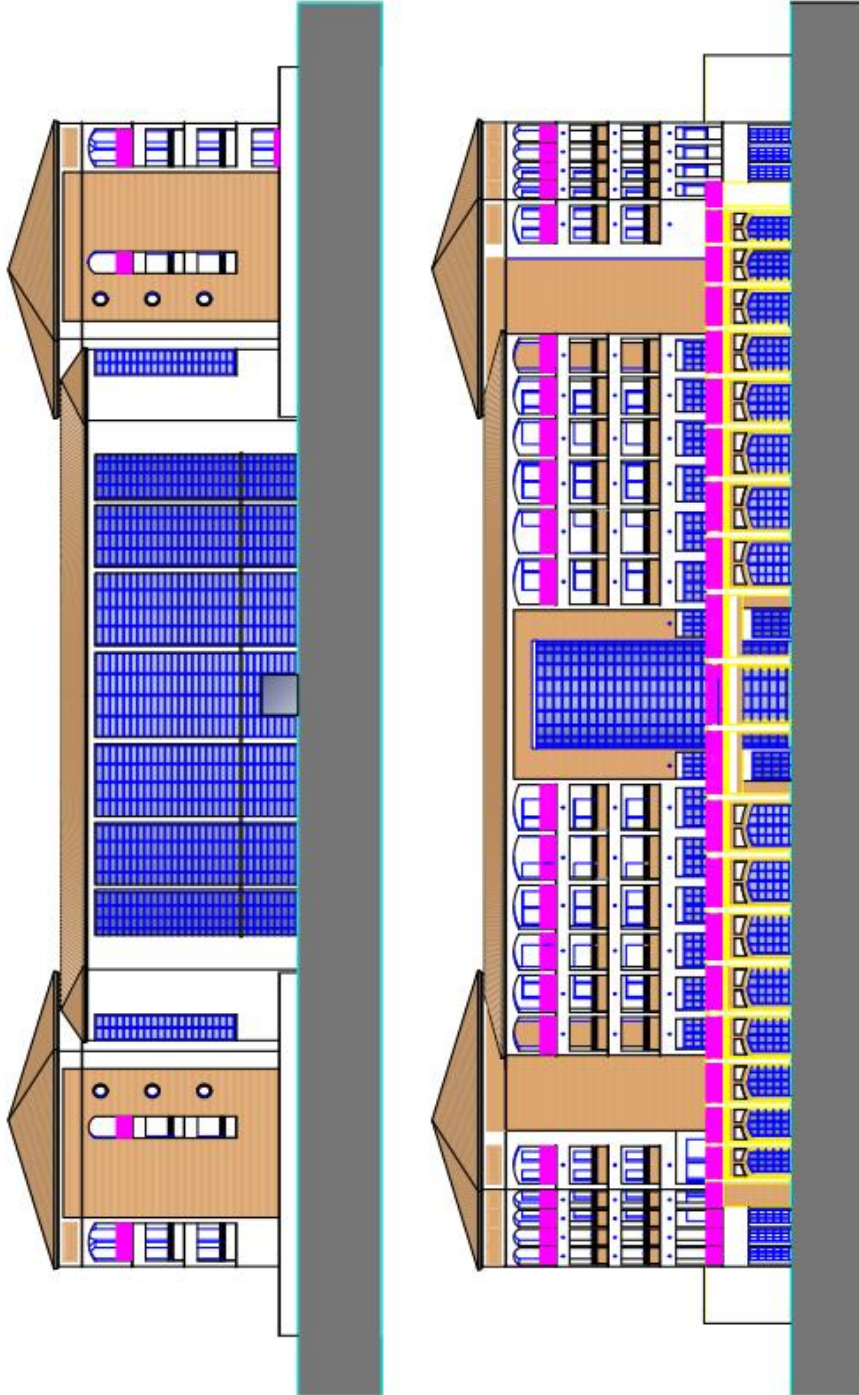


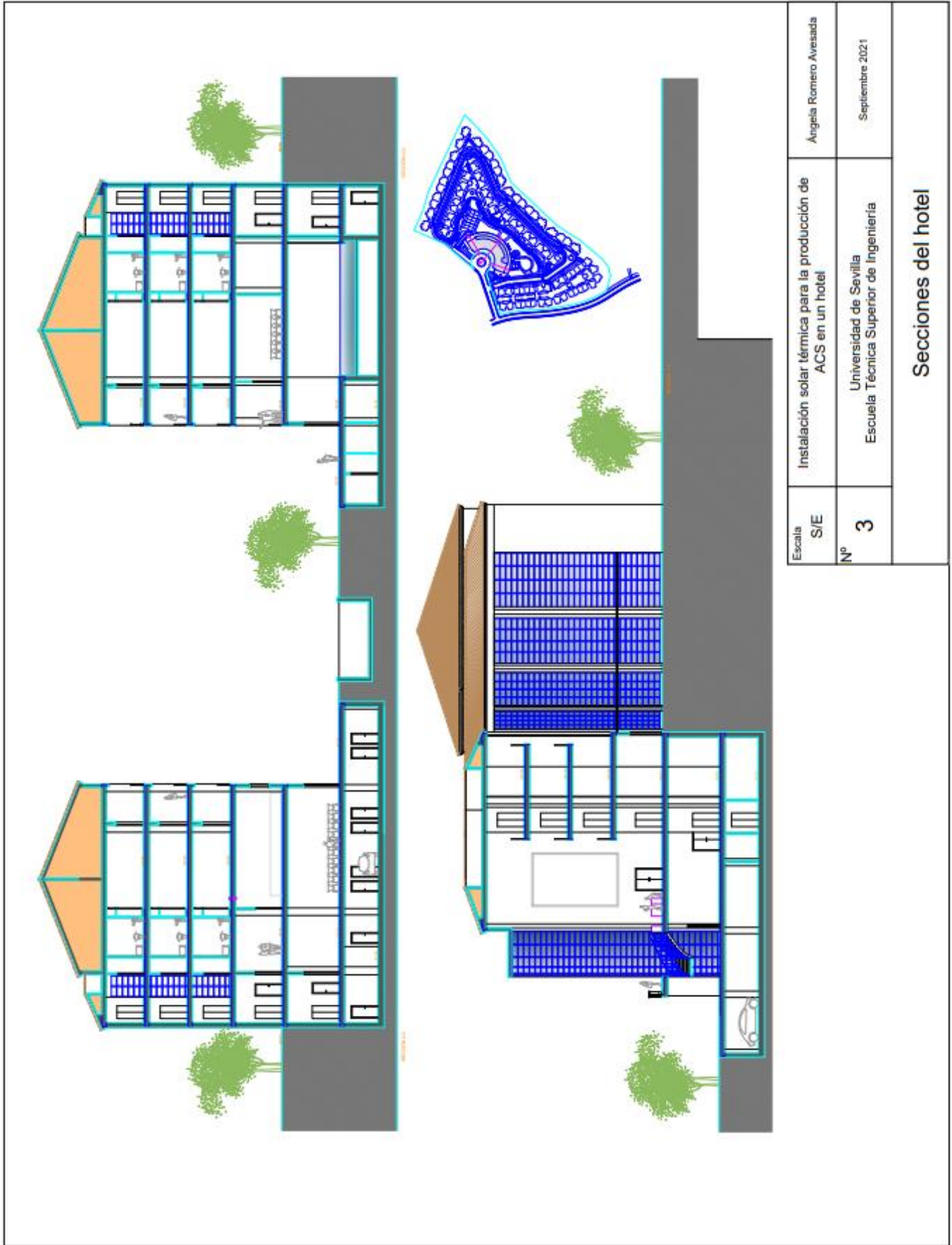
Figura 57 Desglose del presupuesto de cada sistema de la instalación solar del hotel

5 PLANOS

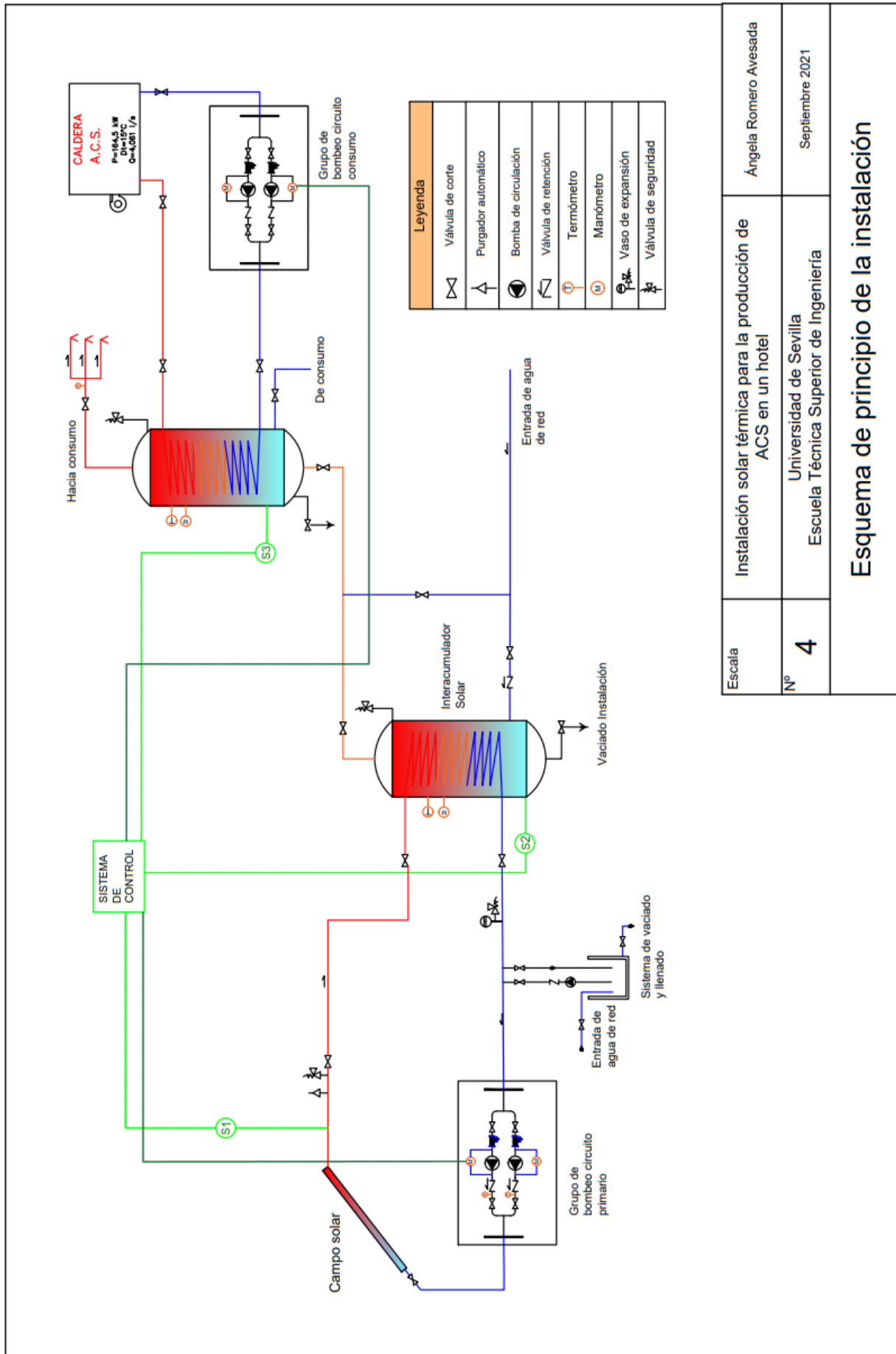




Escala S/E	Instalación solar térmica para la producción de ACS en un hotel	Ángela Romero Avesada
Nº 2	Universidad de Sevilla Escuela Técnica Superior de Ingeniería	Septiembre 2021
Vista Alzado del hotel		



Escala S/E	Instalación solar térmica para la producción de ACS en un hotel	Angela Romero Avelada
Nº 3	Universidad de Sevilla Escuela Técnica Superior de Ingeniería	Septiembre 2021
Secciones del hotel		



Escaña	Instalación solar térmica para la producción de ACS en un hotel	Ángela Romero Avesada
Nº 4	Universidad de Sevilla Escuela Técnica Superior de Ingeniería	Septiembre 2021

