

Proyecto de Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

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

Autor: Javier Menéndez Charlo

Tutores: José Julio Guerra Macho

José Luis Molina Félix

Departamento Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019





Proyecto de Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

# **Instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en un hotel**

Autor:

Javier Menéndez Charlo

Tutores:

José Julio Guerra Macho  
Catedrático de Universidad

José Luis Molina Félix  
Catedrático de Universidad

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



Proyecto Fin de Carrera: Instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en un hotel

Autor: Javier Menéndez Charlo

Tutores: José Julio Guerra Macho y José Luis Molina Félix

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*





## RESUMEN

Este proyecto tiene por objeto el diseño de una instalación de captadores de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en un hotel de dos estrellas situado en Marbella (Málaga). Es necesario que la instalación cumpla con las especificaciones técnicas exigidas por la normativa vigente y, al mismo tiempo, logre preservar el medio ambiente fomentando el uso de energías renovables.

Para ello se hará un análisis previo de las condiciones climatológicas y de la radiación solar en dicha localización, así como un estudio de la demanda de ACS por meses del hotel. Dicho estudio, a través del código técnico pertinente, definirá el porcentaje de contribución solar mínima que se exige para una instalación de estas características.

En el diseño, se realizarán todos los cálculos necesarios con el fin de dimensionar y seleccionar los equipos que sean necesarios en la instalación, cumpliendo estrictamente la normativa del Código Técnico de la Edificación (CTE) y, por otro lado, se analizará el presupuesto de la instalación completa.



# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	9
TABLA DE CONTENIDO .....	11
ÍNDICE DE FIGURAS .....	13
ÍNDICE DE TABLAS .....	15
1. MEMORIA DESCRIPTIVA .....	17
1.1 Objeto del proyecto .....	18
1.2 Antecedentes .....	18
1.3 Método de cálculo .....	20
1.4 Descripción del edificio .....	24
1.5 Descripción de la instalación .....	26
1.5.1 Principio de funcionamiento .....	26
1.5.2 Esquema de principio .....	28
1.5.3 Elementos principales de la instalación .....	30
1.6 Características técnicas de los equipos .....	35
1.6.1 Captadores solares .....	35
1.6.2 Interacumulador .....	37
1.6.4 Bomba de circulación .....	39
1.6.5 Vaso de expansión .....	39
1.7 Normativa .....	41
1.7.1 Código Técnico de la Edificación .....	41
1.7.2 Norma UNE (Una Norma Española) .....	42
1.7.3 Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación .....	42
1.8 Bibliografía .....	43
2. MEMORIA DE CÁLCULO .....	45
2.1 Introducción .....	46
2.2 Datos de partida .....	46
2.2.1 Datos geográficos .....	46
2.2.2 Datos climatológicos .....	46
2.2.3 Radiación sobre superficie inclinada .....	48
2.3 Cálculo de la demanda .....	52
2.3.1 Cálculo del consumo de agua .....	52
2.3.2 Cálculo de la demanda energética .....	53
2.4 Cálculo de la superficie de captación .....	56
2.4.1 Determinación de la fracción de demanda cubierta anual .....	56
2.4.2 Disposición de los captadores .....	59
2.4.3 Pérdidas debido a la orientación, a la inclinación y a las sombras .....	59
2.5 Cálculo del volumen de acumulación .....	62
2.6 Cálculos sobre la red de tuberías en el circuito primario .....	63
2.6.1 Caudal del circuito primario .....	64
2.6.2 Pérdida de carga en los captadores .....	64
2.6.3 Pérdida de carga en el interacumulador .....	65
2.6.4 Cálculo de la red de tuberías .....	65
2.6.5 Pérdidas de carga en las tuberías .....	71
2.7 Dimensionado del grupo de bombeo .....	75
2.8 Dimensionado del vaso de expansión .....	76
2.9 Cálculo del espesor de aislamiento .....	79
2.10 Selección de accesorios .....	80
2.10.1 Estructura soporte de los captadores .....	80
2.10.2 Accesorios del circuito primario .....	82

2.10.3 Sistema de control .....	83
ANEXO1: Certificación CHEQ4 .....	85
3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS .....	89
3.1 Objeto.....	90
3.2 Normativa aplicable .....	90
3.3 Condiciones materiales y equipos.....	91
3.3.1 Tuberías .....	91
3.3.2 Válvulas.....	93
3.3.3 Aislamiento .....	95
3.3.4 Vasos de expansión .....	95
3.3.5 Bombas.....	96
3.3.6 Captadores .....	97
3.3.7 Sistema eléctrico y de control .....	98
3.3.8 Aparatos de medida.....	99
3.3.9 Acumuladores.....	100
3.4 Provisión del material .....	102
3.5 Condiciones de montaje.....	102
3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción.....	102
3.6.1 General .....	102
3.6.2 Pruebas parciales .....	103
3.6.3 Pruebas finales.....	104
3.6.4 Ajustes y equilibrado.....	104
3.6.5 Recepción .....	105
3.7 Mantenimiento .....	106
3.7.1 Vigilancia .....	106
3.7.2 Mantenimiento preventivo .....	106
3.7.3 Mantenimiento correctivo .....	107
4. MEDICIONES Y PRESUPUESTO .....	109
4.1 Sistema de captación.....	110
4.2 Sistema de acumulación.....	110
4.3 Sistema hidráulico.....	111
4.4 Sistema de control.....	112
4.5 Presupuesto total de la instalación .....	112
5. PLANOS.....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de energía primaria en España (2000-2016).....	18
Figura 2: Mapa de irradiación global horizontal en Europa. 2014.....	19
Figura 3: Producción de energía según origen. Fuente REE 03/2018.....	19
Figura 4: Pestaña “Localización” CHEQ4 .....	21
Figura 5: Pestaña “Configuración” CHEQ4.....	21
Figura 6: Pestaña “Demanda” CHEQ4.....	22
Figura 7: Pestaña “Solar/Apoyo” CHEQ4 .....	22
Figura 8: Pestaña “Otros parámetros” CHEQ4 .....	23
Figura 9: Pestaña “Resultados” CHEQ4 .....	23
Figura 10: Localización del edificio. Google earth. ....	24
Figura 11: Fachada del hotel Lima, Marbella.....	25
Figura 12: Distribución de habitaciones de la 1ª planta del Hotel Lima, Marbella.....	25
Figura 13: Esquema del circuito de producción de ACS. Fuente: nergetia.....	27
Figura 14: Esquema de una instalación solar térmica con interacumulador .....	29
Figura 15: Captador solar plano. ....	30
Figura 16: Depósito interacumulador. ....	31
Figura 17: Caldera de diesel/gas Baxi .....	32
Figura 18: Bomba de circulación Wilo.....	33
Figura 19: Vaso de expansión .....	33
Figura 20: Válvula.....	34
Figura 21: Aislamiento de una tubería .....	34
Figura 22: Esquema del sistema de control para la bomba del circuito primario .....	35
Figura 23: Dimensiones del captador T20US.....	36
Figura 24: Características técnicas del captador T20US .....	37
Figura 25: Datos de ensayo del captador T20US .....	37
Figura 26: Caída de presión en el captador en función del caudal .....	36
Figura 27: Características técnicas del interacumulador .....	38
Figura 28: Dimensiones del interacumulador.....	38
Figura 29: Ficha técnica de la bomba.....	40
Figura 30: Catálogos de vasos de expansión .....	39
Figura 31: Contribución solar mínima en función de la demanda de ACS.....	41
Figura 32: Mapa de las zonas climáticas de España.....	46
Figura 33: Zona climática de Marbella. CHEQ4.....	47
Figura 34: Irradiación global sobre superficie horizontal e inclinada .....	52
Figura 35: Ocupación hotelera media por meses en Marbella .....	55
Figura 36: Demanda energética (teniendo en cuenta la ocupación).....	56
Figura 37: Curva de rendimiento del captador T20US.....	57
Figura 38: Contribución solar según Ncaptadores o área de captación.....	58
Figura 39: Contribución solar según Ncaptadores en serie .....	60
Figura 40: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. ....	61
Figura 41: Representación de la distancia entre captadores. ....	61
Figura 42: Contribución solar según la relación V/A o Volumen.....	63
Figura 43: Caída de presión en función del caudal másico por captador .....	64

Figura 44: Conexión entre captadores .....	67
Figura 45: Agrupación de captadores .....	68
Figura 46: Distribución de tuberías en la cubierta.....	69
Figura 47: Distribución de tuberías en la sala de máquinas (planta sótano). ....	70
Figura 48: Curva característica de la bomba de circulación.....	76
Figura 49: Partes y medidas de la estructura de soporte.....	81
Figura 50: Dimensiones de las estructuras de soporte.....	82
Figura 51: Reparto presupuesto total.....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Datos del emplazamiento del hotel .....	46
Tabla 2:Datos de radiación, T <sup>a</sup> agua de red y T <sup>a</sup> ambiente de la localidad de Marbella	47
Tabla 3:Declinación solar y ángulo horario por meses .....	48
Tabla 4:Irradiación global horizontal y extraterrestre e índice de claridad medio .....	49
Tabla 5:Irradiación difusa y directa.....	50
Tabla 6:Irradiación global sobre superficie horizontal e inclinada .....	51
Tabla 7:Demanda de referencia a 60 °C .....	53
Tabla 8:Demanda energética .....	54
Tabla 9:Demanda energética (teniendo en cuenta la ocupación) .....	55
Tabla 10:Contribución solar mínima anual para ACS [%].....	57
Tabla 11:Contribución solar según Ncaptadores o área de captación .....	58
Tabla 12:Contribución solar según Ncaptadores en serie .....	59
Tabla 13:Contribución solar según la relación V/A o Volumen. ....	62
Tabla 14:Contribución solar para la configuración final.....	63
Tabla 15:Caudales límites según el diámetro de la tubería. ....	66
Tabla 16:Pérdidas de carga lineal en tramos rectos.....	70
Tabla 17:Longitudes equivalentes de accesorios en tuberías de cobre. ....	71
Tabla 18:Pérdidas de carga debido a los accesorios contenidos en cada tramo. ....	72
Tabla 19:Pérdidas de carga debido a los equipos contenidos en cada tramo. ....	72
Tabla 20:Pérdida de carga total por tramo.....	73
Tabla 21:Pérdida de carga total por rama. ....	74
Tabla 22:Datos característicos de tuberías de cobre.....	77
Tabla 23:Espesores mínimos de aislamiento. Procedimiento simplificado. RITE.....	79
Tabla 24:Espesor de aislamiento de tubería por tramos. ....	80
Tabla 25:Plan de vigilancia .....	106
Tabla 26:Plan de mantenimiento del sistema de captación .....	107
Tabla 27:Plan de mantenimiento del sistema de acumulación .....	107
Tabla 28:Plan de mantenimiento del circuito hidráulico.....	108
Tabla 29:Plan de mantenimiento del sistema de control .....	108
Tabla 30:Plan de mantenimiento del sistema de energía auxiliar .....	108





## 1. MEMORIA DESCRIPTIVA

## 1.1 Objeto del proyecto

Este proyecto tiene por objeto el diseño de una instalación de captadores de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en un hotel de dos estrellas situado en la costa del sol, concretamente en la localidad de Marbella (Málaga). Para ello se hará un análisis previo de las condiciones climatológicas y de la radiación solar en dicha localización, así como un estudio de la demanda de ACS por meses del hotel. Dicho estudio, a través del código técnico pertinente, definirá el porcentaje de contribución solar mínima que se exige para una instalación de estas características.

## 1.2 Antecedentes

“El futuro depende de la capacidad de los países para adaptarse a los cambios que se están produciendo en el equilibrio entre su oferta y su demanda de energía”, afirma la IEA (Agencia Internacional de la Energía).

La estructura de fuentes de producción de energía en España ha ido evolucionando con el paso de los años, desde la energía nuclear y el carbón hasta las renovables actuales. Empresas como Iberdrola y Endesa han contribuido al país con nuevas fuentes de generación, como la eólica y la solar. En la figura 1 se observa la evolución de la energía primaria de los últimos años en España y en la Unión Europea. La utilización de gas natural ha descendido, mientras que la energía renovable ha incrementado su consumo.

Sin embargo, España siempre ha tenido que importar fuentes de energía (en torno al 70% de la energía que consume), como el petróleo y el gas, debido a la escasez de los mismos en nuestro país. Esta dependencia supone un lastre económico para el país.

Además, cabe destacar el compromiso de España con sus socios europeos sobre el objetivo para 2020 en la lucha contra el cambio climático, para que el 20% de la energía consumida sea energía de fuentes renovables.

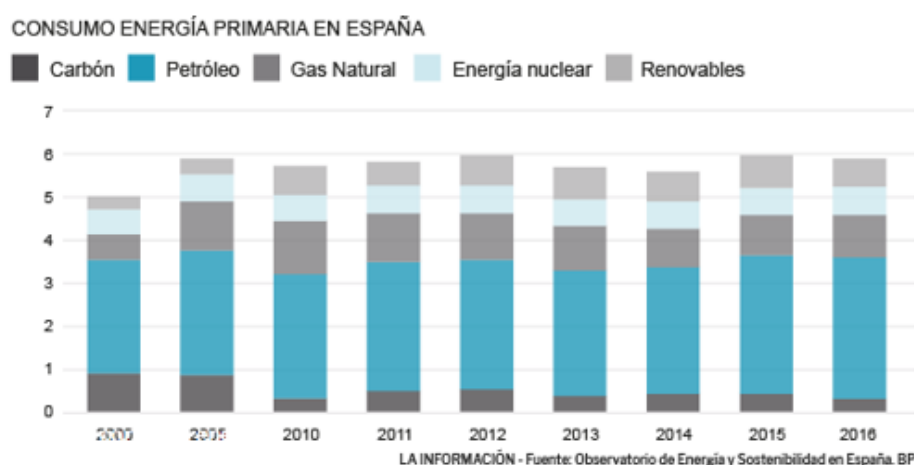


Figura 1: Consumo de energía primaria en España (2000-2016).

Las condiciones geográficas de nuestro país, su clima y gran longitud de costas proporciona una gran ventaja a la hora de explotar las fuentes de energía renovables, ya que, debido a su posición geográfica, España goza de una alta radiación solar durante todo el año (como se observa en la Figura 2)

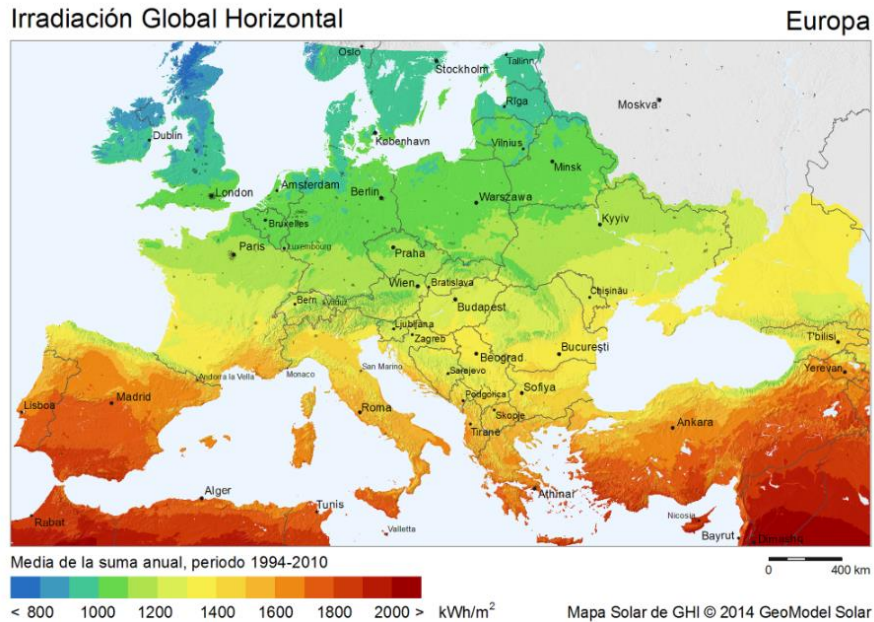


Figura 2: Mapa de irradiación global horizontal en Europa. 2014.

La energía termosolar aprovecha esta fuente de energía, el Sol. Esta energía convierte la radiación solar en calor para, posteriormente, usarlo tanto en actividades de uso doméstico o de uso industrial.

En la figura 3 se puede apreciar el porcentaje de energía que se produce a partir de energía solar térmica.

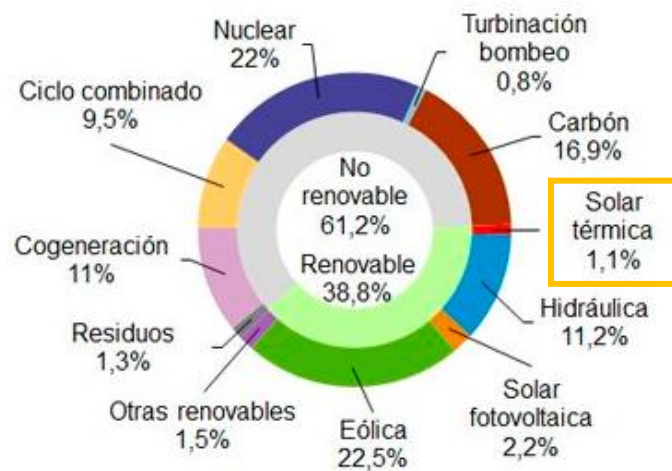


Figura 3: Producción de energía según origen. Fuente REE 03/2018

Como principales ventajas de esta fuente de energía hay que señalar, aparte del ahorro económico y la preservación del medio ambiente, es que la energía procede de una fuente inagotable y gratuita, que no depende del precio del gas y la electricidad y tiene un costo de instalación recuperable a mediano plazo.

Como desventaja, para el uso doméstico, es que hay épocas del año en la que tenemos menos sol, que además coincide que es cuando más lo necesitamos.

### **1.3 Método de cálculo**

Con el objetivo de calcular la superficie de captación, el volumen de acumulación y el porcentaje de demanda cubierta por la instalación, usaremos un software abierto y gratuito conocido como CHEQ4. Éste usa la metodología de cálculo Metasol, metodología basada en curvas obtenidas a partir de los resultados de decenas de miles de simulaciones dinámicas realizadas con TRNSYS (en <https://www.cheq4.idae.es>, consultado en mayo 2019).

“Este programa está desarrollado por IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) y ASIT (Asociación Solar de la Industria Térmica) para facilitar a todos los agentes participantes en el sector de la energía solar térmica de baja temperatura la aplicación, cumplimiento y evaluación de la sección HE4 incluida en la exigencia básica HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (CTE).

CHEQ4 permite definir una amplia variedad de instalaciones solares introduciendo un mínimo de parámetros del proyecto, asociados a cada configuración del sistema, y de esta manera, obtener la cobertura solar que ese sistema proporciona sobre la demanda de energía para ACS y piscina del edificio.

Además, CHEQ4 genera junto con el informe un documento de verificación (ANEXO 1) donde figuran los principales parámetros de la instalación, de manera que estos pueden ser verificados por los agentes implicados en labores de control de la ejecución de las instalaciones.

El informe favorable generado por parte de la aplicación será suficiente para acreditar desde el punto de vista energético, los requisitos establecidos en la sección HE4. A pesar de esto, un informe en el que no se cumpla la contribución solar mínima utilizando el programa no invalida la posibilidad de demostrar su cumplimiento mediante otros procedimientos.”


Es importante subrayar que CHEQ4 no se trata de una herramienta de diseño, si no de comprobación voluntaria.

Para obtener el informe en cuestión necesitamos los siguiente datos y parámetros, que van apareciendo en cuadros de diálogo en la herramienta CHEQ4 (Figuras 4 a 9):

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

Provincia:       Municipio:       Zona climática: Zona V      Latitud: 36° 30'

Mapa provincia



Altura municipio seleccionado (m): 24

Altura de la instalación (m):

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	10.0	11.9	12.0
Febrero	13.0	11.9	12.6
Marzo	17.5	12.9	13.8
Abril	22.1	13.9	15.6
Mayo	25.2	15.9	18.5
Junio	28.3	17.9	21.9
Julio	28.7	19.9	24.5
Agosto	25.4	19.9	25.1
Septiembre	20.7	18.9	22.9
Octubre	14.7	15.9	18.9
Noviembre	10.5	13.9	14.9
Diciembre	8.5	11.9	12.4
Promedio	18.7	15.4	17.8

Localización  
 Configuración  
 Demanda  
 Solar/Apoyo  
 Otros parámetros  
 Resultados

Figura 4: Pestaña "Localización" CHEQ4

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

CONSUMO ÚNICO      CONSUMO MÚLTIPLE

Instalación con sistema prefabricado      Instalación con todo centralizado  
 Instalación con interacumulador      Instalación con apoyo distribuido  
 Instalación con intercambiador independiente      Instalación con acumulación distribuida  
 Instalación con intercambiador y piscina cubierta      Instalación con intercambio distribuido

**INSTALACIÓN CON INTERACUMULADOR**

Sistema solar térmico para producción de ACS en instalaciones de consumo único con acumulador solar, intercambiador interno y válvula termostática.

Localización  
 Configuración  
 Demanda  
 Solar/Apoyo  
 Otros parámetros  
 Resultados

Figura 5: Pestaña "Configuración" CHEQ4

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

Número de personas:

Demanda calculada (l/día a 60 °C): 4,284

**CONSUMO MÚLTIPLE**

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo B	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo C	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Tipo D	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		

Demanda calculada (l/día a 60 °C):

**CONSUMO TOTAL**

Otras demandas (l/día a 60°C):

Demanda total (l/día a 60°C): 4,284

**CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA**

**OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
	75	80	90	100	100	100
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
	100	100	90	80	70	75

Figura 6: Pestaña "Demanda" CHEQ4

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

**CAPTADORES**

Empresa:   
 Marca/Modelo:

**Datos de ensayo**

Área (m2)	1.9
n0 (-)	0.8
a1 (W/m2K)	3.93
a2 (W/m2K2)	0.026
Qtest(l/hm2)	72
k50	0.82
Laboratorio	INTA
Certificación	NPS-15112

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

**CAMPO DE CAPTADORES**

Núm. captadores:  Captadores en serie:  Pérdidas sombras (%):   
 Orientación (°):  Inclinación (°):  Área total captadores (m2): 91.20

**CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO**

Caudal prim.(l/h):  Anticongelante (%):  Long. circuito (m):   
 Diám. tubería (mm):  Esp. aislante (mm):  Aislante:

**SISTEMA DE APOYO**

Tipo de sistema:   
 Tipo de combustible:

Figura 7: Pestaña "Solar/Apoyo" CHEQ4

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

Volumen total (l)  
 Vol/Área (l/m<sup>2</sup>) 65.79

VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES  
 Tipo A (l)  Tipo C (l)   
 Tipo B (l)  Tipo D (l)   
 Volumen total (l) 0 Vol/Área (l/m<sup>2</sup>)

DISTRIBUCIÓN  
 Long. circuito (m)   
 Diám.tubería (mm)   
 Esp. aislante (mm)  T. imp.(°C)   
 Aislante genérico

DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES  
 Long. total (m)   
 Diám. tubería (mm)   
 Esp. aislante (mm)   
 Aislante

PISCINA CUBIERTA  
 Altura (m)  Temp. ambiente (°C)   
 Apertura diaria (h)  Temp. piscina (°C)   
 Superficie lámina (m<sup>2</sup>)  Renov. volumen día (%)   
 Humedad relativa (%)  Ocupación (pers/m<sup>2</sup>)

Localización  
 Configuración  
 Demanda  
 Solar/Apoyo  
 Otros parámetros  
 Resultados

Figura 8:Pestaña "Otros parámetros" CHEQ4

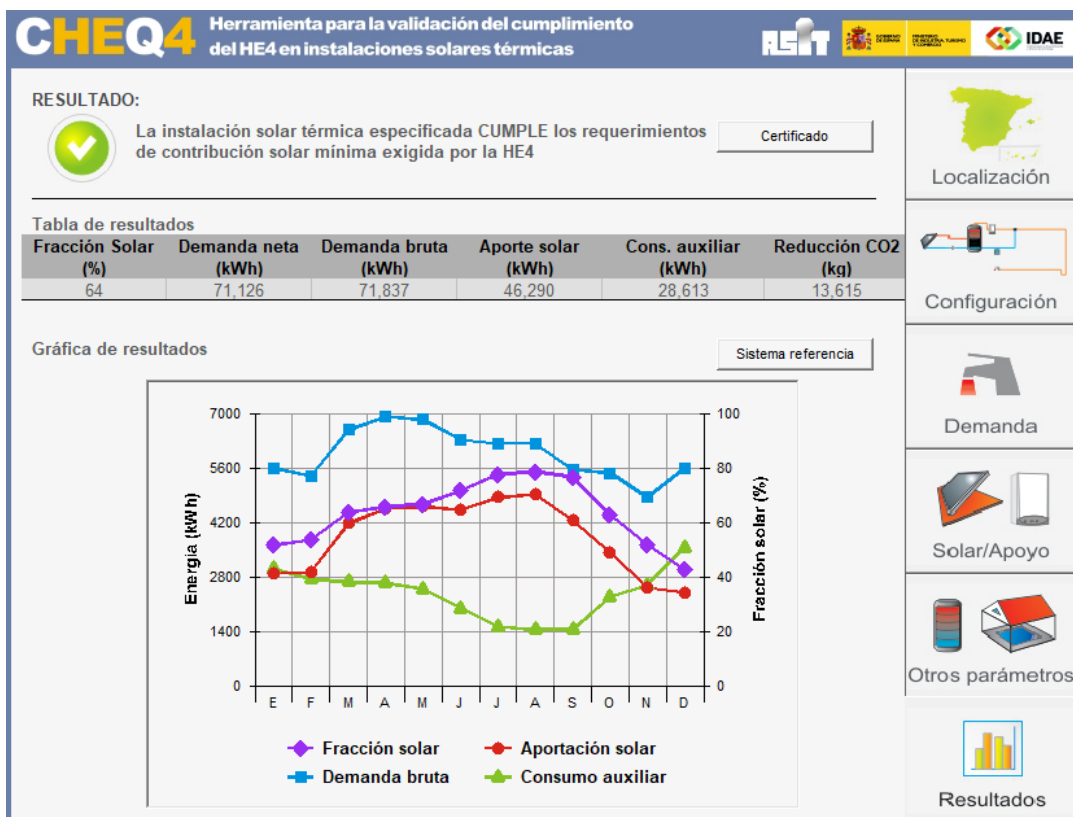
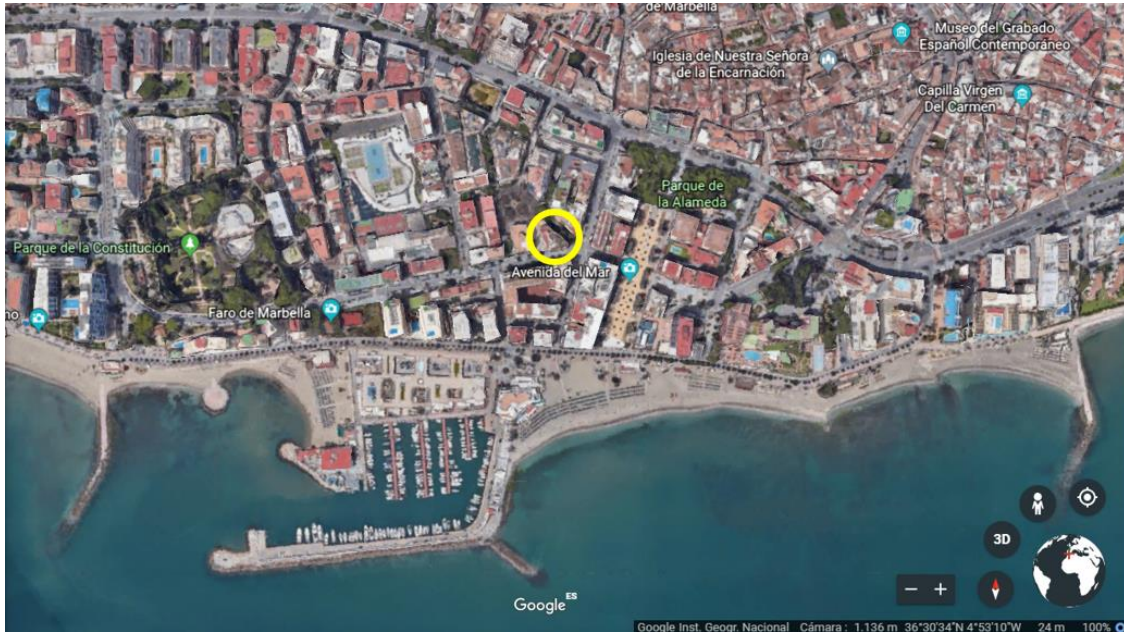


Figura 9:Pestaña "Resultados" CHEQ4



## 1.4 Descripción del edificio

El hotel Lima se encuentra en la costa del sol malagueña, en concreto en la localidad de Marbella, a pocos metros del puerto deportivo de Marbella y de la playa, a una latitud de  $36.51^\circ$  y longitud de  $-4.89^\circ$  (Figura 10).



*Figura 10: Localización del edificio. Google earth.*

Marbella destaca por su privilegiada situación geográfica, bañada por el mediterráneo, a medio camino entre Málaga y Gibraltar (ambos con aeropuertos internacionales). Marbella basa su economía en el turismo, por lo que los hoteles mantienen una alta ocupación todo el año pese a ser una ciudad costera.

El hotel Lima es un hotel dos estrellas construido por el estudio de arquitectura sevillano T10team. En él encontramos un total de 7 plantas habitables (se puede observar su fachada en la figura 11), donde se distribuyen 9 habitaciones dobles por planta, además del sótano, la planta baja y la azotea (con su correspondiente cubierta) con un proyecto de piscina exterior que finalmente no se llevará a cabo. En total tiene una ocupación máxima de 126 personas (en <http://t10team.com/en/to-project/hotel-lima/>, consultado en mayo 2019).

La distribución de habitaciones por plantas es prácticamente idéntica. Las habitaciones varían ligeramente en forma y tamaño, pero poseen la misma estructura por lo que la demanda de ACS es la misma para todas las habitaciones (Figura 12).





*Figura 11: Fachada del hotel Lima, Marbella.*



*Figura 12: Distribución de habitaciones de la 1ª planta del Hotel Lima, Marbella.*

La fachada sur esta ligeramente orientada al este, unos 8°. Dispone de una cubierta en la azotea que posee un tamaño suficiente para albergar todos los captadores solares de la instalación.

## **1.5 Descripción de la instalación**

La instalación de ACS abastecerá a todas las habitaciones del hotel de manera generalizada.

La configuración con la que se lleva a cabo el proyecto es de una instalación con interacumulador.

La caldera auxiliar y la red de distribución ya se encuentran instaladas en el edificio. La caldera es de gasóleo, BAXI NHF 230, con una potencia útil de 230 kW y una capacidad de 176 litros, que calentará el fluido caloportador para posteriormente hacerlo pasar por el serpentín de los interacumuladores de la marca TERMICOL, modelo ATB-3000, con una capacidad de 3000 litros cada uno.

### **1.5.1 Principio de funcionamiento**

En esta instalación, como en cualquier otra instalación solar térmica de baja temperatura, se trabaja aprovechando la energía procedente de la radiación solar para la producción de agua caliente.

El rango de temperaturas de trabajo de este tipo de instalaciones se adapta a aplicaciones del sector doméstico y del terciario, como son los sistemas de climatización de piscinas, apoyo a sistemas de calefacción y necesidades de ACS.

El captador solar es el elemento fundamental de cualquier sistema solar térmico. Se encarga de recibir la energía solar incidente y transmitirla al fluido circulante. La radiación solar llega al captador y atraviesa una primera capa transparente. Después incide sobre una placa metálica llamada absorbedor, que se calienta y transmite este calor al fluido.

Las instalaciones solares de baja temperatura han tenido una buena aceptación en el mercado y es de obligatoria instalación en muchas ciudades y pueblos, aunque no ha llegado todavía a los niveles esperados de implantación.

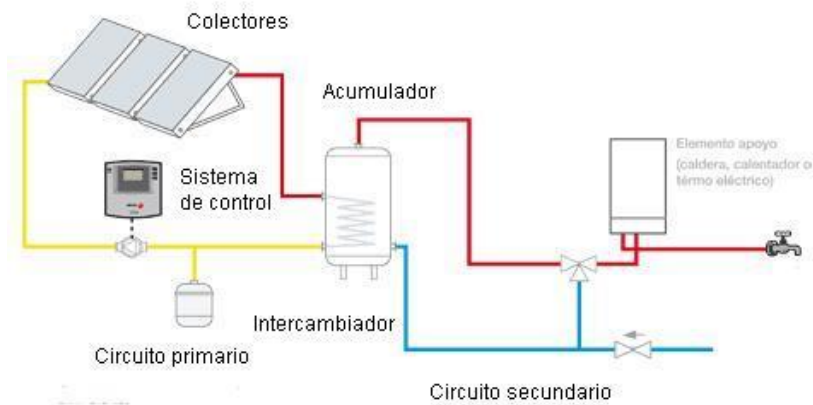


Figura 13: Esquema del circuito de producción de ACS. Fuente: nergetia.

Las instalaciones solares térmicas, como puede verse de manera simplificada en la figura 13, se componen principalmente de los siguientes sistemas:

- **Sistema de captación:**  
Donde encontramos a los colectores. Este sistema se encarga de la transformación de energía solar en energía térmica del fluido caloportador mediante placas solares (captadores)
- **Sistema de intercambio y sistema de acumulación:**  
En esta instalación, ambos sistemas los abarca un interacumulador que cumple ambas funciones simultáneas.  
El sistema de intercambio se encarga de transferir la energía procedente del fluido caloportador que se ha mencionado anteriormente a otro fluido, en este caso agua, que será posteriormente usada como ACS.  
El sistema de acumulación se encarga de almacenar dicha agua para cuando se demande su uso. Se intenta mantener la temperatura sin pérdidas térmicas mediante un buen aislamiento del depósito.
- **Sistema auxiliar:**  
Es el sistema que encontramos previamente en nuestra instalación, la instalación convencional, que se encarga de producir la energía adicional necesaria para cubrir la demanda cuando el sistema de captación no es capaz de cubrirla en su totalidad.
- **Sistema hidráulico:**  
Se encarga de distribuir por toda la instalación la energía contenida en el fluido. Con origen en el sistema de captación y el sistema auxiliar hasta el punto de consumo, pasando por el sistema de intercambio y el sistema de acumulación.

- **Sistema de regulación y control:**

El objetivo básico del sistema de regulación y control es conseguir una cantidad suficiente de fluido con una temperatura de valor igual al de consigna para un correcto funcionamiento de la instalación en todo momento.

Para controlar que no la temperatura del fluido no llegue a las temperaturas límites de la instalación, se instala un módulo de control diferencial, que compara la temperatura del fluido a la salida de los captadores con la temperatura del fluido que se encuentra en la parte inferior del acumulador.

Además, el sistema de control se encarga de optimizar el uso del sistema de apoyo convencional, mandando orden de cuando debe y cuando no debe funcionar.

### **1.5.2 Esquema de principio**

En el siguiente esquema (Figura 14), se observa de forma más detallada los elementos anteriormente mencionados de la instalación, así como otros elementos: Bombas, válvulas, tuberías, termómetros, manómetros, etc.

Mediante este esquema se puede describir brevemente el funcionamiento de la instalación:

1. En primer lugar, se recibe energía procedente del sol en los captadores y se transmite la energía a un fluido (fluido caloportador) que circula por el circuito primario.  
Gracias a la bomba del circuito primario, este fluido llega hasta el serpentín del interacumulador y posteriormente regresa hacia los captadores para recomenzar el ciclo.
2. En el interacumulador hay una transferencia de energía térmica entre el fluido caloportador del circuito primario, que circula a través del serpentín del interacumulador, y el agua del circuito secundario, que ocupa el espacio restante del interacumulador.
3. El agua del circuito secundario se introduce por la parte inferior del interacumulador para que sea calentada.  
Se realiza un by-pass al interacumulador por si fallara el circuito primario (de captación solar).
4. En la parte superior del interacumulador se encuentra la salida para el agua caliente. El agua pasará por otro interacumulador donde se calentará hasta la temperatura de consumo adecuada en caso de no lograrse previamente. Funciona de la misma manera, pero esta vez, en lugar de obtener la energía del fluido

caloportador de captadores solares, se obtendrá la energía del fluido caloportador de una caldera auxiliar de gasoil.

5. Finalmente, el agua saldrá directa a los puntos de consumo.

El sistema de control es el encargado de coordinar toda la instalación.

Si mediante los sensores se detecta que la diferencia de temperatura entre el depósito de acumulación y la salida de los captadores es mayor de  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la centralita manda a la bomba una orden para que ésta no pare de funcionar.

Por el contrario, si se detecta que la diferencia de temperatura entre el fluido a la salida de los captadores y la del fluido en el depósito de acumulación es menor a  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , entonces, la centralita manda a la bomba una orden para que la circulación pare.

De igual forma se trabaja en el circuito auxiliar con la caldera y el interacumulador auxiliar. Si la temperatura del agua en el depósito auxiliar es inferior a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el sistema de control arranca la bomba y la caldera auxiliar.

Además, el sistema de control será el encargado de evitar que se excedan las temperaturas máximas operativas de la instalación y también de que el fluido caloportador no descienda por debajo de una temperatura  $3^{\circ}\text{C}$  superior a la temperatura de congelación de este, mandando en este último caso una orden a la bomba para que entre en funcionamiento y así evitar la congelación en captadores.

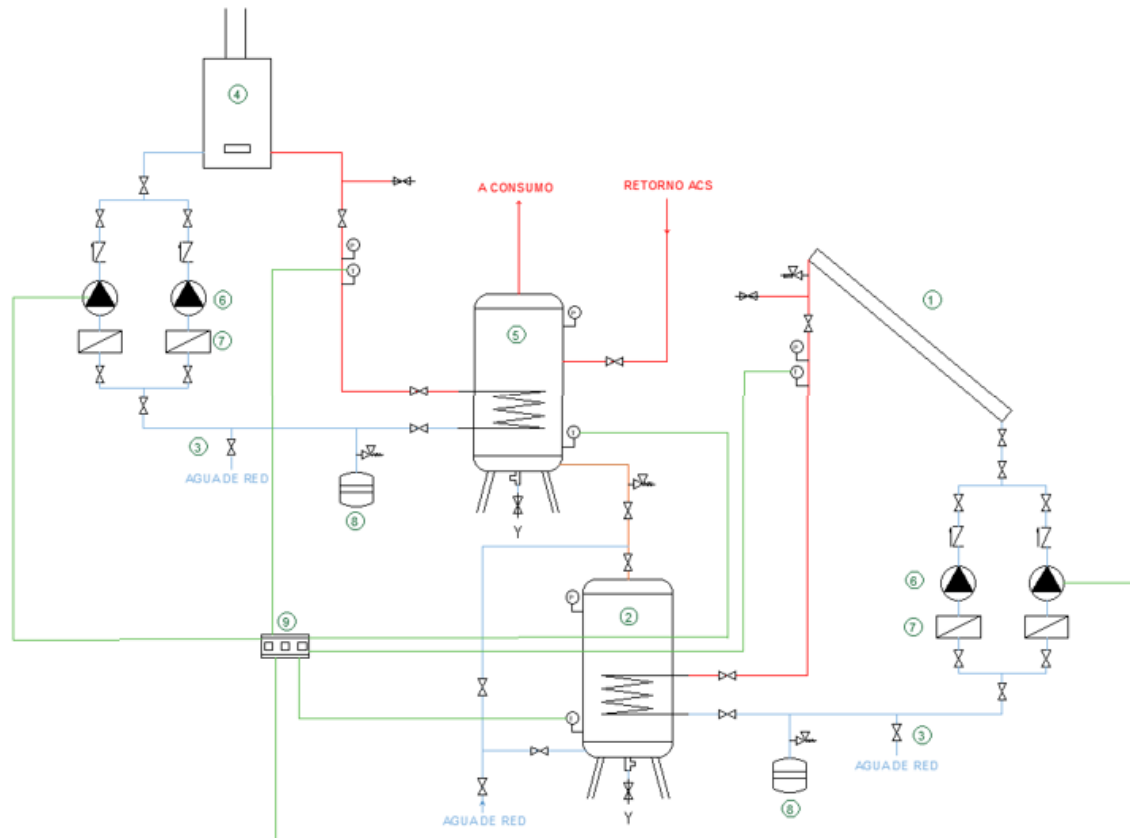


Figura 14: Esquema de la instalación solar térmica. Elaboración propia

### 1.5.3 Elementos principales de la instalación

- Captadores solares planos

El captador solar plano (CSP) es un intercambiador de calor donde se transfiere la energía procedente de la radiación solar a un fluido contenido en el interior del mismo con el fin de aumentar su energía térmica (Figura 15).

Es un captador sin concentrador, sin sistema de seguimiento y que capta tanto la radiación directa como difusa.

Se genera así energía térmica de baja temperatura para usos domésticos o comerciales.

Los principios básicos que rigen el funcionamiento del captador plano son los siguientes:

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

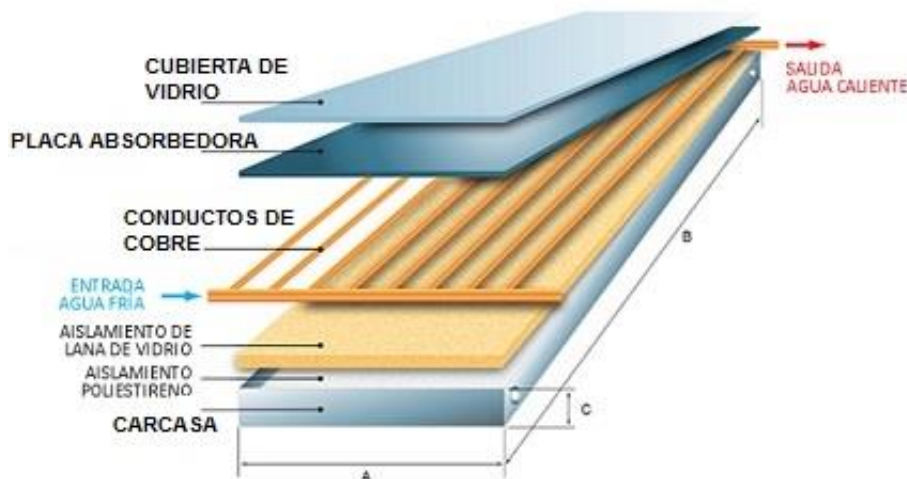


Figura 15: Captador solar plano.

- Depósito acumulador

Debido al desfase que existe entre la demanda y el aporte de la energía solar se hace indispensable una forma de almacenar la energía para poder cubrir la demanda de ACS

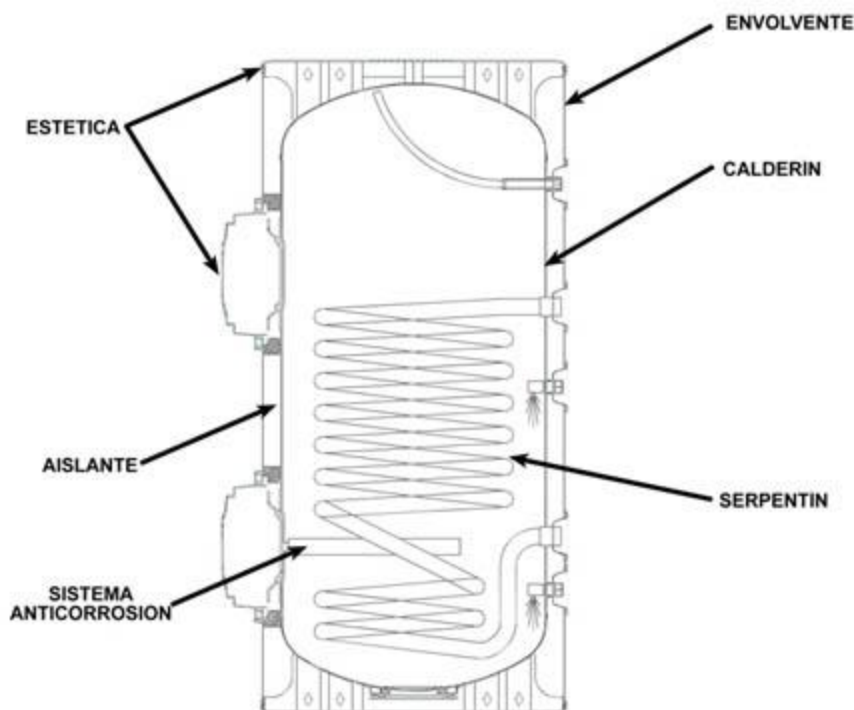
que se produzca en cualquier momento, aunque no se disponga de radiación solar en dicho momento.

Los depósitos se cargan en las horas centrales del día, cuando más radiación solar llega. Gracias al aislamiento del depósito es posible disponer de ACS en las horas de más demanda, a última hora de la tarde y a primera hora de la mañana.

Los depósitos se suelen diseñar de tal forma que posean una forma cilíndrica y una disposición vertical. Este aspecto nos genera el fenómeno de estratificación, fenómeno que perseguimos para tener un control sobre la distribución de temperaturas dentro del depósito ya que el agua caliente se sitúa en la parte superior del depósito (debido al descenso de densidad que sufre el fluido al calentarse) mientras que el agua fría se aloja en la parte inferior del mismo.

Un interacumulador cumple con dos funciones ya que, al ser un depósito con un serpentín en su interior, cumple tanto la función de almacenaje como la de intercambiador de calor (Figura 16).

El primer interacumulador portará en su serpentín un fluido caloportador calentado en los captadores mientras el otro portará en su serpentín un fluido caloportador calentado en la caldera convencional.



*Figura 16: Depósito interacumulador.*

- Caldera convencional (Figura 17)

Debido a que el aporte de energía solar no es “controlable” necesitamos un generador de energía térmica que sea fiable y proporcione energía térmica suficiente para cubrir la demanda cuando no sea posible cubrirla en su totalidad mediante la energía solar.

Si se quiere disponer siempre de ACS es necesario colocar una caldera convencional, eléctrica o de biomasa.

La caldera convencional, como ya se ha mencionado, calentará un fluido caloportador que se hará pasar por el serpentín de un interacumulador.



*Figura 17: Caldera de diesel/gas Baxi*

- Bombas (Figura 18)

Las bombas transforman la energía con la que es accionada (mecánica generalmente) en energía del fluido incompresible que mueve por los captadores solares y por los interacumuladores. Se accionan mediante motores eléctricos y deben ser de frecuencia variable para poder así trabajar con diferentes condiciones de operación.

- Vasos de expansión (Figura 19)

Los vasos de expansión se usan con el fin de absorber las variaciones de volumen producidos por las variaciones de temperatura en el fluido caloportador que se encuentra contenido en un circuito cerrado.

Gracias a estos elementos se consigue mantener la presión dentro de los límites del circuito evitando además pérdidas y reposiciones del fluido.





*Figura 18: Bomba de circulación Wilo.*



*Figura 19: Vaso de expansión*

- Válvulas (Figura 20)

Las válvulas se usan en circuitos hidráulicos para regular la presión, el caudal, enviar señales y decidir por dónde va el fluido.

Se pueden agrupar en tres categorías en general: Las válvulas de control de flujo, las de control de presión y las de control direccional.



*Figura 20:Válvula*

- Aislamiento (Figura 21)

Un buen aislamiento de circuito de tuberías y todos los equipos en general es esencial para evitar pérdidas de calor y poder trabajar con la temperatura de operación correcta.



*Figura 21::Aislamiento de una tubería*

- Sistema de regulación y control (Figura 22)

La función del sistema de regulación y control es asegurar el correcto funcionamiento de todos los elementos de la instalación. Este sistema se encarga de mandar órdenes a bombas y válvulas según las mediciones que se reciban de dispositivos, como manómetros, termómetros etc.

Es muy importante por ejemplo para evitar heladas en el circuito mediante circulaciones forzadas o para una parada de emergencia.

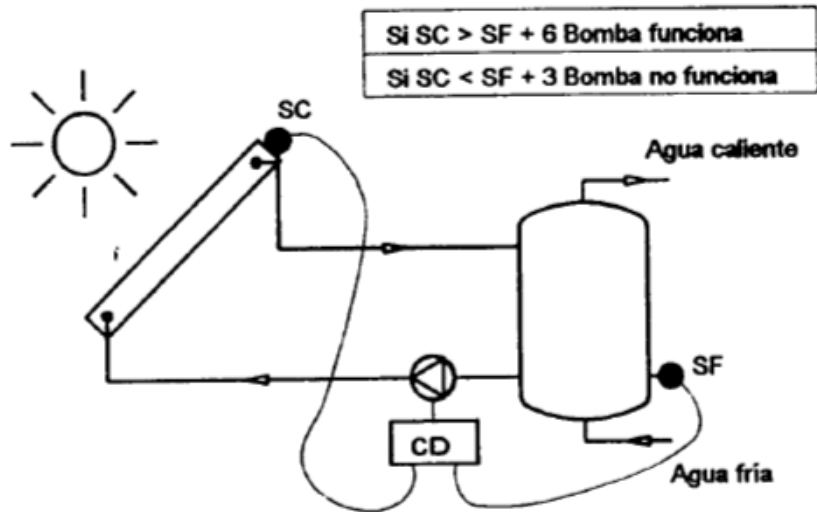


Figura 22: Esquema del sistema de control para la bomba del circuito primario

Cuando se registra una diferencia de temperatura inferior a 3 °C entre la zona de captación y la zona de acumulación/retorno, el sistema dará orden a las bombas de no funcionar. Si, por el contrario, se produce una diferencia de temperatura mayor a 7 °C entonces el sistema manda una orden a las bombas de no estar paradas.

Otra función que tiene es la de regulación del funcionamiento del sistema auxiliar ordenando a éste cuando debe trabajar y cuando parar. El sistema auxiliar entra en funcionamiento si la temperatura del agua de consumo es 5 °C inferior a la demandada.

## 1.6 Características técnicas de los equipos

### 1.6.1 Captadores solares

Se usan captadores solares del fabricante TERMICOL, empresa sevillana localizada en el municipio de Dos Hermanas. En concreto se usará el captador T20US (Figura 23).

En los siguientes esquemas se muestran las dimensiones principales de los captadores T20US:

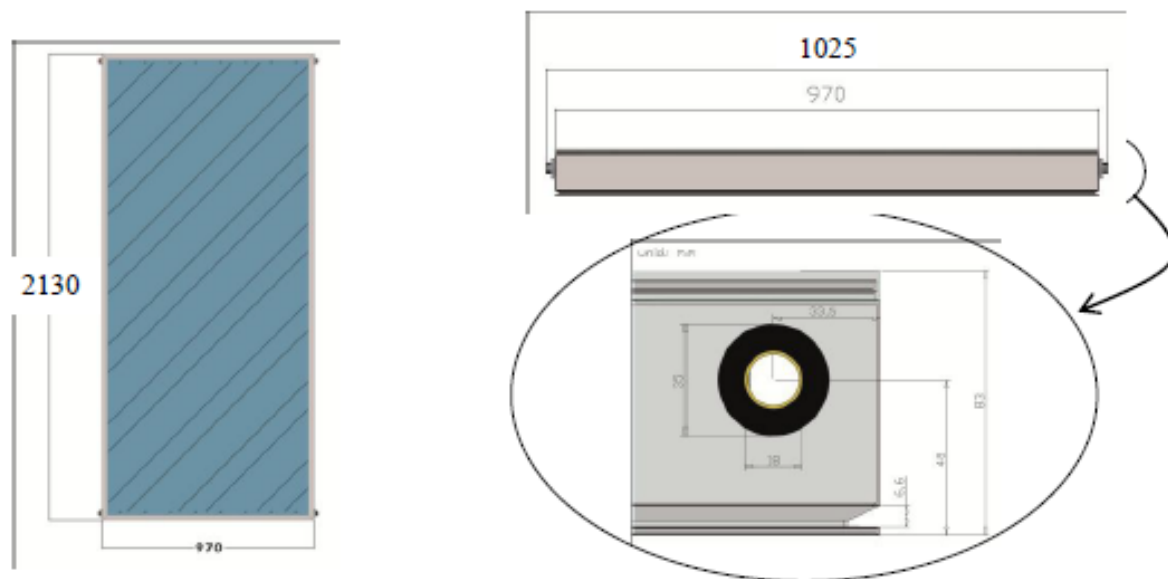


Figura 23: Dimensiones del captador T20US

Las principales características técnicas son las siguientes (Figuras 24, 25 y 26):

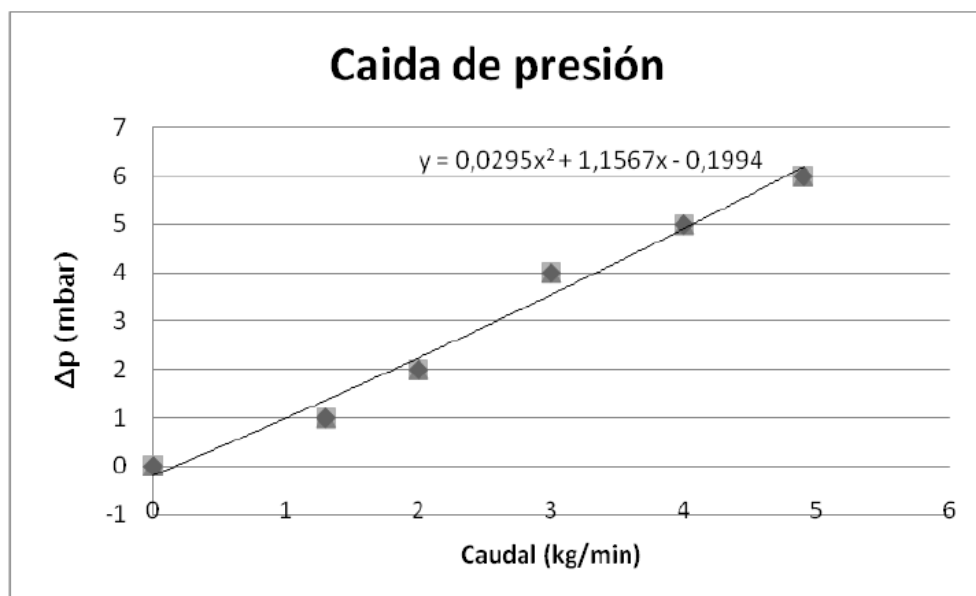


Figura 24: Caída de presión en el captador en función del caudal

		T20US
Dimensiones (mm.)		2.130*970*83
Área total (m <sup>2</sup> )		2,02
Área apertura (m <sup>2</sup> )		1,90
Peso en vacío (kg)		35
Capacidad de fluido (litros)		1,02
Presión Máxima Trabajo (atm)		6
h <sub>0</sub>		0,801
a <sub>1</sub> (W/m <sup>2</sup> K)		3,93
a <sub>2</sub> (W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )		0,026
Cubierta		Vidrio templado 3,2 mm.
Absorbedor	General	Parrilla de con canales de $\phi 8$ y colector de $\phi 18$ de cobre y aletas de aluminio
	Nº canales	8
	Tratamiento	Ultraselectivo
Carcasa		Aluminio
Aislamiento		Lana de roca semirígida de 40 mm.
Conexión entre captadores		Mediante racor de compresión de 3 piezas

Figura 25: Características técnicas del captador T20US

**CAPTADORES**

Empresa

Marca/Modelo

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

**Datos de ensayo**

Área (m <sup>2</sup> )	1.9
n0 (-)	0.8
a1 (W/m <sup>2</sup> K)	3.93
a2 (W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )	0.026
Qtest(l/hm <sup>2</sup> )	72
k50	0.82
Laboratorio	INTA
Certificación	NPS-15112

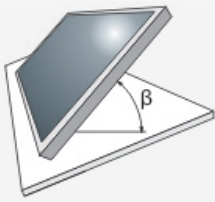


Figura 26: Datos de ensayo del captador T20US

### 1.6.2 Interacumulador

Se implementan interacumuladores de la misma marca que los captadores, TERMICOL. Se usan los modelos ATB-3000

Las principales características técnicas son las que se muestran en la figura 27:

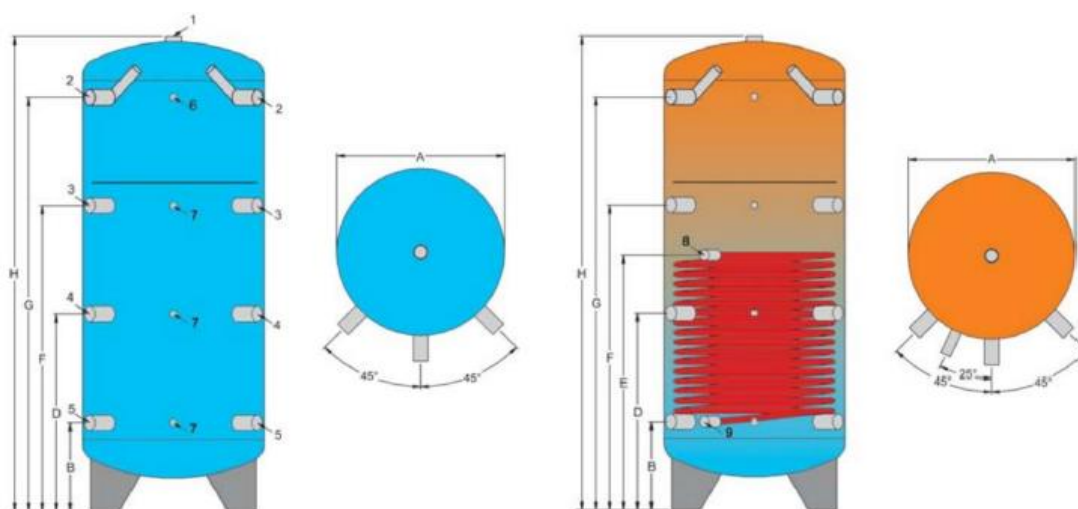
### CARACTERÍSTICAS

- Acumulador para agua de calefacción, interior no tratado, exterior pintado.
- Aislamiento; poliuretano flexible 100 mm.
- Apto para exterior, contiene un forro de PVC.
- Presión máxima de funcionamiento; 6 bar.
- Temperatura máxima de funcionamiento; 95 °C.

ATB 300 - 5000	300	500	800	1000	1500	2000	2500	3000	4000	6000
Capacidad efectiva (litros)	270	476	710	920	1410	2010	2346	2959	4043	5055
Altura total con aislamiento (100 mm)	1640	1775	1800	2190	2165	2480	2220	2720	2645	2870
Diámetro total con aislamiento (100 mm)	700	850	990	990	1200	1300	1450	1450	1700	1800
Superficie intercambio (m <sup>2</sup> )	1,8	1,8	3,1	3,1	4,5	5,5	6,5	6,5	7,5	8,5
Contenido de agua en el serpentín (litros)	10,4	10,4	14,6	14,6	21,6	21,6	21,6	28,2	28,2	28,2
Potencia absorbida (kW)	43	45	65	68	99	103	107	130	135	140
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1,9	1,9	2,8	2,9	4,2	4,4	4,6	5,6	5,8	6
Pérdida de carga en el serpentín (mbar)	67	73	208	228	700	759	818	1556	1678	1804
Peso en vacío sin serpentín (kg)	77	103	129	150	196	301	310	316	414	481
Peso en vacío con serpentín (kg)	96	123	158	178	240	346	354	392	491	557

Figura 27: Características técnicas del interacumulador

Las principales dimensiones se observan en la figura 28:



CAPACIDAD (Litros)	A	B	D	E	F	G	H
300	500	235	605	835	975	1345	1565
500	650	330	710	710	1090	1470	1695
800	790	340	720	720	1095	1470	1725
1000	790	340	800	800	1260	1720	1975
1500	1000	390	850	850	1310	1770	2090
2000	1100	390	950	950	1510	2070	2405
2500	1250	395	855	855	1315	1775	2145
3000	1250	390	1020	1020	1650	2280	2645
4000	1500	470	1030	1030	1590	2150	2575
5000	1600	465	1100	1100	1730	2355	2795

Número	Descripción	ATB 300...5000
1	Respiradero	1"1/4
2	Impulsión caldera	1"1/2
3	Impulsión calefacción	1"1/2
4	Retorno caldera a 50°C	1"1/2
5	Retorno calefacción a 30°C	1"1/2
6	Termómetro	1/2"
7	Sonda	1/2"
8	Impulsión energía solar	1"
9	Retorno energía solar	1"

Figura 28: Dimensiones del interacumulador

## 1.6.4 Bomba de circulación

Se instalarán 2 bombas idénticas en paralelo. La bomba seleccionada es del fabricante WILO, en concreto el modelo Stratos-Z 30/1-8.

Las principales características técnicas se muestran en la figura 30:

## 1.6.5 Vaso de expansión

Dentro de la oferta de vasos de expansión ofrecida por TERMICOL se escogerá el vaso de expansión de 12 litros para circuitos primarios de instalaciones solares, con referencia 706SOL012, como se muestra en la figura 29.

Vasos expansión Expansion vessel Vaso de expansão	Circuitos Primarios / Primary circuits / Circuitos Primários					
	Solares Solar Solares		Calefacción Heater Aquecimento		Intermedios Intermediate Intermédio	
	Referencia Reference Referência	P.V.P € RP € P.V.P €	Referencia Reference Referência	P.V.P € RP € P.V.P €	Referencia Reference Referência	P.V.P € RP € P.V.P €
5 L	—		706VCR005	48	706VIN005	40
8 L	706SOL008	48	706VCR008	50	706VIN008	42
12 L	706SOL012	56	706VCR012	52	706VIN012	45
18 L	706SOL018	60	706VCR018	58	706VIN018	51
25 L	706SOL025	70	706VCR025	72	706VIN024	59
35 L	706SOL035	208	706VCR035	110	706VIN035	95
50 L	706SOL050	242	706VCR050	162	706VIN050	125
80 L	706SOL080	305	706VCR080	237	—	
100 L	706SOL0100	430	706VCR100	325	706VIN100	218
140 L	—		706VCR140	390	—	
200 L	706SOL220	868	706VCR200	500	706VIN200	492
250 L	—		706VCR250	570	—	
300 L	706SOL350	1.082	706VCR300	725	706VIN300	632
400 L	—		706VCR400	850	—	
500 L	706SOL500	1.518	706VCR500	1.373	—	
600 L	—		706VCR600	1.612	—	
700 L	706SOL700	2.548	—		—	
800 L	—		706VCR800	2.142	—	
Set de conexión*** Connection kit*** Kit de conexão***	704SETCGB	47	704SETCGB	47	—	

Figura 29: Catálogos de vasos de de expansión

## Ficha técnica: Stratos-Z 30/1-8

### Datos hidráulicos

Caudal máximo	8.8 m <sup>3</sup> /h
Altura máxima de impulsión	8.00 m
Índice de eficiencia energética (IEE)	0.20

### Datos del motor

Tipo de protección	IPX4D
Índice de eficiencia energética (IEE)	0.20
Consumo de potencia (mín.)	9.0 W
Entrada de corriente P1 máx.	125.0 W
Emisión de interferencias	EN 61800-3:2004+A1:2012/entorno residencial (C1)
Resistencia a interferencias	EN 61800-3:2004+A1:2012/entorno industrial (C2)
Regulación de la velocidad	Convertidor de frecuencia
Clase de aislamiento	F
Alimentación eléctrica	1~230 V, 50/60 Hz
Potencia nominal mecánica $P_2$	0.10 kW
Velocidad mínima	1400 rpm
Velocidad máxima	3700 rpm
Intensidad nominal $I_N$	1.10 A
Protección de motor	integrado

### Materiales

Eje	1.4122, X39CrMo17-1
Carcasa de la bomba	
Material del cojinete	Carbon, antimony impregnated

### Datos del producto

Presión máxima de trabajo	10 bar
Temperatura ambiente máxima	40 °C
Temperatura ambiente mínima	-10 °C
Temperatura máxima del fluido	110 °C
Temperatura mínima del fluido	-10 °C
Temperatura máxima del fluido	80
Temperatura mínima del fluido	0

### Dimensiones de instalación

Conexión de tubería del lado de aspiración	G 2
Conexión de tubería del lado de impulsión	G 2
Longitud entre roscas	180 mm

### Información de pedidos

Marca	Wilo
Denominación del producto	Stratos-Z 30/1-8
Descripción	2090470
Peso neto aproximado	5 kg

Figura 30: Ficha técnica de la bomba



## 1.7 Normativa

Todas las instalaciones de producción de ACS, al igual que cualquier tipo de instalación, deben diseñarse cumpliendo una serie de códigos/normas de obligatorio cumplimiento.

Para este tipo de instalaciones, en España, debe cumplirse las siguientes normas:

- Sección HE4 del Código Técnico de la Edificación (CTE)
- RITE – Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios

### 1.7.1 Código Técnico de la Edificación

Dentro de este código encontramos el Documento Básico HE “Ahorro de energía” y más concretamente en la sección 4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria” CTE DB-HE-4.

- Contribución solar mínima

La localidad de Marbella está situada en una zona climática V en el mapa de irradiación de España y conociendo la demanda de ACS [l/día a 60 °C], 4284 l/día, concluimos que la contribución solar mínima es del 60% (como se muestra en la figura 31)

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

Figura 31: Contribución solar mínima en función de la demanda de ACS

- Contribución solar máxima

La instalación no superará en ningún mes el 110% de la demanda y no superará en más de tres meses el 100% de la demanda.

- Sistema de acumulación solar y conexión de sistema de generación auxiliar.

Se establece un rango de valores admisibles para una relación entre V (volumen de acumulación solar medio [litros]) y A (área de los captadores [m<sup>2</sup>]) de la siguiente forma:

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

Esta instalación posee una relación V/A de valor igual a 65.79, valor que entra dentro de los límites.

La conexión de un sistema de generación auxiliar con el acumulador solar no está permitida.

- Límite de pérdidas

Las pérdidas máximas admisibles generales son, respecto a la orientación e inclinación óptima establecida (Orientación óptima Sur, Inclinación óptima en función del periodo de utilización) un 10%, las pérdidas máximas por sombras un 10% y las pérdidas totales permitidas un 15%. Toso ello se observa en el siguiente esquema.

<b>Caso</b>	<b>Orientación e inclinación</b>	<b>Sombras</b>	<b>Total</b>
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

### **1.7.2 Norma UNE (Una Norma Española)**

- UNE 100-155

Se usa esta norma para dimensionar el vaso de expansión.

- UNE 94002

Esta norma describe el cálculo de la demanda de energía térmica para la producción de ACS en instalaciones solares térmicas mediante la incorporación de los valores de consumo de agua caliente, temperatura de referencia y temperatura de agua fría de la provincia en la que se diseñe la instalación, en este caso Marbella.

- UNE 94003

Esta norma toma los datos climatológicos necesarios para dimensionar la instalación térmica. Para realizar los cálculos se utilizan los datos de temperaturas y radiaciones de la localidad de Marbella añadiendo las correcciones pertinentes por altura.

### **1.7.3 Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación**

- Aislamiento térmico

Todas las tuberías, accesorios y equipos de la instalación deben estar debidamente aislados térmicamente para evitar pérdidas. En esta norma se calcula un espesor mínimo de aislamiento.

- Control automático

La instalación debe poseer un equipamiento mínimo de control para asegurar el control de la temperatura de la instalación.

Además, para una instalación que posea un sistema de control, mando y proyecto, se deberán llevar a cabo tareas de mantenimiento y actualización de versiones de los programas realizados por personal cualificado.

## **1.8 Bibliografía**

1. Código técnico de la edificación (CTE), sección HE 4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria” 2017
2. RITE “Reglamento de instalaciones térmicas en edificios (versión consolidada)” 2013
3. IDAE “Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura” 2009
4. ATECYR “Guía técnica de agua caliente sanitaria central” 2010
5. AEONOR Norma UNE 100-155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” 2004
6. AEONOR Norma UNE 94002 “Instalaciones solares térmicas para la producción de agua caliente sanitaria” 2005
7. AEONOR Norma UNE 94003 “Datos climatológicos para el dimensionado de instalaciones térmicas” 2007
8. Departamento de Ingeniería Energética, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla “Apuntes de la asignatura Energía Solar” 2018



## 2. MEMORIA DE CÁLCULO

## 2.1 Introducción

En esta memoria se detallarán y justificarán los cálculos necesarios para dimensionar una instalación solar térmica de baja temperatura respetando la normativa vigente, la cual tiene por objeto la producción de agua caliente sanitaria en el Hotel Lima \*\* de Marbella.

## 2.2 Datos de partida

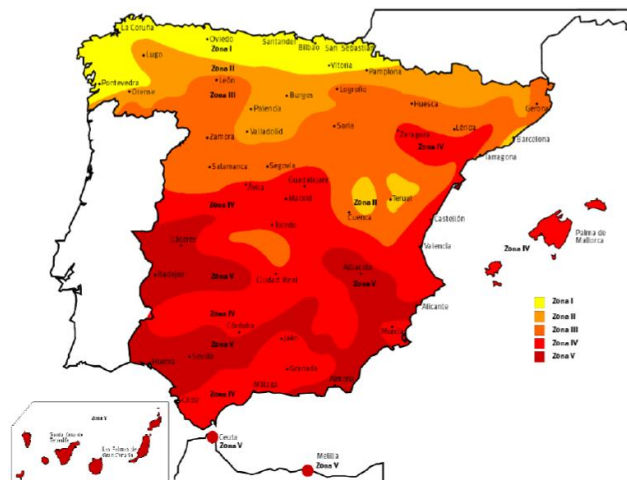
### 2.2.1 Datos geográficos

Edificio	Hotel Lima ** (63 habitaciones)
Localidad	Marbella
Provincia	Málaga
Latitud	36.30°
Longitud	-4.53°
Zona climática	V

*Tabla 1: Datos del emplazamiento del hotel*

### 2.2.2 Datos climatológicos

Marbella, aunque no se aprecie con claridad en el mapa, pertenece a la zona climática V. Esto significa que la irradiación tiene un valor igual o superior a  $5.0 \text{ kWh/m}^2$  (Figura 32).



*Figura 32: Mapa de las zonas climáticas de España*

Además, el programa CHEQ4 nos facilita dicha información con solo seleccionar la provincia y el municipio en el que se encuentra nuestro edificio (Figura 33).

Provincia	Municipio	Zona climática	Latitud
Málaga	Marbella	Zona V	36° 30'

Figura 33: Zona climática de Marbella. CHEQ4.

Aparte de esos datos, CHEQ4 nos facilita una tabla (Tabla 2) con datos de irradiación global media mensual sobre superficie horizontal [MJ/m<sup>2</sup>], temperatura diaria media mensual del agua de red [°C] y temperatura ambiente diaria media mensual [°C], según los diferentes meses del año y en promedio para nuestro municipio.

Marbella, Málaga (CHEQ4)			
Mes	Rad [MJ/m <sup>2</sup> día]	T.Red [°C]	T.Amb [°C]
Enero	10	11.9	12
Febrero	13	11.9	12.6
Marzo	17.5	12.9	13.8
Abril	22.1	13.9	15.6
Mayo	25.2	15.9	18.5
Junio	28.3	17.9	21.9
Julio	28.7	19.9	24.5
Agosto	25.4	19.9	25.1
Septiembre	20.7	18.9	22.9
Octubre	14.7	15.9	18.9
Noviembre	10.5	13.9	14.9
Diciembre	8.5	11.9	12.4
Promedio	18.7	15.4	17.8

Tabla 2: Datos de radiación, T<sup>a</sup> agua de red y T<sup>a</sup> ambiente de la localidad de Marbella

### 2.2.3 Radiación sobre superficie inclinada

Anteriormente se han obtenido los datos de irradiación para una superficie horizontal situada en la localidad de Marbella. A continuación, habría que realizar las correcciones pertinentes para calcular la irradiación sobre una superficie inclinada (con la inclinación de diseño). La inclinación de diseño debe ser igual a la latitud de la localidad. En este caso, la inclinación de diseño debe ser próxima a 36.30° y orientación sur +/- 15.

En primer lugar, se calcula la declinación solar ( $\delta$ ). La declinación solar se define como el ángulo que forma la línea de sol-tierra con el plano ecuatorial celeste.

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

\*Siendo n el día del año.

Se calcula el ángulo horario ( $w_s$ ) a partir de la siguiente expresión:

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

\*Siendo  $\phi$  la latitud del emplazamiento.

Mes	Día del año	Declinación solar [°]	Ángulo horario [°]
Enero	17	-20.92	73.69
Febrero	47	-12.95	80.27
Marzo	75	-2.42	88.22
Abril	105	9.41	97.00
Mayo	135	18.79	104.47
Junio	162	23.09	108.25
Julio	198	21.18	106.54
Agosto	228	13.45	100.12
Septiembre	258	2.22	91.63
Octubre	288	-9.60	82.86
Noviembre	318	-18.91	75.42
Diciembre	344	-23.05	71.79

*Tabla 3: Declinación solar y ángulo horario por meses*



Se calcula a continuación el valor por meses de la irradiación global extraterrestre sobre una superficie horizontal ( $H_0$ ).

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

\*Siendo  $G_{sc}$  la constante solar ( $1367 \text{ W/m}^2$ )

Una vez calculada la irradiación solar sobre una superficie horizontal se puede calcular el índice de claridad medio. El índice de claridad medio es el tanto por uno de la radiación que llega a la superficie de la tierra del total que llega a una superficie horizontal situada en el exterior del planeta.

$$k_t = \frac{H}{H_0}$$

\*Siendo H la irradiación global horizontal.

Mes	$H_0$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	H [MJ/m <sup>2</sup> ]	$k_t$
Enero	17.00	10.00	0.588
Febrero	22.16	13.00	0.587
Marzo	28.84	17.50	0.607
Abril	35.80	22.10	0.617
Mayo	40.75	25.20	0.618
Junio	42.83	28.30	0.661
Julio	41.90	28.70	0.685
Agosto	37.97	25.40	0.669
Septiembre	31.61	20.70	0.655
Octubre	24.30	14.70	0.605
Noviembre	18.29	10.50	0.574
Diciembre	15.61	8.50	0.544

*Tabla 4: Irradiación global horizontal y extraterrestre e índice de claridad medio*

Posteriormente, se pasa a descomponer la radiación global horizontal en radiación directa y difusa (Tabla 5). Se calcula usando dos correlaciones.

Si  $w_s \leq 81.4^\circ$  (Invierno)

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

Si  $w_s > 81.4^\circ$  (Resto del año)

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

Además, se sabe que la suma de radiación directa ( $H_D$ ) y la difusa ( $H_d$ ) es la radiación global ( $H$ ).

$$H = H_D + H_d$$

Mes	$\frac{H_d}{H}$	$H_d$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	$H_D$ [MJ/m <sup>2</sup> ]
Enero	0.214	2.140	7.860
Febrero	0.216	2.802	10.198
Marzo	0.332	5.813	11.687
Abril	0.323	7.141	14.959
Mayo	0.322	8.118	17.082
Junio	0.285	8.067	20.233
Julio	0.264	7.570	21.130
Agosto	0.278	7.058	18.342
Septiembre	0.290	6.010	14.690
Octubre	0.334	4.906	9.794
Noviembre	0.226	2.372	8.128
Diciembre	0.252	2.140	6.360

*Tabla 5: Irradiación difusa y directa*

A continuación, se calcula la relación entre la irradiación directa sobre una superficie inclinada y sobre una superficie horizontal.

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

\*Siendo  $s$  la inclinación del captador sobre la horizontal.

La inclinación del captador se elige según la latitud a la que se encuentra la instalación (36.3°) y ajustando +/- 10° según la época en la que la demanda sea mayor.

La ocupación de hoteles en Marbella alcanza su pico máximo durante el final de la primavera y el principio del verano. La demanda de ACS evoluciona proporcionalmente con la demanda, aunque posee una curva más plana dado que la época de máxima ocupación es la época de mayor irradiación, y viceversa. Por este motivo se opta por una inclinación algo mayor que la latitud ( $s = 40^\circ$ ), para obtener más radiación en los meses de invierno que es cuando se dispone de menos horas de luz.

\*Siendo  $w'_s$  el ángulo solar en la superficie inclinada. Se calcula de la siguiente manera:

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

Por último, se calcula (Tabla 6) la irradiación global en una superficie inclinada ( $H_i$ ) mediante la expresión:

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

Mes	H [MJ/m <sup>2</sup> dia]	H <sub>i</sub> [MJ/m <sup>2</sup> dia]
Enero	10.000	18.009
Febrero	13.000	19.445
Marzo	17.500	20.394
Abril	22.100	21.498
Mayo	25.200	21.512
Junio	28.300	22.680
Julio	28.700	23.581
Agosto	25.400	23.392
Septiembre	20.700	22.644
Octubre	14.700	19.377
Noviembre	10.500	17.858
Diciembre	8.500	15.775

*Tabla 6: Irradiación global sobre superficie horizontal e inclinada*

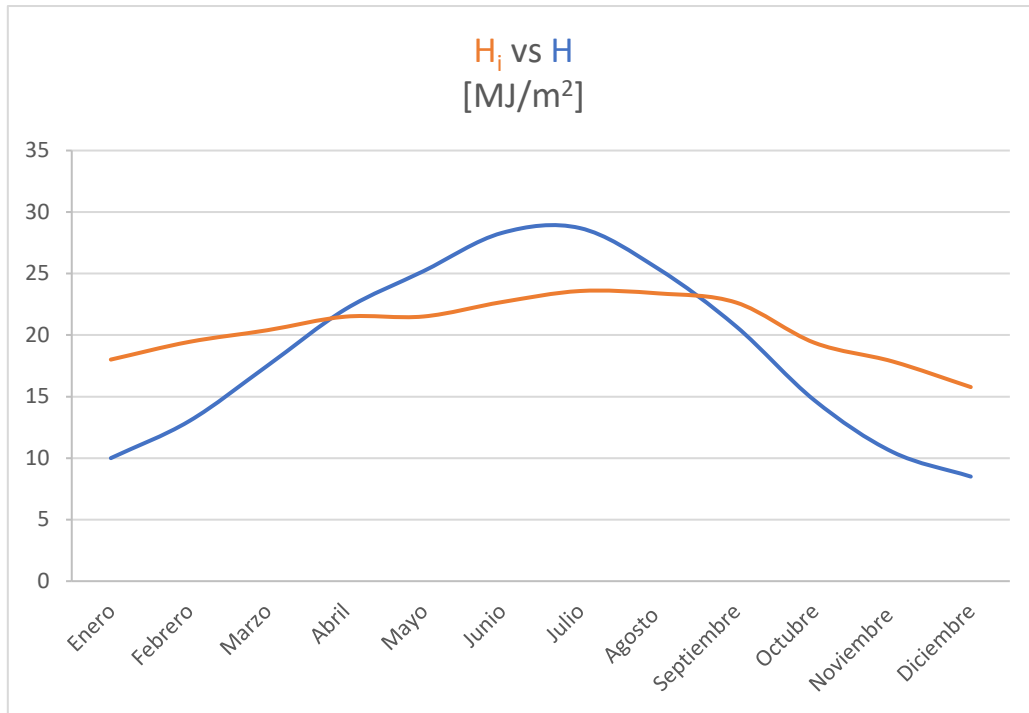


Figura 34: Irradiación global sobre superficie horizontal e inclinada (tabla 6)

Se puede apreciar en la figura 34 como al inclinar los captadores con un cierto ángulo se obtiene una curva de radiación más constante, es decir, una irradiación solar más estable. Para ello hay que asumir una pérdida de irradiación solar en los meses de verano que se compensarán con el aumento de irradiación en los meses de invierno.

## 2.3 Cálculo de la demanda

### 2.3.1 Cálculo del consumo de agua

Para conocer el consumo de ACS de un hotel \*\* se recurre al Código Técnico de la Edificación, en concreto en el Documento Básico, sección 4, donde se encuentra la siguiente información (Tabla 7):

Conociendo el gasto de agua caliente medio (l/pers día) bastará con conocer el número máximo de personas que ocuparán el hotel para conocer el consumo diario de agua caliente.

El hotel posee 63 habitaciones dobles, por lo que el número máximo de ocupantes es 126 personas.

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

*Tabla 7: Demanda de referencia a 60 °C*

El consumo de agua diaria será:

$$Q_{ACS} = 126 \text{ pers} \cdot 34 \frac{\text{l}}{\text{pers día}} = 4284 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

### 2.3.2 Cálculo de la demanda energética

La demanda energética asociada al agua caliente sanitaria se obtiene de la expresión:

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

\*Siendo  $\rho_{\text{agua}}$  y  $C_p$ , la densidad y el calor específico del agua respectivamente.

Se toman los siguientes valores como constantes:

$Q_{ACS}$ [l/día]	4284
$\rho$ [kg/l]	1
$C_p$ [J/kg K]	4190
$T_{ac}$ [°C]	60

Conociendo entonces la temperatura del agua de red ( $T_{af}$ ) podemos calcular la demanda energética por meses (Tabla 8):

Mes	$T_{af}$ [°C]	[dias/mes]	$L_{ACS}$ [MJ/mes]
Enero	11.9	31	26765.2
Febrero	11.9	28	24175.0
Marzo	12.9	31	26208.7
Abril	13.9	30	24824.8
Mayo	15.9	31	24539.4
Junio	17.9	30	22670.8
Julio	19.9	31	22313.6
Agosto	19.9	31	22313.6
Septiembre	18.9	30	22132.3
Octubre	15.9	31	24539.4
Noviembre	13.9	30	24824.8
Diciembre	11.9	31	26765.2

*Tabla 8: Demanda energética*

Siendo más precisos, se puede calcular la demanda energética más aproximada a la real ( $L_{ACS}'$ ) (Tabla 9 y Figura 36) si se tiene en cuenta una estimación de ocupación media por meses (Figura 35).

Se estima la ocupación de este hotel añadiendo un 40% absoluto más a estos valores por los posibles picos y teniendo en cuenta que es un hotel barato y de tamaño pequeño-medio, lo que hace que fluctúe mucho la ocupación.

## Grado de ocupación de las plazas ofertadas en establecimientos hoteleros en Marbella

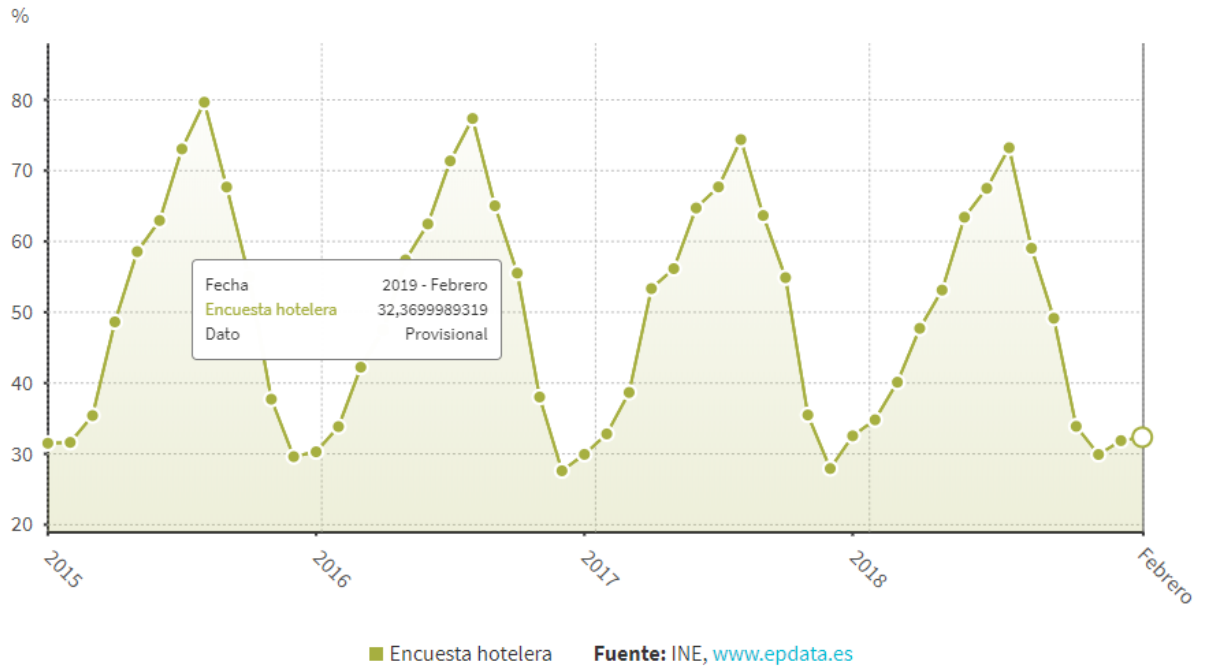


Figura 35: Ocupación hotelera media por meses en Marbella

Mes	L <sub>ACS</sub> [MJ/mes]	Ocupación [%]	L <sub>ACS'</sub> [MJ/mes]
Enero	26765.2	75	20073.9
Febrero	24175.0	80	19340.0
Marzo	26208.7	90	23587.9
Abril	24824.8	100	24824.8
Mayo	24539.4	100	24539.4
Junio	22670.8	100	22670.8
Julio	22313.6	100	22313.6
Agosto	22313.6	100	22313.6
Septiembre	22132.3	90	19919.1
Octubre	24539.4	80	19631.5
Noviembre	24824.8	70	17377.4
Diciembre	26765.2	75	20073.9

Tabla 9: Demanda energética (teniendo en cuenta la ocupación)

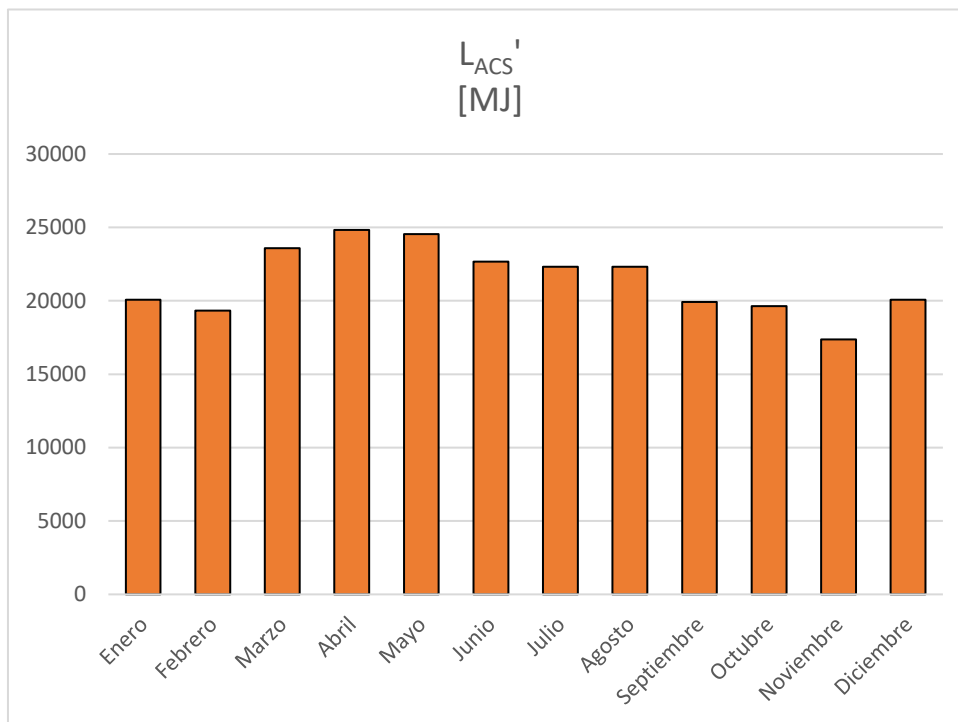


Figura 36: Demanda energética (teniendo en cuenta la ocupación)

## 2.4 Cálculo de la superficie de captación

### 2.4.1 Determinación de la fracción de demanda cubierta anual

La fracción de demanda cubierta anual ( $f$ ) nos indica el porcentaje de demanda que debe ser cubierta por la instalación termosolar y es el parámetro principal para caracterizar el comportamiento de la instalación de ACS.

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

\*Siendo  $Q_{\text{solar}}$  la potencia térmica útil captada a lo largo de un año y  $Q_{\text{consumida}}$  la potencia térmica consumida por la instalación de ACS durante el transcurso de un año.

La fracción de demanda cubierta anual mínima es un parámetro impuesto por el CTE y depende de dos factores: La demanda de ACS total del edificio y la zona climática en la que se localice la instalación.



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

Tabla 10: Contribución solar mínima anual para ACS [%]

Como ya se señaló anteriormente, se puede comprobar entonces que, siendo la demanda total de agua caliente a 60 °C del edificio de un valor igual a 4284 litros/día y sabiendo que la localidad de Marbella pertenece a una zona climática V, el valor de fracción de cobertura mínima es del 60%.

Con el software de cálculo CHEQ4 se pueden realizar cálculos para determinar los distintos valores de f según el área de captación que se decida instalar. Para comenzar, se definen unos valores geométricos y técnicos previos de los captadores a emplear:

- Inclinación de los captadores: 40°
- Orientación de los captadores: -8°
- Factor óptico:  $h_0 = 0.784$
- Factor lineal de pérdidas:  $a_{01} = W/m^2 K$
- Factor cuadrático de pérdidas:  $a_{02} = W/m^2 K^2$
- Modificador del ángulo de incidencia: 0.81
- Número de captadores en serie: 3
- Curva de rendimiento del captador:

$$\eta = h_0 - a_{01} \cdot \frac{T_{\text{entrada}} - T_{\text{ambiente}}}{G} - a_{02} \cdot \frac{(T_{\text{entrada}} - T_{\text{ambiente}})^2}{G}$$

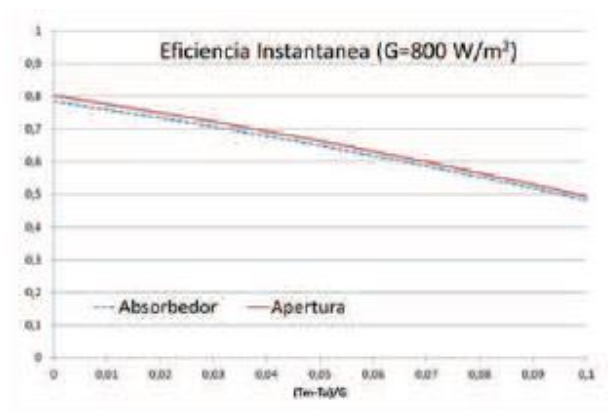


Figura 37: Curva de rendimiento del captador T20US

\*Siendo  $T_{\text{entrada}}$  la temperatura de entrada del fluido de trabajo al captador y  $G$  la radiación solar, con un valor de  $800 W/m^2$

En primer lugar, para calcular el número de captadores necesarios que cubran la demanda mínima para la instalación térmica, se supone que todos los captadores están conectados en paralelo y que la relación volumen de acumulación-área total de captación será de valor constante y dentro de los límites permitidos ( $N_s = 1$ ,  $V/A = 75 \text{ l/m}^2$ ).

De esta forma obtenemos la relación entre el número de captadores de la instalación y la fracción solar de demanda cubierta:

$N_{\text{captadores}}$	Area [ $\text{m}^2$ ]	f
1	1.9	1%
10	19.0	18%
20	38.0	37%
30	57.0	54%
32	60.8	58%
34	64.6	61%
36	68.4	63%
38	72.2	66%
40	76.0	69%
42	79.8	71%
44	83.6	74%
46	87.4	76%
48	91.2	78%
50	95.0	80%

Tabla 11: Contribución solar según  $N_{\text{captadores}}$  o área de captación

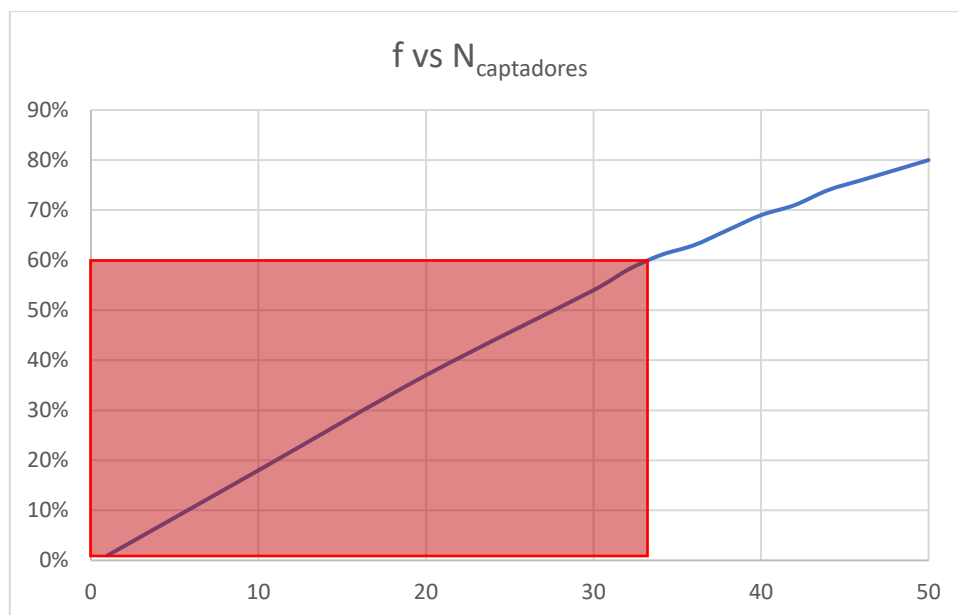


Figura 38: Contribución solar según  $N_{\text{captadores}}$  o área de captación (tabla 11)

Se comprueba entonces en la tabla 11 que el número mínimo de captadores solares a instalar para que la fracción de la demanda cubierta por la instalación solar sea superior a la mínima es de 34 captadores (64.6 m<sup>2</sup> de área de captación).

#### 2.4.2 Disposición de los captadores

A continuación, tras calcular el número de captadores mínimos (o el área mínima de captación) se procede a elegir una configuración mixta serie-paralelo que nos permita reducir el caudal total del fluido empleado sin comprometer el rendimiento de la instalación.

Tras realizarse un análisis previo con diferentes números de captadores y diferentes configuraciones se estudia detalladamente la configuración para un área de captación de 91.2 m<sup>2</sup>, es decir, para 48 captadores.

De nuevo se mantiene constante la relación volumen de acumulación-área total de captación ( $V/A=75 \text{ l/m}^2$ ).

N <sub>captadores</sub>	N <sub>c.serie</sub>	f
48	1	78%
48	2	73%
48	3	66%
48	4	60%
48	5	54%

*Tabla 12: Contribución solar según N<sub>captadores</sub> en serie*

Se comprueba entonces en la tabla 12 que el número máximo de captadores solares a instalar en serie para que la fracción de la demanda cubierta por la instalación solar sea superior a la mínima es de cuatro captadores.

#### 2.4.3 Pérdidas debido a la orientación, a la inclinación y a las sombras

La orientación escogida para el campo de captación ha sido orientación sur-este, con una orientación de -8°, coincidiendo con la orientación del edificio y con el fin de aprovechar la máxima superficie de la azotea para instalar los captadores. Este valor se encuentra dentro de los recomendados, ya que el rango de valores óptimos de orientación está entre +/- 15° de la orientación óptima, que es la orientación sur (0°).

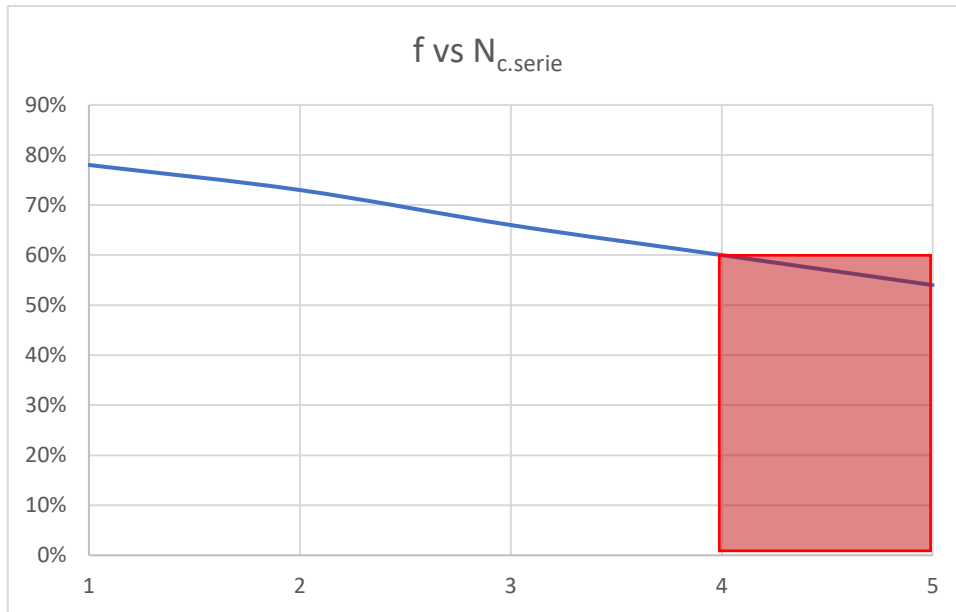


Figura 39: Contribución solar según N<sub>captadores en serie</sub> (tabla 12)

La inclinación del captador se elige según la latitud a la que se encuentra la instalación (36.3°) y ajustando +/- 10° según la época en la que la demanda sea mayor.

Como ya se ha señalado anteriormente, la ocupación de hoteles en Marbella alcanza su pico máximo durante el final de la primavera y el principio del verano. La demanda de ACS evoluciona proporcionalmente con la demanda, aunque posee una curva más plana dado que la época de máxima ocupación es la época de mayor irradiación, y viceversa. Se opta por una inclinación de 40° (algo mayor que la latitud), para obtener más energía en invierno que es cuando menos horas de luz hay.

Fijados los valores de orientación e inclinación, habría que comprobar que estas condiciones de operación entran dentro de los límites de operación que establece el CTE. Para ello se analiza si las pérdidas por inclinación y orientación son menores que las pérdidas máximas admisibles (10%)

$$\text{Pérdidas}_{0-I}(\%) = 100 [1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3.5 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha^2]$$

\*Siendo  $\beta_{\text{opt}}$  la inclinación que coincide con la latitud de la Marbella (36.30°),  $\beta$  la inclinación escogida (40°) y  $\alpha$  la orientación escogida (-8°).

$$\text{Pérdidas}_{0-I}(\%) = 2.72 \% < 10\%$$

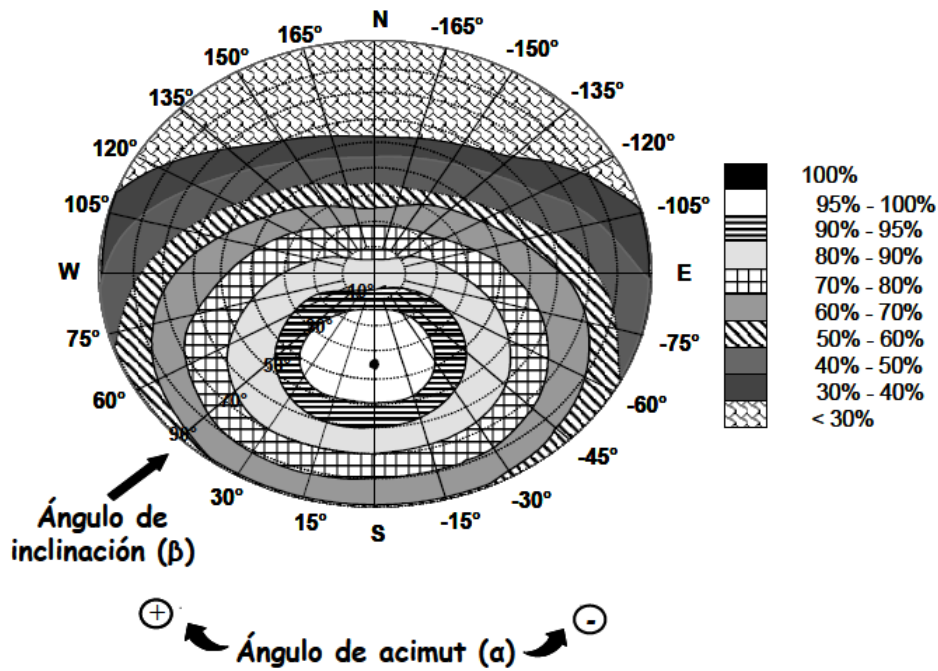


Figura 40: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

Con respecto a las pérdidas por sombra, se realiza un estudio para instalar los captadores solares de tal forma que las pérdidas por sombra sean nulas.

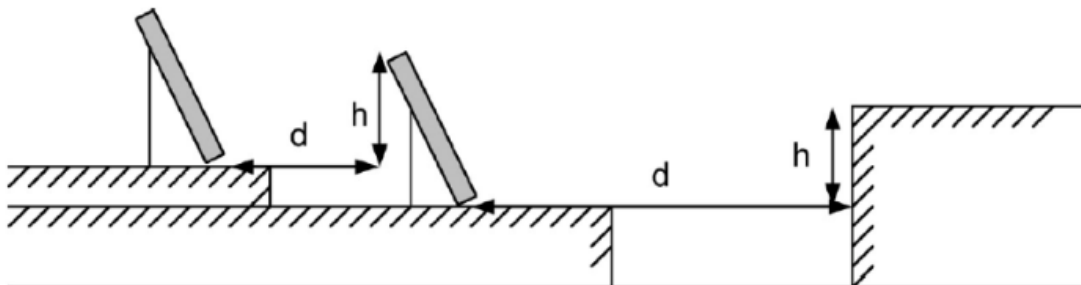


Figura 41: Representación de la distancia entre captadores.

La distancia mínima entre captadores se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$d_{\min} = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})}$$

\*Siendo h la altura de elemento que hace sombra con respecto al punto más bajo del captador afectado por dicha sombra.

En la distribución de los captadores se asegurará que se cumple dicha distancia entre captadores por lo que se asumirá que las pérdidas por sombras serán nulas.

$$\text{Pérdidas}_s(\%) = 0\%$$

Se demuestra así que la configuración seleccionada cumple todas las exigencias impuestas en el CTE.

## 2.5 Cálculo del volumen de acumulación

Como ya se ha mencionado, el CTE DB-HE4 obliga a la instalación de un sistema de acumulación que cumpla la siguiente condición:

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

\*Siendo V el volumen de la acumulación solar (litros) y A el área total de captación (m<sup>2</sup>).

A partir del número de captadores ya calculados y escogiendo una configuración de tres captadores en serie (N<sub>captadores</sub>=48, N<sub>c.serie</sub>=3) se decide evaluar la fracción solar en función de diferentes valores de volúmenes de acumulación (Tabla 13).

V/A [l/m <sup>2</sup> ]	V [l]	N <sub>captadores</sub>	N <sub>c.serie</sub>	f
50	4560	48	3	63%
60	5472	48	3	64%
70	6384	48	3	66%
80	7296	48	3	67%
90	8208	48	3	68%
100	9120	48	3	70%
110	10032	48	3	71%
120	10944	48	3	73%
130	11856	48	3	74%
140	12768	48	3	76%
150	13680	48	3	78%
160	14592	48	3	79%
170	15504	48	3	80%
180	16416	48	3	82%

Tabla 13: Contribución solar según la relación V/A o Volumen.

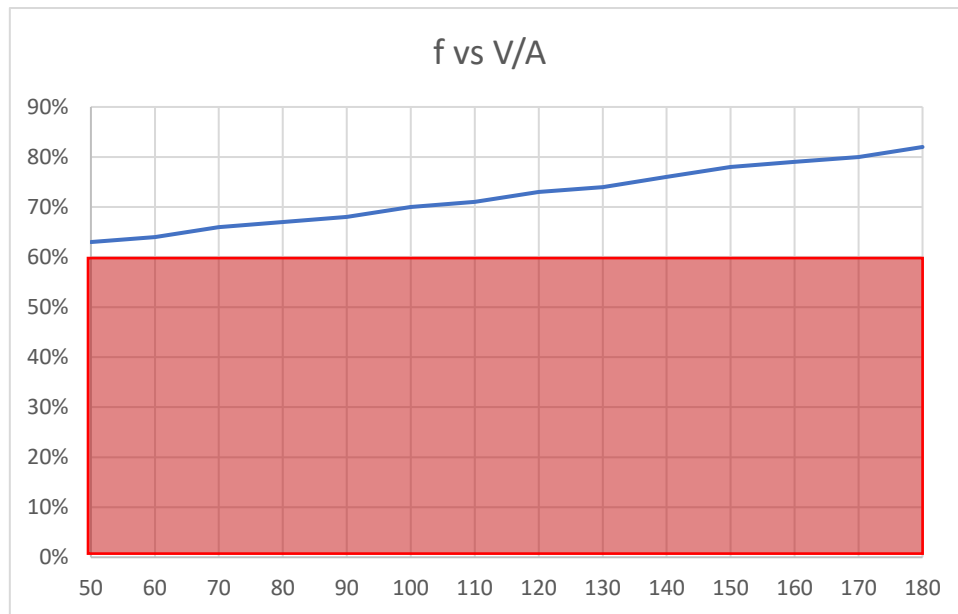


Figura 42: Contribución solar según la relación V/A o Volumen. (tabla 13)

Se comprueba entonces que el volumen mínimo de acumulación para cumplir con la relación volumen de acumulación-área de captación establecida es de 4560 litros.

Se comprueba también que cualquier valor dentro del rango válido de V/A cumple la contribución solar mínima.

Tras un estudio de mercado de depósitos de acumulación y valorando la instalación de producción de agua caliente convencional se opta por instalar dos depósitos de 3000 litros cada uno, cumpliendo así con creces las exigencias del CTE, como se ve en la tabla 14.

V/A [l/m <sup>2</sup> ]	V [l]	N <sub>captadores</sub>	N <sub>c.serie</sub>	Area [m <sup>2</sup> ]	f
65.79	6000	48	3	91.2	65%

Tabla 14: Contribución solar para la configuración final.

## 2.6 Cálculos sobre la red de tuberías en el circuito primario

En este apartado se calcularán las pérdidas de carga que se producen en los tramos que comprenden el circuito primario. De esta forma se podrán conocer cuáles son los diámetros de tuberías óptimos, además de conocer la bomba de circulación necesaria para mover el caudal total.

### 2.6.1 Caudal del circuito primario

Para conocer el caudal que circula por el circuito de captación se usa la siguiente expresión:

$$\dot{m}_B = \frac{\dot{m}_c \cdot N \cdot A}{N_s}$$

\*Siendo:

- $\dot{m}_B$  el caudal del circuito de captación (l/h)
- $\dot{m}_c$  el caudal de ensayo del captador (72 l/h m<sup>2</sup>)
- N el número de captadores totales (48 captadores)
- A el área del captador (1.9 m<sup>2</sup>)
- $N_s$  el número de captadores en serie (3 captadores)

De esta forma se calcula el caudal total del circuito primario.

$$\dot{m}_B = 2189 \text{ l/h}$$

### 2.6.2 Pérdida de carga en los captadores

Las pérdidas de carga que se producen en el captador son debidas al rozamiento del fluido a su paso por éste. En el catálogo del captador que nos proporciona su fabricante TERMICOL se puede encontrar una gráfica (Figura 43) que relaciona la pérdida de carga (mbar) con el caudal másico (kg/min). En esta gráfica además se aporta un ajuste cuadrático para poder extrapolar los valores de pérdida de carga para cualquier valor de caudal másico.

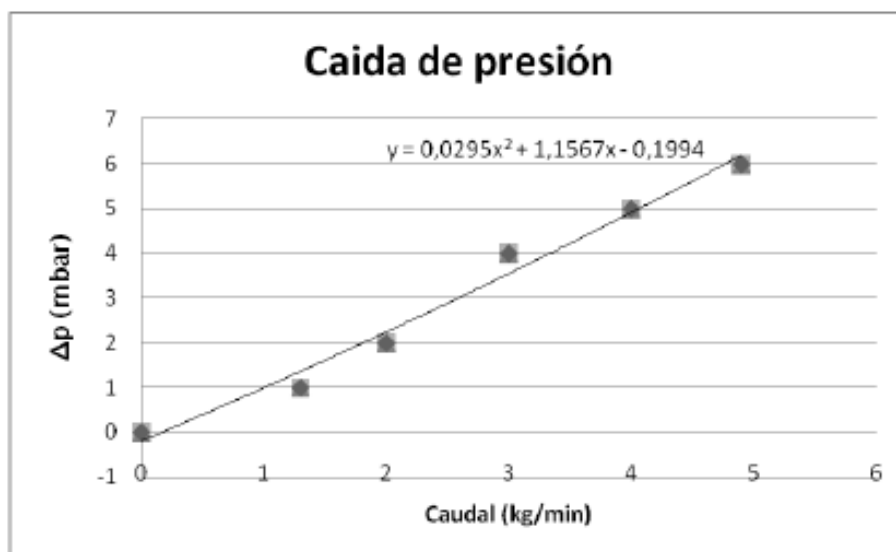


Figura 43: Caída de presión en función del caudal másico por captador



Para simplificar el cálculo se supone que la densidad del agua es del valor de la unidad (1 kg/l)

$$\dot{m}_c = 72 \frac{\text{l}}{\text{h m}^2} \cdot 1.9 \text{ m}^2 \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ l}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 2.28 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

$$\Delta p_{\text{captador}} = -0.1994 + 1.1567 \dot{m}_c \left[ \frac{\text{kg}}{\text{min}} \right] + 0.0295 \dot{m}_c^2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{min}} \right] = 2.591 \text{ mbar} = 0.259 \text{ kPa}$$

La pérdida de carga en captadores se calcula mediante la siguiente expresión (Siendo el número de captadores en serie igual a 3):

$$\Delta p_{\text{captadores}} = \Delta p_{\text{captador}} \cdot N_s = 0.777 \text{ kPa}$$

### 2.6.3 Pérdida de carga en el interacumulador

En el catálogo del interacumulador se proporciona la pérdida de carga que sufre el fluido a su paso por el serpentín para un caudal de ensayo igual a 5600 l/h con un valor de 1556 mbar.

El caudal de diseño del fluido que pasa por el serpentín del interacumulador tiene un valor de 2189 l/h.

De una forma muy simplificada se estimará una pérdida de carga proporcional al cuadrado del caudal de diseño. De esta forma se tendría una pérdida de carga en el serpentín de aproximadamente 237.71 mbar.

$$\Delta p_{\text{serpentín}} = 237.71 \text{ mbar} = 23.771 \text{ kPa}$$

### 2.6.4 Cálculo de la red de tuberías

Se dimensionan todas las tuberías de la instalación de acuerdo con las siguientes recomendaciones que se encuentran en el pliego de condiciones técnicas facilitadas por el IDAE:

- Se dimensionarán las tuberías de tal forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s a su paso por locales habitados, e inferior a 3 m/s a su paso por zonas exteriores. En esta instalación las tuberías deben ir desde la cubierta de la azotea hasta el sótano, pasando por el patio interior del edificio, por lo que se restringirá la velocidad de circulación a un máximo de 2 m/s.

- Se dimensionarán las tuberías de forma que las pérdidas de carga por metro lineal no sean mayores que 40 mm.c.a/m cuando el fluido de circulación sea solamente agua (0% anticongelante).

$$\Delta p_{\text{max. lineal}} = 40 \text{ mm.c.a/m} = 0.392 \text{ kPa/m}$$

- Se escogerán diámetros de tuberías de diámetros normalizados.

Las tuberías se dimensionarán según el criterio más restrictivo de los valores que recomienda el IDAE. Se elabora a continuación una tabla con los caudales límites recomendados según el diámetro de la tubería mediante una hoja de cálculos Excel. Las tuberías serán de cobre y se tomará como temperatura del agua de diseño una temperatura de 10 °C, un valor algo inferior a la mínima temperatura media mensual para dimensionar por el lado de la seguridad.

T agua [°C]	10
Material	Cobre

D ["]	V <sub>392Pa</sub> [l/h]	V <sub>2m/s</sub> [l/h]	V <sub>límite</sub> [l/h]
1/4	42	228	<b>42</b>
3/8	107	513	<b>107</b>
1/2	232	912	<b>232</b>
3/4	709	2052	<b>709</b>
1	1555	3648	<b>1555</b>
1-1/4	2850	5700	<b>2850</b>
1-1/2	4667	8209	<b>4667</b>
2	10132	14593	<b>10132</b>
2-1/2	18440	22802	<b>18440</b>
3	30038	32835	<b>30038</b>

*Tabla 15: Caudales límites según el diámetro de la tubería.*

En la tabla 44 se puede observar como circula el fluido por el interior de la batería de captadores, cuarenta y ocho captadores con tres captadores en serie agrupados de cuatro en cuatro en paralelo.

A continuación, se procederá a identificar cada tramo de tubería que compone el circuito primario en las figuras 45, 46 y 47:

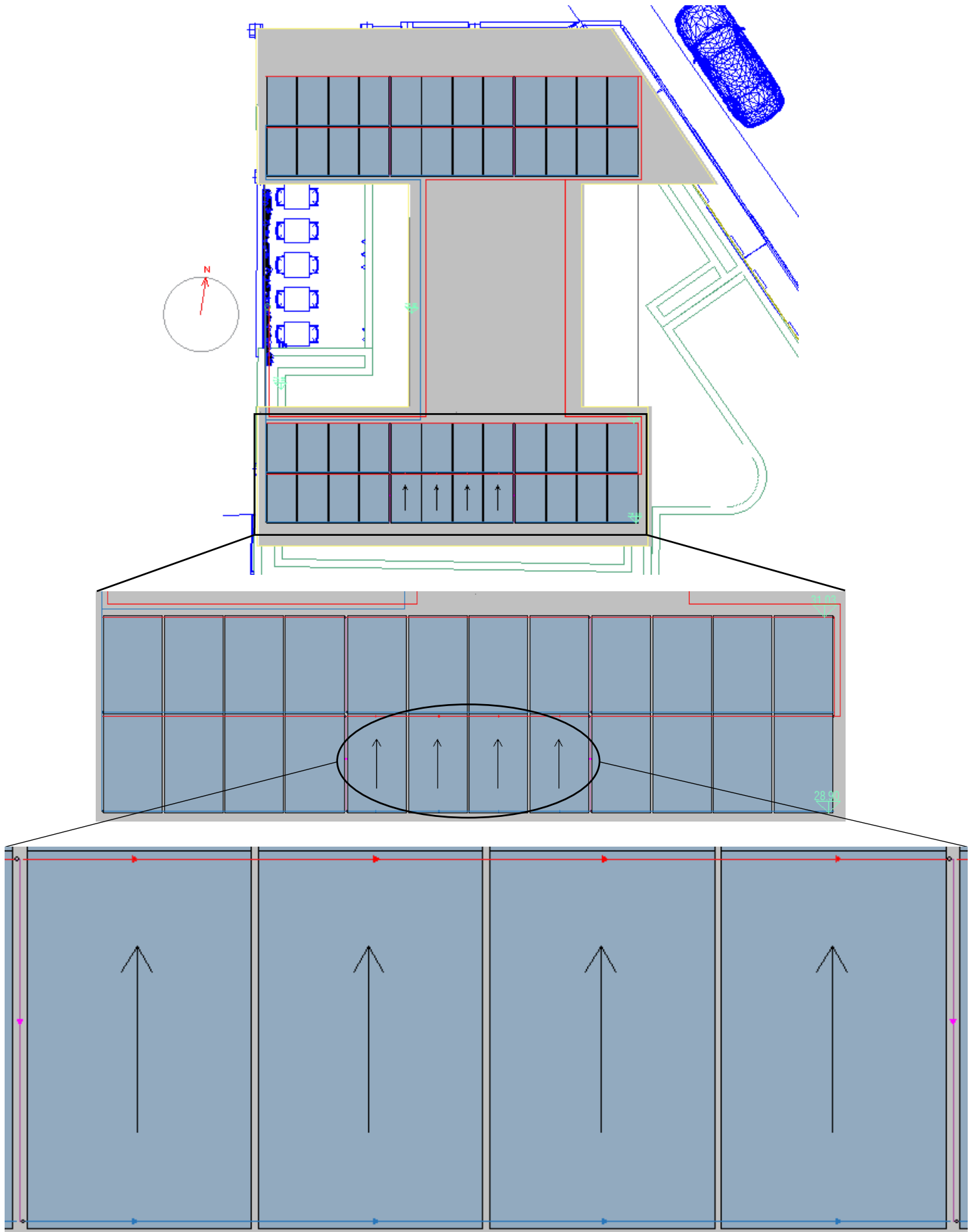
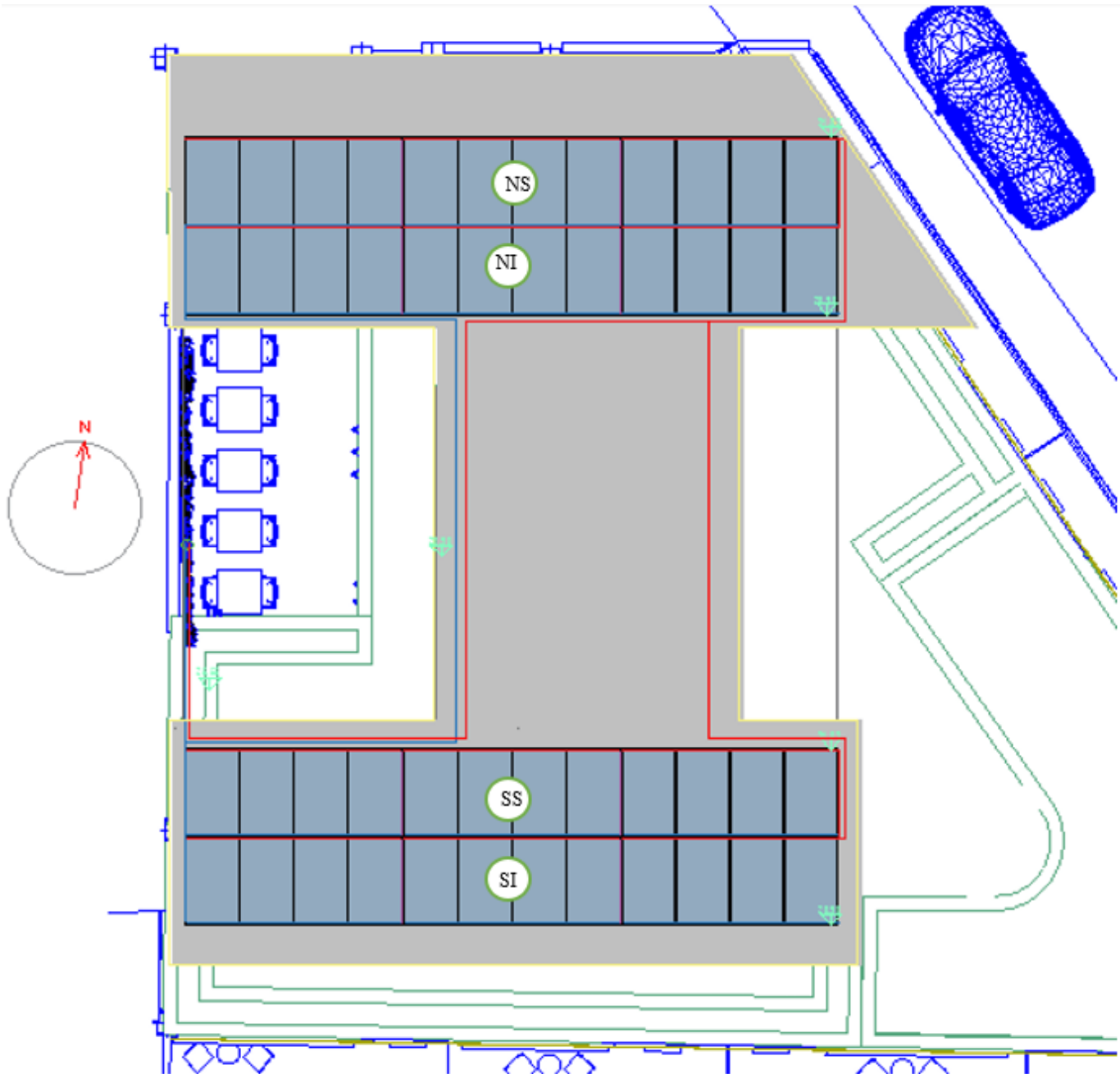


Figura 44: Conexión entre captadores



*Figura 45: Agrupación de captadores*

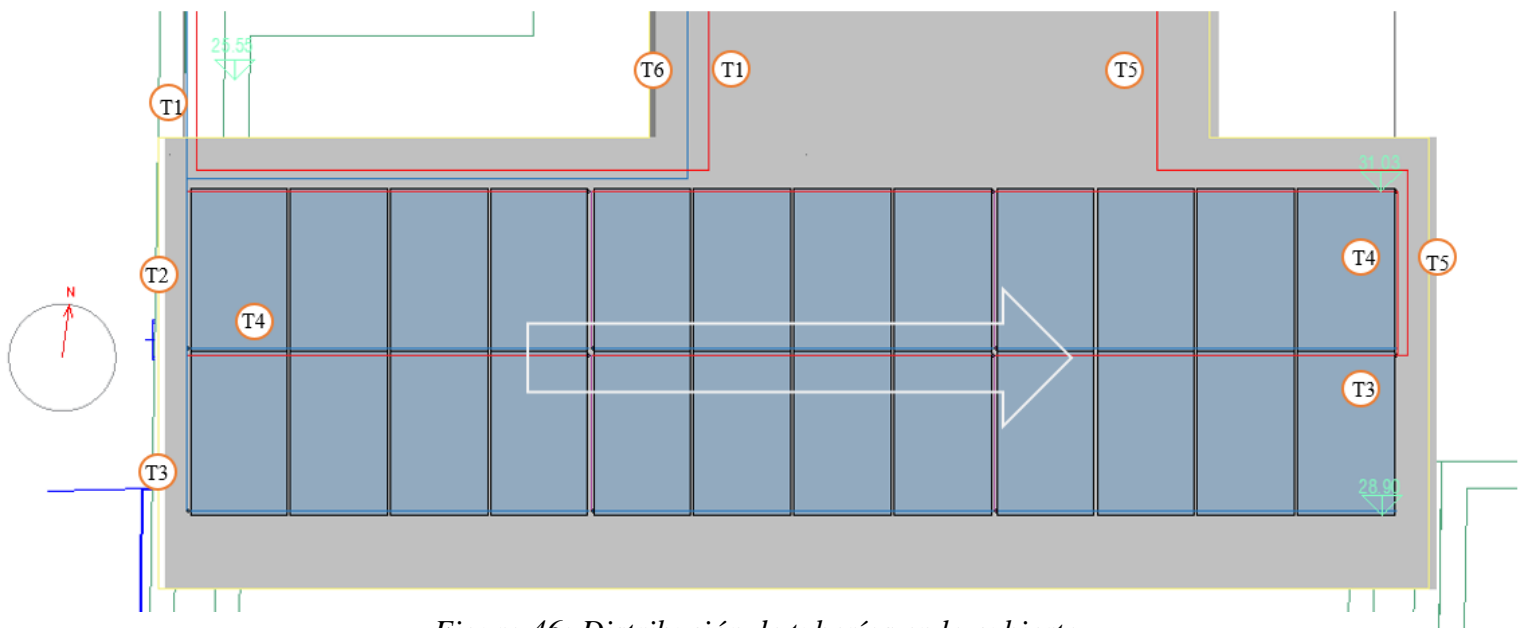
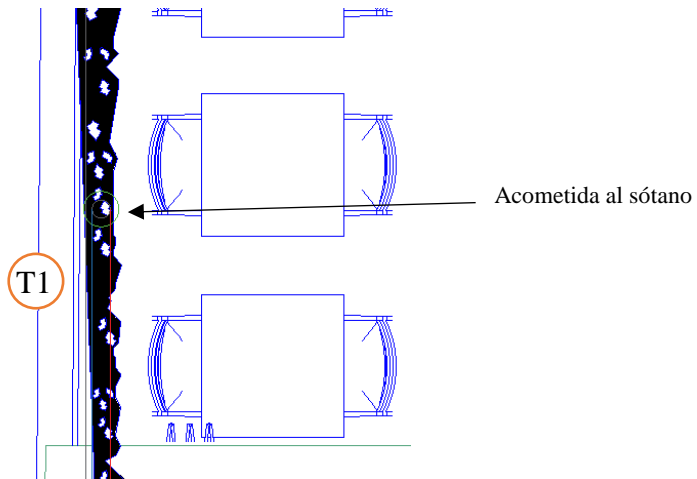
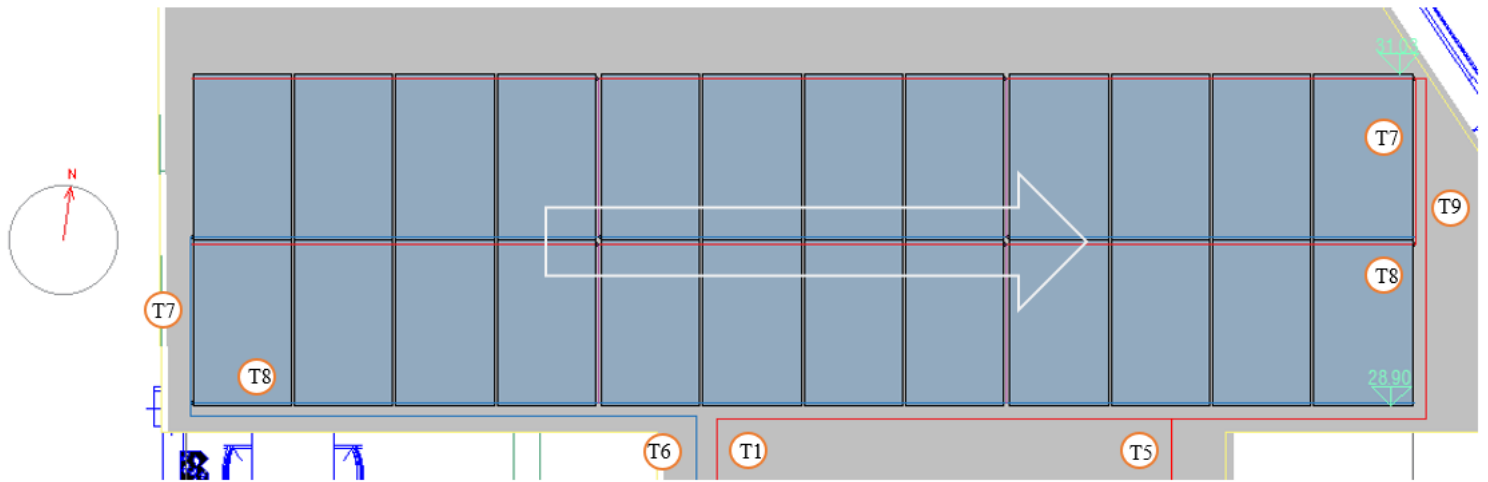


Figura 46: Distribución de tuberías en la cubierta

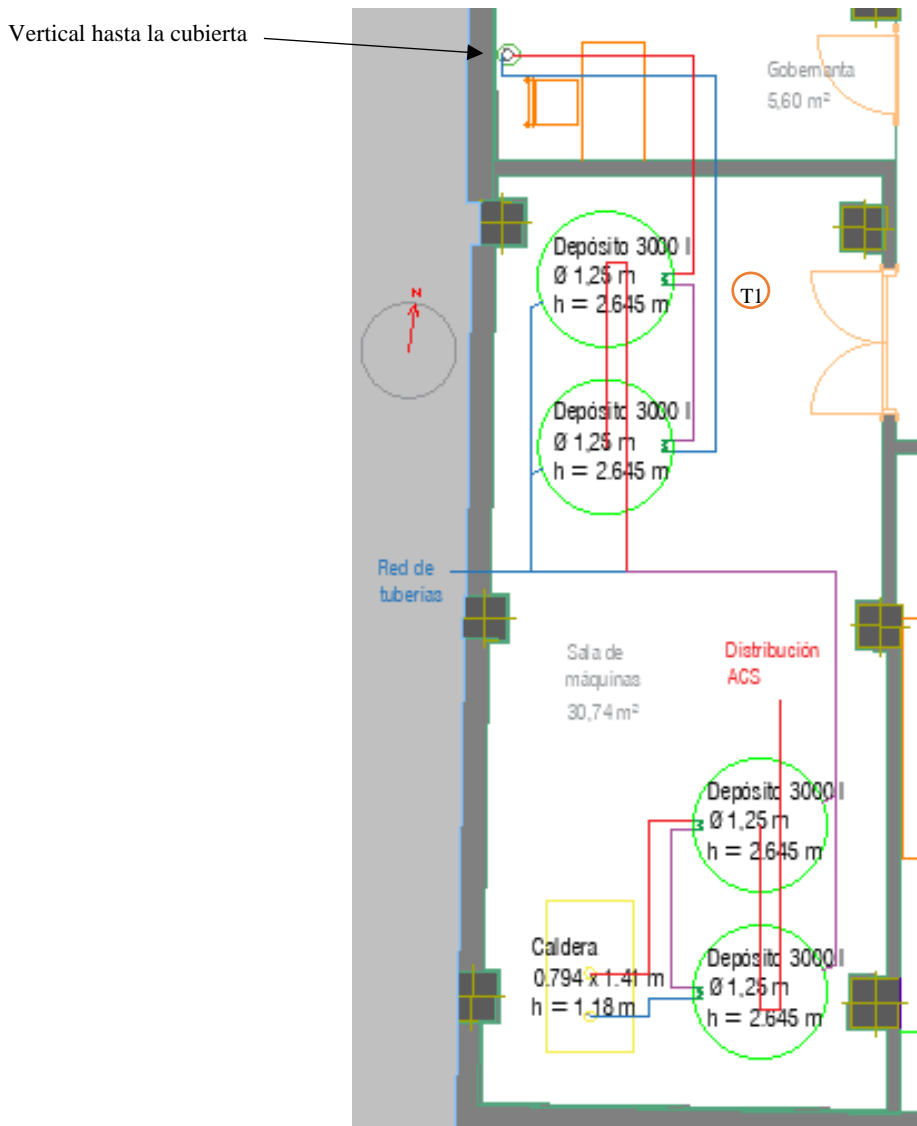


Figura 47: Distribución de tuberías en la sala de máquinas (planta sótano).

Tramo	V [l/h]	L [m]	D ["]	Dp <sub>t</sub> [Pa/m]	Dp <sub>t</sub> [kPa]
T1	2189	94.75	1-1/2	103.8	<b>9.8</b>
T2	1094	1.7	1	212.8	<b>0.4</b>
T3	547	6.1	3/4	250.9	<b>1.5</b>
T4	547	7.45	3/4	250.9	<b>1.9</b>
T5	1094	13.24	1	212.8	<b>2.8</b>
T6	1094	19.13	1	212.8	<b>4.1</b>
T7	547	7.16	3/4	250.9	<b>1.8</b>
T8	547	6.69	3/4	250.9	<b>1.7</b>
T9	1094	8.08	1	212.8	<b>1.7</b>

Tabla 16: Pérdidas de carga lineal en tramos rectos.

## 2.6.5 Pérdidas de carga en las tuberías

Se dimensionará la red de tuberías del circuito primario, tanto para la impulsión como para el retorno, teniendo en cuenta todos los accesorios que componen el circuito.

Con el fin de facilitar los cálculos, las pérdidas de carga de las tuberías del circuito primario se calcularán mediante una hoja de cálculo Excel. En esta hoja de cálculo se obtendrá la pérdida de carga por metro de tubería lineal en función del material de la tubería, temperatura del fluido, diámetro de la tubería y caudal del fluido.

Para calcular la pérdida de carga en accesorios usaremos el método de la longitud equivalente. Calcularemos la longitud equivalente de accesorios como codos, válvulas, etc, en función de su diámetro para posteriormente multiplicarlo por la pérdida de carga lineal calculada previamente para cada tramo (Tabla 16).

En la tabla 17 encontraremos las longitudes equivalentes (m) para cada accesorio en función del diámetro nominal (") del tramo al que pertenezcan:

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

Tabla 17: Longitudes equivalentes de accesorios en tuberías de cobre.

De esta forma, para cada tramo, se puede calcular la longitud equivalente de los accesorios que se encuentran en él o, lo que es lo mismo, se puede calcular la pérdida de carga debido a los accesorios contenidos en dicho tramo (Tabla 18).

Tramo	D ["]	Accesorios	L <sub>acc</sub> [m]	Dp <sub>t</sub> [Pa/m]	Dp <sub>acc</sub> [kPa]
T1	1-1/2	14 codo90°	8.96	103.8	<b>0.9</b>
T2	1	1 Bif.alineada	0.24	212.8	<b>0.1</b>
T3	3/4	1 Bif.Derivada 1 Bif.Alineada 5 codos90°	2.28	250.9	<b>0.6</b>
T4	3/4	1 Bif.Derivada 1 Bif.Alineada 6 codos90°	2.57	250.9	<b>0.6</b>
T5	1	1 Bif.Derivada 5 codos90°	2.92	212.8	<b>0.6</b>
T6	1	1 Bif.Derivada 3 codos90°	2.12	212.8	<b>0.5</b>
T7	3/4	1 Bif.Derivada 1 Bif.Alineada 6 codos90°	2.57	250.9	<b>0.6</b>
T8	3/4	1 Bif.Derivada 1 Bif.Alineada 5 codos90°	2.28	250.9	<b>0.6</b>
T9	1	1 Bif.Alineada 4 codos90°	1.84	212.8	<b>0.4</b>

*Tabla 18: Pérdidas de carga debido a los accesorios contenidos en cada tramo.*

Adicionalmente, se tendrán en cuenta las pérdidas de carga que provocan los equipos tales como captadores e intercambiadores (Tabla 19).

Tramo	Equipos	Dp <sub>ut</sub> [kPa]
T1	2 Interacumuladores	<b>44.94</b>
T2	-	<b>0.00</b>
T3	3 captadores	<b>0.75</b>
T4	3 captadores	<b>0.75</b>
T5	-	<b>0.00</b>
T6	-	<b>0.00</b>
T7	3 captadores	<b>0.75</b>
T8	3 captadores	<b>0.75</b>
T9	-	<b>0.00</b>

*Tabla 19: Pérdidas de carga debido a los equipos contenidos en cada tramo.*



Si se agrupan las pérdidas lineales, las pérdidas por accesorios y las pérdidas por equipos se podrá obtener la pérdida total por tramo (Tabla 20):

Tramo	Dp_t [kPa]	Dp_acc [kPa]	Dp_ut [kPa]	Dp_tot [kPa]
T1	9.8	0.9	44.94	<b>55.7</b>
T2	0.4	0.1	0.00	<b>0.4</b>
T3	1.5	0.6	0.75	<b>2.9</b>
T4	1.9	0.6	0.75	<b>3.3</b>
T5	2.8	0.6	0.00	<b>3.4</b>
T6	4.1	0.5	0.00	<b>4.5</b>
T7	1.8	0.6	0.75	<b>3.2</b>
T8	1.7	0.6	0.75	<b>3.0</b>
T9	1.7	0.4	0.00	<b>2.1</b>

*Tabla 20: Pérdida de carga total por tramo*

Las pérdidas de carga que tendrá que vencer el grupo de bombeo serán las de la rama más desfavorable, es decir, la rama con mayores pérdidas de carga. Se procederá a calcular las pérdidas de carga desde la descarga de la bomba hasta cada uno de los equipos, en este caso hasta la batería de captadores, pasando por el serpentín de los interacumuladores, sumando las pérdidas de carga de los tramos que conforman cada rama.

Se diferencian cuatro ramas (Figura 45):

- Rama SI (Sur-Inferior): Esta rama comenzará en la sala de máquinas en la planta sótano, subirá por el patio interior del edificio hasta la batería de captadores que se encuentra en el sector sur de la cubierta de la azotea, en concreto a la batería de inferior altura.  
La componen los tramos: T1, T2, T3 y T5.
- Rama SS (Sur-Superior): Esta rama comenzará en la sala de máquinas en la planta sótano, subirá por el patio interior del edificio hasta la batería de captadores que se encuentra en el sector sur de la cubierta de la azotea, en concreto a la batería de superior altura.  
La componen los tramos: T1, T2, T4 y T5.

- Rama NI (Norte-Inferior): Esta rama comenzará en la sala de máquinas en la planta sótano, subirá por el patio interior del edificio hasta la batería de captadores que se encuentra en el sector norte de la cubierta de la azotea, en concreto a la batería de inferior altura.

La componen los tramos: T1, T6, T8 y T9.

- Rama NS (Norte-Superior): Esta rama comenzará en la sala de máquinas en la planta sótano, subirá por el patio interior del edificio hasta la batería de captadores que se encuentra en el sector norte de la cubierta de la azotea, en concreto a la batería de superior altura.

La componen los tramos: T1, T6, T7 y T9.

Rama SI	Dp <sub>tot</sub> [kPa]
Tramo 1	58.3
Tramo 2	0.4
Tramo 3	2.9
-	0.0
Tramo 5	3.4
-	0.0
-	0.0
-	0.0
-	0.0
Dp <sub>rama</sub>	<b>65.0</b>
Desquil.	-3.1
	-4.6 %

Rama SS	Dp <sub>tot</sub> [kPa]
Tramo 1	58.3
Tramo 2	0.4
-	0.0
Tramo 4	3.3
Tramo 5	3.4
-	0.0
-	0.0
-	0.0
-	0.0
Dp <sub>rama</sub>	<b>65.4</b>
Desquil.	-2.7
	-4.0 %

Rama NI	Dp <sub>tot</sub> [kPa]
Tramo 1	58.3
-	0.0
-	0.0
-	0.0
-	0.0
Tramo 6	4.5
-	0.0
Tramo 8	3.0
Tramo 9	2.1
Dp <sub>rama</sub>	<b>68.0</b>
Desquil.	-0.2
	-0.3 %

Rama NS	Dp <sub>tot</sub> [kPa]
Tramo 1	58.3
-	0.0
-	0.0
-	0.0
-	0.0
Tramo 6	4.5
Tramo 7	3.2
-	0.0
Tramo 9	2.1
Dp <sub>rama</sub>	<b>68.2</b>
Desquil.	0.0
	0.0 %

Tabla 21: Pérdida de carga total por rama.

Se observa a partir de los resultados de la tabla 21 que hay un pequeño desequilibrio, fundamentalmente por la diferencia de localización de las baterías de captadores. Se aprecia una mayor pérdida de carga en las baterías situadas en la zona norte de la cubierta, esto se debe a que la cubierta no es simétrica y por estética se accede a las baterías de captadores desde la zona sur.

Se considera un desequilibrio aceptable, 4.6%, ya que no supera el 10% de desequilibrio, porcentaje crítico de diseño.

La rama más desfavorable es la rama Norte-Superior, con una pérdida de carga total de 68.2 kPa (Tabla 21).

## 2.7 Dimensionado del grupo de bombeo

Se dimensionará el equipo de bombeo según las exigencias del CTE. Se establece en el código que para instalaciones en las que el área de captación es mayor a 50 m<sup>2</sup> se deberán instalar dos bombas iguales en disposición paralela. Las bombas no funcionarán simultáneamente, sino que una de las dos será una bomba de reserva.

El área de captación total de toda la instalación es de 91.2 m<sup>2</sup> (48 captadores de 1.9 m<sup>2</sup> cada uno), por lo que se debe instalar 2 bombas iguales en disposición paralela. Cada bomba debe ser capaz de mover todo el caudal que circula por el circuito primario venciendo las pérdidas de carga de la rama más desfavorable del circuito.

Optando por el lado de seguridad, se escogerá una bomba que sea capaz de vencer una pérdida de carga mayor que la pérdida de carga de la rama más desfavorable del circuito.

El gradiente de presiones que debe dar la bomba será entonces:

$$\Delta p_{\text{bomba}} = \Delta p_{\text{rama.max}} \cdot k$$

\*Siendo  $\Delta p_{\text{rama.max}}$  la pérdida de carga de la rama más desfavorable, igual a 68.2 kPa, y  $k$  el coeficiente de seguridad (Se usa para sobre dimensionar la bomba un 5% más de su capacidad).

Se calcula:

$$\Delta p_{\text{bomba}} = 68.2 \text{ kPa} \cdot 1.05 = 71.61 \text{ kPa} = 7.161 \text{ mca}$$

Conociendo el caudal (2189 l/h = 2.19 m<sup>3</sup>/h) y el salto de presión a vencer por la bomba (7.161 m.ca) se puede entrar en la gráfica que proporciona el fabricante de bombas WILO para elegir, dentro del modelo Stratos-Z, el tamaño de la bomba.

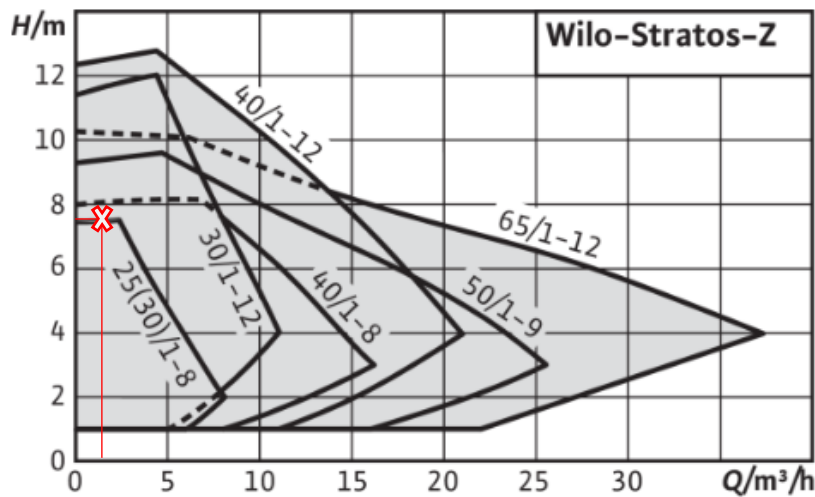


Figura 48: Curva característica de la bomba de circulación

Se escogerá por tanto una bomba WILO-Stratos-Z 30/1-8, que supera la presión que debe aportar la bomba para superar las pérdidas del circuito primario.

## 2.8 Dimensionado del vaso de expansión

Para este apartado, se tomará como referencia de diseño la norma UNE 100-155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión”, donde se propone unos pasos a seguir para facilitar el procedimiento. Los pasos propuestos son los siguientes:

- En primer lugar, se determinará el volumen total del fluido caloportador del circuito primario. Se procederá a sumar el volumen presente en todo el circuito de tuberías, así como el volumen contenido en los captadores.

Para este cálculo, diseñando por el lado de la seguridad, se supondrá un volumen total un 10% mayor del resultante al sumar el volumen contenido tanto en tuberías como en equipos.

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{captadores}} + V_{\text{tuberías}} + V_{\text{serpentin}} + V_{\text{seguridad}}$$

\*Siendo  $V_{\text{captadores}}$  la capacidad de cada captador multiplicada por el número total de captadores,  $V_{\text{tuberías}}$  el resultado de sumar el volumen de todas las tuberías del circuito primario,  $V_{\text{seguridad}}$  un porcentaje de seguridad sobre la suma de  $V_{\text{captadores}}$  y  $V_{\text{tuberías}}$ .

$$V_{\text{captadores}} = V_{\text{captador}} \cdot N_{\text{captadores}} = 1.02 \cdot 48 = 48.96 \text{ l}$$

Para calcular  $V_{\text{tuberías}}$  necesitamos conocer el diámetro interior de cada tubería. En la tabla 22 se muestran los datos característicos de las tuberías de cobre que van a utilizarse en la instalación.

**Tubería de cobre de temple rígido Tipo "M"**

Medida Nominal	Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Espesor de Pared	Peso	Peso por tramo	Presión Máxima	Presión Constante	Flujo
Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Lb/pie kg/m	libras kilogramos	PSI kg/cm <sup>2</sup>	PSI kg/cm <sup>2</sup>	G. P. M. L. P. M.
1/4"	0.375"	0.325"	0.025"	0.107	2.132	6,133	1,226	
6.35 mm	9.525	8.255	0.635	0.159	0.968	431.15	86.18	
3/8"	0.500"	0.450"	0.025"	0.145	2.903	4,500	900	2.247
9.50 mm	12.700	11.430	0.635	0.216	1.318	316.35	63.27	8.507
1/2"	0.625"	0.569"	0.028"	0.204	4.083	4,032	806	4.064
12.7 mm	15.875	14.453	0.711	0.304	1.854	283.45	56.66	15.382
3/4"	0.875"	0.811"	0.032"	0.328	6.566	3,291	658	10.656
19 mm	22.225	20.599	0.812	0.488	2.981	231.35	46.25	40.333
1"	1.125"	1.055"	0.035"	0.465	9.310	2,800	560	21.970
25 mm	28.575	26.767	0.889	0.693	4.227	196.84	39.36	83.180
1 1/4"	1.375"	1.291"	0.042"	0.683	13.656	2,749	550	39.255
32 mm	34.925	32.791	1.067	1.016	6.200	193.25	38.66	148.580
1 1/2"	1.625"	1.527"	0.049"	0.941	18.821	2,713	542	62.335
38 mm	41.275	38.785	1.245	1.400	8.545	190.72	38.10	235.940
2"	2.125"	2.009"	0.058"	1.461	29.233	2,470	491	131.000
51 mm	53.975	51.029	1.473	2.176	13.272	173.65	34.51	495.860
2 1/2"	2.625"	2.495"	0.065"	2.032	40.647	2,228	445	231.461
64 mm	66.675	63.373	1.651	3.025	18.454	156.62	31.28	876.010
3"	3.125"	2.981"	0.072"	2.683	53.663	2,073	414	375.189
76 mm	79.375	75.718	1.889	3.994	24.363	145.73	29.10	1,420.09
4"	4.125"	3.935"	0.095"	4.665	93.310	2,072	414	799.395
102 mm	104.775	99.949	2.413	6.945	42.363	145.65	29.10	3,025.71

Tabla 22: Datos característicos de tuberías de cobre.

$$V_{\text{tuberías}} = \sum L_{D=i} \cdot \pi \cdot \frac{i^2}{4} = 144.79 \text{ l}$$

$$V_{\text{serpentín}} = 2 \cdot 28.2 = 56.4 \text{ l}$$

$$V_{\text{seguridad}} = (V_{\text{captadores}} + V_{\text{tuberías}} + V_{\text{serpentín}}) \cdot 0.1 = 25.02 \text{ l}$$

$$V_{\text{tot}} = 275.17 \text{ l}$$

- En segundo lugar, se determinará el coeficiente de expansión del fluido caloportador del circuito primario. Al utilizar solamente agua como fluido caloportador se simplifican mucho los cálculos. Se obtiene el coeficiente de expansión mediante la siguiente expresión:

$$C_{\text{exp}} = (-1.75 + 0.064 \cdot T + 0.0036 \cdot T^2) \cdot 10^{-3}$$

\*Siendo T la temperatura del fluido a su paso por el vaso de expansión. Se estimará un valor de temperatura de 60 °C.

$$C_{exp} = 0.015$$

- En tercer lugar, se determinará el coeficiente de presión para un vaso de expansión cerrado mediante la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{p_{max}}{p_{max} - p_{min}}$$

\*Siendo  $p_{max}$  la presión máxima de funcionamiento, fijada por la presión de tarado de la válvula de seguridad, y  $p_{min}$  la presión estática que resulta de la diferencia de altura entre el punto más elevado de la instalación y la situación del vaso de expansión, añadiendo además la presión atmosférica y un pequeño margen de seguridad.

- La  $p_{max}$  se corresponde con la presión de tarado de la válvula de seguridad:

$$p_{max} = 8 \text{ bar}$$

- La  $p_{min}$  se calcula mediante la expresión:

$$p_{min} = \Delta\text{altura} + p_{atm} + p_{seguridad}$$

\*Siendo:  $\Delta\text{altura}=28.53 \text{ m}=2.853 \text{ bar}$ ;  $p_{atm}=1 \text{ bar}$ ;  $p_{seguridad}=0.5 \text{ bar}$ .

$$p_{min} = 4.353 \text{ bar}$$

Resultando de esta forma:

$$C_p = 2.19$$

Definitivamente, a partir de los parámetros obtenidos, se procede a calcular el volumen del vaso de expansión a partir de la siguiente expresión:

$$V_{vaso\_exp} = V_{tot} \cdot C_{exp} \cdot C_p = 275.17 \cdot 0.015 \cdot 2.19 = 9.04 \text{ l}$$

Por tanto, se obtiene un valor para el volumen del vaso de expansión de 9.04 litros. Se elige un vaso de expansión de 12 litros del fabricante TERMICOL referencia 706SOL012. El vaso se instalará justo antes de pasar por la bomba.

## 2.9 Cálculo del espesor de aislamiento

En el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (2013), apartado 1.2.4.2.1 “Aislamiento térmico de redes de tuberías” del RITE se pueden encontrar las exigencias mínimas de aislamiento para todas las tuberías, accesorios, equipos, aparatos y depósitos de las instalaciones térmicas en las que el fluido caloportador circule a más de 40° por locales no calefactados (entendiendo por locales no calefactados: pasillos, patinillos, sala de máquinas, etc).

Además, cuando las tuberías o equipos se encuentren instalados en el exterior del edificio, el aislamiento deberá tener una protección suficiente contra la intemperie en su terminación final.

Los equipos y accesorios estarán aislados térmicamente con el espesor determinado por el fabricante. Este aislamiento cumplirá con creces con la normativa específica en materia de aislamiento.

Para el cálculo del espesor mínimo de aislamiento (Tabla 23) se usará el procedimiento simplificado. En este procedimiento, los espesores mínimos de aislamiento [mm] se expresarán en función del diámetro exterior de la tubería sin aislar y de la temperatura del fluido en la red para un material con conductividad térmica de referencia a 10 °C de 0.040 W/m K indicados en las siguientes tablas:

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

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

Tabla 23: Espesores mínimos de aislamiento. Procedimiento simplificado. RITE.

Los espesores mínimos de aislamiento de las redes de tuberías que tengan un funcionamiento continuo, como redes de ACS, deben ser los indicados en las tablas anteriores aumentados en 5 milímetros.

El tramo 1 discurre prácticamente en su totalidad por el interior del edificio mientras que el resto lo hacen por el exterior del edificio, por lo que habrá que dimensionar el aislamiento atendiendo a la tabla 1.2.4.2.2 que facilita el RITE para todos los tramos, excepto para el tramo 1, que se usará la tabla 1.2.4.2.1, y, puesto que por el circuito primario no circula el agua caliente sanitaria no hace falta sumarle 5mm más de espesor de aislante (en el caso del circuito secundario habría que sumarlo). Los resultados se recogen en la tabla 24.

Tramo	D ["]	D <sub>ext</sub> [mm]	Aislamiento [mm]
T1	1-1/2	41.275	30
T2	1	28.575	35
T3	3/4	22.225	35
T4	3/4	22.225	35
T5	1	28.575	35
T6	1	28.575	35
T7	3/4	22.225	35
T8	3/4	22.225	35
T9	1	28.575	35

*Tabla 24:Espesor de aislamiento de tubería por tramos.*

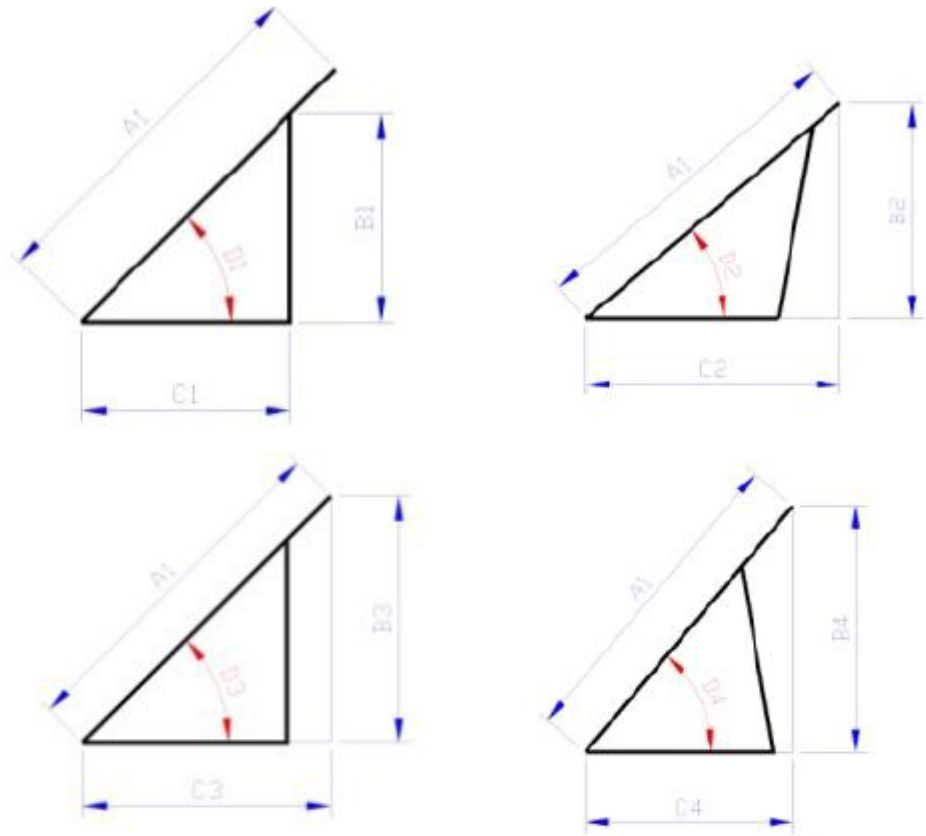
## 2.10 Selección de accesorios

### 2.10.1 Estructura soporte de los captadores

Al tratarse de una cubierta plana, se instalarán los captadores en unas estructuras de soporte que deberán cumplir las exigencias del CTE en cuanto a seguridad.

Se usarán las estructuras prediseñadas del fabricante que encontramos adjuntos en el catálogo del captador solar plano, es decir, los adquirimos directamente de la misma empresa, TERMICOL (Figura 49).





	A1	B1	C1	D1	B2	C2	D2	B3	C3	D3	B4	C4	D4
Modelos verticales	2,15	1,25	1,25	45°	1,38	1,65	40°	1,52	1,52	45°	1,65	1,38	50°
T20USH T20PSH	1,00	0,68	0,68	45°	0,64	0,77	40°	0,71	0,71	45°	0,77	0,65	50°
T25USH T25PSH	1,23	0,68	0,68	45°	0,79	0,94	40°	0,87	0,87	45°	0,94	0,79	50°

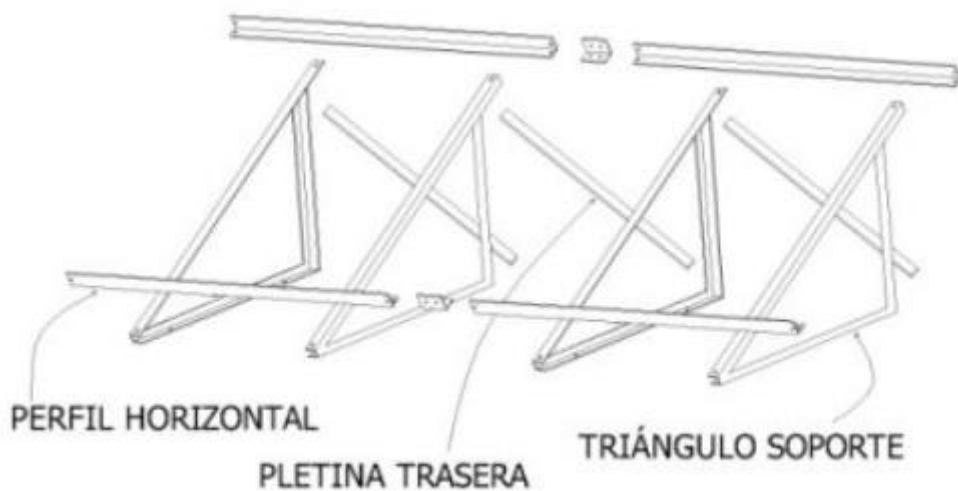
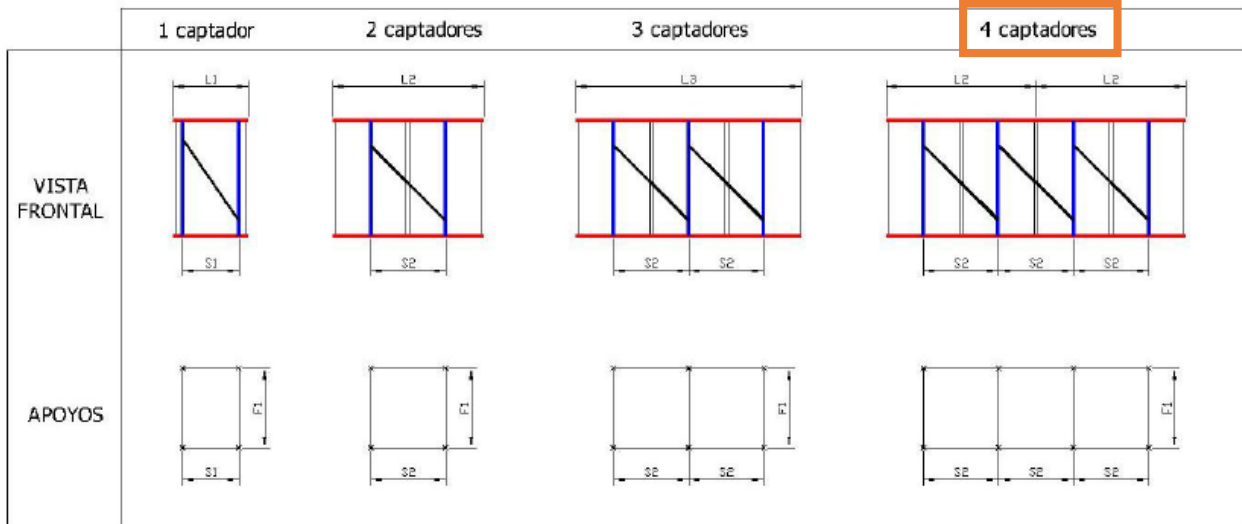


Figura 49: Partes y medidas de la estructura de soporte.

Las estructuras formarán dos campos de captadores en disposición 12x2, agrupados por grupos de 4 captadores con la separación pertinente entre ellos, y se ajustarán con la inclinación deseada, es decir, 40° de inclinación (Figura 50).



	L1	L2	L3	S1	S2	F1
<b>T20US, T20PS</b>	1,00	2,00	3,00	0,75	1	1,05
T25US, T25PS	1,00	2,46	3,69	0,75	1,23	1,05
Mod. Horizontales	2,10	4,00	5,90	1,90	1,90	0,52

Figura 50: Dimensiones de las estructuras de soporte

La estructura no arrojará ninguna sombra sobre los captadores de la fila contigua.

### 2.10.2 Accesorios del circuito primario

Se pueden localizar los siguientes accesorios en el plano 2.

- Válvulas

Dentro de las válvulas se distinguen: Válvulas de corte, válvulas de retención y válvulas de seguridad.

- V. de corte: Se instalan a la entrada y salida de los diferentes equipos. (18 válvulas)

- V. de retención: Se instalan a la salida de las bombas. (2 válvulas)
- V. de seguridad: Se instala una a la salida del campo solar y otra junto al vaso de expansión. (5 válvulas)
- Aislamiento

A partir de los cálculos obtenidos en la tabla 24 para el aislamiento de las tuberías se decide instalar coquillas aislantes de la marca ARMAFLEX, usando para el tramo de 1-1/2" el modelo HT-32x042-SWH, para las tuberías de 1" el modelo HT-32x028-SWH y para las tuberías de 3/4" el modelo HT-32x022-SWH todos con una conductividad térmica de 0.04 W/m K.

- Purgadores

Se colocarán purgadores automáticos en los puntos más altos de la instalación, es decir, a la salida de los grupos de captadores, para evitar que se acumule aire (4 purgadores).

- Fluido caloportador

El fluido caloportador será 100% agua de red, pues debido a las condiciones climatológicas de la localidad donde está situada la instalación se ha optado por no añadir anticongelante.

Esta decisión abarata costes operativos y simplifica su mantenimiento.

- Filtros

Se colocará un filtro de asiento inclinado antes de cada bomba (2 filtros).

- Termómetros

Se colocarán termómetros con vaina a la salida de las baterías de captadores (4 termómetros) y en la parte inferior de los acumuladores (2 termómetros).

### **2.10.3 Sistema de control**

El sistema de control será el encargado de evitar que se excedan las temperaturas máximas operativas de la instalación y también de que el fluido caloportador no descienda por debajo de una temperatura 3°C superior a la temperatura de congelación de este.

Además, mandará órdenes a las bombas de parar cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y dará orden de no parar cuando la diferencia de temperaturas sea mayor de 7°C.

Mediante termómetros con vaina se medirá la temperatura máxima del circuito de captación en la parte superior de los captadores, se colocará uno al final de cada batería de captadores, mientras que en el interacumulador se medirá mediante un sensor de temperatura en su parte inferior.



## ANEXO1: Certificación CHEQ4

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

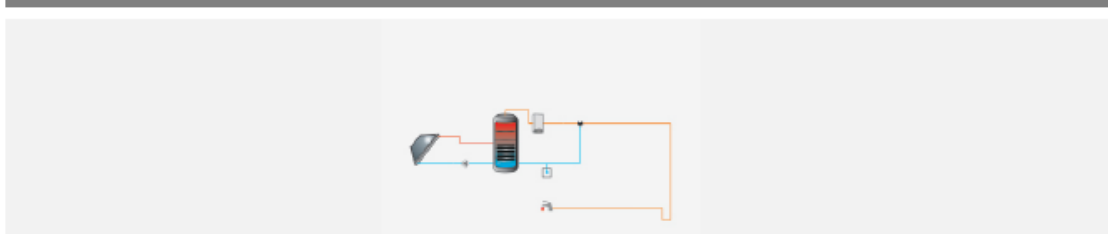
## Datos del proyecto

Nombre del proyecto	
Comunidad	
Localidad	
Dirección	

## Datos del autor

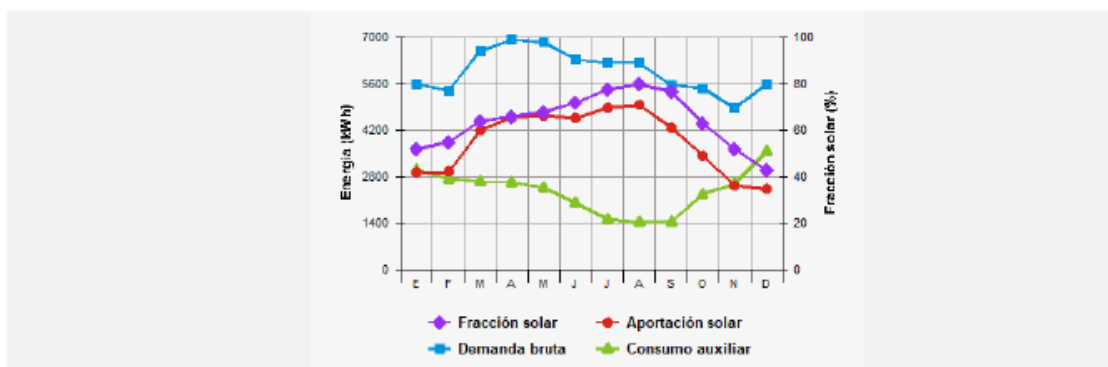
Nombre	
Empresa o institución	
Email	
Teléfono	

## Características del sistema solar



Localización de referencia	Marbella (Málaga)
Altura respecto la referencia [m]	0
Sistema seleccionado	Instalación de consumidor único con acumulador
Demanda [l/día a 60°C]	4,284
Ocupación %	Ene: 75, Feb: 80, Mar: 90, Abr: 100, May: 100, Jun: 100, Jul: 100, Ago: 100, Sep: 90, Oct: 80, Nov: 70, Dic: 75

## Resultados



Fracción solar [%]	65
Demanda neta [kWh]	71,126
Demanda bruta [kWh]	71,837
Aporte solar [kWh]	46,487
Consumo auxiliar [kWh]	28,392
Reducción de emisiones de [kg de CO2]	13,673

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

Parámetros del sistema		Verificación en obra
<b>Campo de captadores</b>		
Captador seleccionado	Termicol T 20 US ( Termicol )	<input type="checkbox"/>
Contraseña de certificación	NPS-15112 - Verificar vigencia	<input type="checkbox"/>
Número de captadores	48.0	<input type="checkbox"/>
Número de captadores en serie	3.0	<input type="checkbox"/>
Pérdidas por sombras (%)	0.0	<input type="checkbox"/>
Orientación [°]	-8.0	<input type="checkbox"/>
Inclinación [°]	40.0	<input type="checkbox"/>
<b>Circuito primario/secundario</b>		
Caudal circuito primario [l/h]	2,189.0	<input type="checkbox"/>
Porcentaje de anticongelante [%]	0.0	<input type="checkbox"/>
Longitud del circuito primario [m]	130.0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	24.0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	35.0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	genérico	<input type="checkbox"/>
<b>Sistema de apoyo</b>		
Tipo de sistema	Caldera convencional	<input type="checkbox"/>
Tipo de combustible	Gasóleo	<input type="checkbox"/>
<b>Acumulación</b>		
Volumen [l]	6,000.0	<input type="checkbox"/>
<b>Distribución</b>		
Longitud del circuito de distribución [m]	100.0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	25.0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	25.0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	genérico	<input type="checkbox"/>
Temperatura de distribución [°C]	60.0	<input type="checkbox"/>





### **3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS**

### **3.1 Objeto**

El presente pliego de condiciones técnicas fija los criterios generales del proyecto de instalación de captadores solares planos para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel de dos estrellas en la localidad de Marbella, situado en la provincia de Málaga.

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

### **3.2 Normativa aplicable**

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

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

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

## 3.3 Condiciones materiales y equipos

### 3.3.1 Tuberías

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

En los circuitos de agua caliente sanitaria podrán utilizarse cobre y acero inoxidable. También materiales plásticos que sean capaces de soportar las condiciones extremas (presión y temperatura) de funcionamiento del circuito, y que estén autorizadas por la normativa.

Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y sus uniones serán realizadas por accesorios a presión que soporten también las condiciones extremas, o con soldadura por capilaridad de acuerdo a la norma UNE EN 1057.

Cuando la temperatura pueda superar los 125°C se utilizará soldadura fuerte.

En todos los casos es recomendable prever la protección catódica del acero según la norma UNE 100050. Todos los elementos metálicos no galvanizados, ya sean tuberías, soportes, o accesorios, o que no estén protegidos contra la oxidación por su fabricante, se les aplicará dos capas de pintura antioxidante a base de resinas sintéticas acrílicas multipigmentadas por minio de plomo, cromado de zinc y óxido de hierro. Las dos manos de pintura se dan uno fuera de obra y otra ya con el tubo instalado.

-Accesorios:

- Compensadores de dilatación:

Estos se utilizan en los circuitos de agua caliente. Han de ser instalados allí donde indique el plano y donde se requiera según la experiencia del instalador, cumpliéndose las recomendaciones propuestas por el reglamento.

Siempre se colocarán entre dos puntos fijos, capaces de soportar los esfuerzos de dilatación y de presión que se originan.

Los extremos del compensador van a ser de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chaflán de 37° 30' y un talón de 1,6 mm cuando el diámetro nominal de la tubería sea de hasta 2" inclusive. Si las tuberías son de diámetro superior, las conexiones serán con bridas en acero al carbono según las normal DIN 2502 o 2503, según si las presiones son de 6 y 10 o 16 Kg/cm<sup>2</sup>. Estas bridas van soldadas a los cuellos del compensador por los procedimientos recomendados para soldadura de piezas en acero al carbono de espesores medios.

- Juntas:

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

- Lubricante de roscas:

General: no endurecedor, no venenoso. Se incluirán acoplamientos dieléctricos o latiguillos en las uniones entre cobre y acero o fundición, tanto en conducción de impulsión, como en retorno.

- Derivaciones:

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

- Codos en bombas:

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

- Sombreretes:

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

- Guías:

En las cuales se indicarán donde sea necesario como en liras, Juntas de expansión, instaladas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

- Termómetros:

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

- Manómetros:

Los manómetros serán con válvula de aguja de aislamiento en acero inoxidable e inmersos en glicerina. Los rangos 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.

- Válvulas de seguridad:

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

las mismas. Las válvulas de seguridad de alivio serán de paso angular y carga por resorte. Serán adecuadas para condiciones de trabajo de 0 a 120°C y hasta 25 Kg/cm<sup>2</sup>. Los materiales de fabricación son cobre RG-5 para el cuerpo, vástago, tornillo de fijación, tuerca deflectora y la tobera, latón para el cabezal y obturador, acero cadmiado para el resorte Y PTFE para la junta.

- Purgadores de aire:

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

Las derivaciones se harán de tal modo que se eviten retenciones de aire y se permita el paso libre del mismo. Se incluirá purgadores de aire, manuales y 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 instalarán 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 regla general, los purgadores manuales, salvo en puntos ocultos o de difícil acceso, que hagan recomendable la instalación de purgadores automáticos.

- Vaciados:

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

- Conexiones a equipos:

Se utilizarán elementos de unión que permitan una fácil conexión y desconexión de los diferentes equipos y elementos de la red de tuberías, 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**

- Generalidades

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

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

Siguiendo los siguientes criterios:

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

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

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

- 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 carpeta:

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

- Válvulas de retención de muelle:

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

- Purgadores automáticos de aire:

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

### **3.3.3 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 esté basado en espuma elastómera se podrá usar pinturas plásticas impermeables cuya exposición prolongada al sol no afecte a sus propiedades fundamentales.

### **3.3.4 Vasos de expansión**

Los vasos de expansión serán siempre cerrados. El vaso de expansión llevará una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrito 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 adoptarán las medidas necesarias (vaso tampón, tubería de enfriamiento, etc.). Para que no llegue al vaso fluido a temperatura superior a la que el mismo pueda soportar.

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

El cuerpo exterior del depósito será de acero, timbrado y estará construido de forma que sea accesible la membrana interior de expansión. El interior tendrá un tratamiento

anticorrosivo y exteriormente un doble tratamiento antioxidante con acabado pintado al duco o esmaltado al horno.

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

### **3.3.5 Bombas**

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

- Fabricante
- Marca
- Modelo
- Características eléctricas

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

- Cuerpo en fundición o bronce. Partidos, o no, según planos. Se incluirán conexiones para cebado, venteo, drenaje y manómetros en impulsión y descarga.
- Rodete de fundición/ polysulfone o bronce.
- Eje en acero inoxidable AISI316.
- Tubo de estanqueidad en acero inoxidable.
- Cojinete a bolas de carbono, a prueba de polvo y humedad.
- Cierres mecánicos: todas las bombas deberán de estar provistas con cierres mecánicos y separadores de sedimentos.
- Juntas torcas de EPDM.
- 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, número de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

### 3.3.6 Captadores

#### 3.3.6.1 Generalidades

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

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

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

- Material de la cubierta transparente: vidrio templado de espesor no inferior a 3 mm y transmittancia 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.

La instalación de sistemas integrados en cubierta se debería realizar mediante un 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. A estos efectos, es importante señalar que la función de rendimiento del captador siempre este relacionada con una superficie útil y un caudal de ensayo.

### 3.3.6.2 Modelo del captador

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

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

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

- No implique modificaciones en el caudal que circula por dicho captador fuera del rango de 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 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 a chequear serán: caudales, temperaturas en captadores, acumuladores, potencia y energía inyectada en cada servicio y número de horas de funcionamiento de las bombas.

Las funciones de regulación y control 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 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 2°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 2°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 evacuación 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 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 mínimo del 5%)
  - de arranque.
- Indicación mínima de la esfera.
- Capacidad máxima de totalización.
- Presión máxima de trabajo.
- Dimensiones.
- Diámetro y tipo de las conexiones.
- Pérdida de carga en función del caudal.

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

- Medida de energía térmica:

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

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

La posición del contador y de las sondas define la energía térmica que se medirá. El microprocesador podrá estar alimentado por la red eléctrica o mediante pilas con una duración de servicio mínima de 3 años. El microprocesador multiplicará la diferencia de ambas temperaturas por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionará la cantidad de energía.

### **3.3.9 Acumuladores**

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

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

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

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

- 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.

### **3.4 Provisión del 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 la misma hasta su entrega a la propiedad.

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

### 3.6.2 Pruebas parciales

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

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

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

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

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

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

- Pruebas a 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 a UNE-EN 14336:2005, en función del tipo de fluido transportado.

- Pruebas de libre dilatación:

Una vez que las pruebas anteriores de las redes de tuberías hayan resultado satisfactorias y se haya comprobado hidrostáticamente el ajuste de los elementos de seguridad, las instalaciones equipadas con captadores solares se 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 equilibrado**

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

- Sistemas de distribución de agua:

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

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

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

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

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

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

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



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

- Recepción definitiva:

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

En la tabla siguiente se muestra el alcance del mismo:

*Tabla 25: Plan de vigilancia*

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia	Descripción
Captadores	<input type="checkbox"/> Limpieza cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	<input type="checkbox"/> Cristales	3 meses	Inspección visual condensaciones en las horas centrales del día
	<input type="checkbox"/> Juntas	3 meses	Inspección visual agrietamientos y deformaciones
	<input type="checkbox"/> Absorbedor	3 meses	Inspección visual corrosión, deformación, fugas, etc
	<input type="checkbox"/> Conexiones	3 meses	Inspección visual fugas
	<input type="checkbox"/> Estructura	3 meses	Inspección visual degradación, indicios de corrosión
Circuito primario	<input type="checkbox"/> Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6 meses	Inspección visual ausencia de humedad y fugas
	<input type="checkbox"/> Purgador manual	3 meses	Vaciar el aire del botellín

#### 3.7.2 Mantenimiento preventivo

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

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

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

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.

*Tabla 26: Plan de mantenimiento del sistema de captación*

Equipo	Frecuencia	Descripción
Captadores	6 meses	<input type="checkbox"/> Inspección visual diferencias sobre original
		<input type="checkbox"/> Inspección visual diferencias entre colectores
Cristales	6 meses	<input type="checkbox"/> Inspección visual condensaciones y suciedad
Juntas	6 meses	<input type="checkbox"/> Inspección visual agrietamientos, deformaciones
Absorbedor	6 meses	<input type="checkbox"/> Inspección visual corrosión, deformaciones
Carcasa	6 meses	<input type="checkbox"/> Inspección visual deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
Conexiones	6 meses	<input type="checkbox"/> Inspección visual aparición de fugas
Estructura	6 meses	<input type="checkbox"/> Inspección visual degradación, indicios corrosión y apriete tornillos
Captadores	12 meses	<input type="checkbox"/> Tapado parcial campo de captadores
	12 meses	<input type="checkbox"/> Destapado parcial campo de captadores
	12 meses	<input type="checkbox"/> Vaciado parcial campo de captadores
	12 meses	<input type="checkbox"/> Llenado parcial campo de captadores

*Tabla 27: Plan de mantenimiento del sistema de acumulación*

Equipo	Frecuencia	Descripción
Depósito	12 meses	<input type="checkbox"/> Presencia de lodos en fondo
Ánodo sacrificio	12 meses	<input type="checkbox"/> Comprobación del desgaste
Ánodo corriente impresa	12 meses	<input type="checkbox"/> Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12 meses	<input type="checkbox"/> Comprobar que no hay humedad

*Tabla 28: Plan de mantenimiento del circuito hidráulico*

Equipo	Frecuencia	Descripción
Fluido refrigerante	12 meses	<input type="checkbox"/> Comprobar su densidad y PH
Estanquidad	24 meses	<input type="checkbox"/> Efectuar prueba de presión
Aislamiento exterior	6 meses	<input type="checkbox"/> Inspección visual degradación protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento interior	12 meses	<input type="checkbox"/> Inspección visual uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12 meses	<input type="checkbox"/> Control funcionamiento y limpieza
Purgador manual	6 meses	<input type="checkbox"/> Vaciar el aire del botellín
Bomba	12 meses	<input type="checkbox"/> Estanquidad
Vaso expansión cerrado	6 meses	<input type="checkbox"/> Comprobación de la presión
Vaso expansión abierto	6 meses	<input type="checkbox"/> Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6 meses	<input type="checkbox"/> Control funcionamiento actuación
Válvula de corte	12 meses	<input type="checkbox"/> Control funcionamiento actuación (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12 meses	<input type="checkbox"/> Control funcionamiento actuación

*Tabla 29: Plan de mantenimiento del sistema de control*

Equipo	Frecuencia	Descripción
Cuadro eléctrico	12 meses	<input type="checkbox"/> Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12 meses	<input type="checkbox"/> Control funcionamiento actuación
Termostato	12 meses	<input type="checkbox"/> Control funcionamiento actuación
Sistema de medida	12 meses	<input type="checkbox"/> Verificación y control funcionamiento actuación

*Tabla 30: Plan de mantenimiento del sistema de energía auxiliar*

Equipo	Frecuencia	Descripción
Sistema auxiliar	12 meses	<input type="checkbox"/> Control funcionamiento actuación
Sondas de temperatura	12 meses	<input type="checkbox"/> Control funcionamiento actuación

## 4. MEDICIONES Y PRESUPUESTO

## 4.1 Sistema de captación

Nº Ord	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
1.1	Captador solar T20US (TERMICOL) o similar  Superficie útil: 1.9 m <sup>2</sup> Dimensiones: 2013x970x100 mm Peso del captador: 38 kg Rendimiento óptico: 0.803 Coeficiente de pérdida: 3.61 Caudal de ensayo: 72 l/h m <sup>2</sup> k50: 0.82 Pérdida de carga: $y[\text{mbar}] = 0,0295x^2 + 1,1567x - 0,1994$ (x es el caudal en kg/min)	48	580,00	27.840,00
1.2	Estructura soporte 461V14 (TERMICOL) o similar Estructura de soporte de aluminio. Para cubierta plana. 4 captadores T20US	12	540,00	6.480,00
1.3	Conjunto de accesorios para batería de captadores BATCAPT-02 (TERMICOL) o similar Contiene: Llaves de corte Purgador automático Válvula de seguridad	12	109,00	1.308,00
1.4	Conjunto de adaptadores al circuito hidráulico RACORBAT-02 (TERMICOL) o similar	12	10,00	120,00
			<b>TOTAL</b>	<b>35.748,00</b>

## 4.2 Sistema de acumulación

Nº Ord	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
2.1	Acumulador de inercia directo ATB3000-IND (TERMICOL) o similar  Capacidad de ACS: 3000 l Presión máxima de ACS: 6 bar Superficie de intercambio: 6.5 m <sup>2</sup> Temperatura máxima de trabajo: 95 °C	2	3.951,00	7.902,00
			<b>TOTAL</b>	<b>7.902,00</b>

### 4.3 Sistema hidráulico

Nº Ord	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
3.1	Bomba de circulación Stratos-Z 30/1-8 (WILO) o similar  Potencia nominal: 100 W Caudal: 2.19 m <sup>3</sup> /h Altura manométrica: 7.7 m	2	1.490,00	2.980,00
3.2	Vaso de expansión 706SOL012 (TERMICOL) o similar  12 l	1	56,00	56,00
3.3	Set de conexión vaso de expansión STESTSO-01 (TERMICOL) o similar	1	67,00	67,00
3.4	Tubería de cobre de 1-1/2" (SALVADOR ESCODA)	94,75	16,16	1.531,16
3.5	Tubería de cobre de 1" (SALVADOR ESCODA)	42,15	10,58	445,95
3.6	Tubería de cobre de 3/4" (SALVADOR ESCODA)	27,40	8,59	235,37
3.7	Unión/Bifurcación T de 1-1/2" (SALVADOR ESCODA)	2	28,71	57,42
3.8	Unión/Bifurcación T de 1" (SALVADOR ESCODA)	4	4,73	18,92
3.9	Válvula de retención 1-1/2" (SEI)	2	13,61	27,22
3.10	Aislamiento tubería HT-32x042-SWH (ARMAFLEX)	94,75	30,22	2.863,35
3.11	Aislamiento tubería HT-32x028-SWH (ARMAFLEX)	42,15	26,30	1.108,55
3.12	Aislamiento tubería HT-32x022-SWH (ARMAFLEX)	27,40	24,62	674,59
3.13	Codo H-H 90° 5090 1-1/2" (SALVADOR ESCODA)	22	1,61	35,42
3.14	Codo H-H 90° 5090 1" (SALVADOR ESCODA)	12	2,57	30,84
3.15	Codo H-H 90° 5090 3/4" (SALVADOR ESCODA)	12	19,25	231,00
			<b>TOTAL</b>	<b>10.362,79</b>

#### 4.4 Sistema de control

Nº Ord	Concepto	Cantidad	Precio/ud (€)	Total (€)
4.1	Termómetro con vaina de 0 a 110 °C	6	15,20	91,20
4.2	Manómetro con escala de regulación de 0 a 10 bar	6	4,05	24,30
4.3	Filtro de asiento inclinado Grado de filtr. 400-500 micras  Fabricado de latón	2	12,10	24,20
4.3	Centralita solar LTDC-V3 (TERMICOL) o similar  Entradas para sensores de temperaturas: 6 Salidas de control velocidad de la bomba: 2 Variables hidráulicas preconfiguradas: 42 Entradas para medir caudal: 2	1	455,00	455,00
			<b>TOTAL</b>	<b>594,70</b>

#### 4.5 Presupuesto total de la instalación

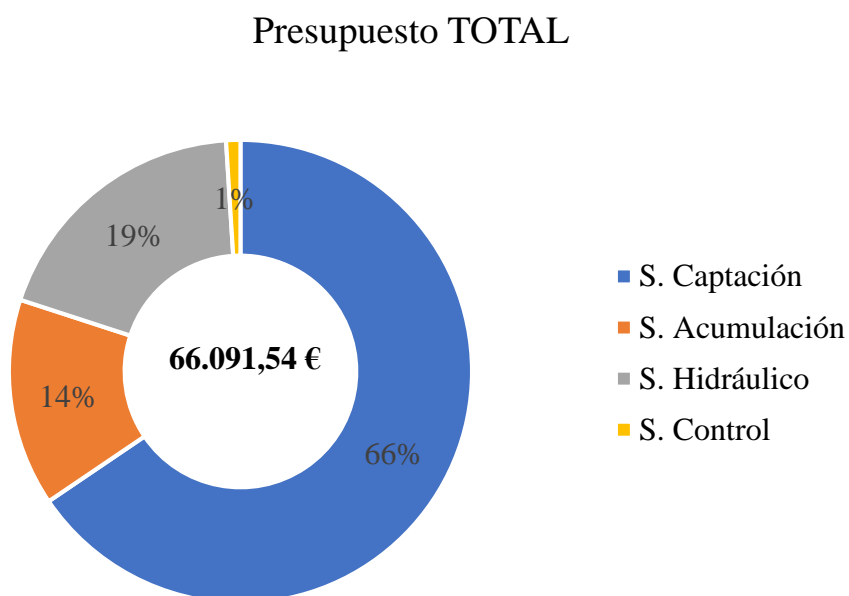
Tipo de sistema	Precio (€)
Sistema de captación	35.748,00
Sistema de acumulación	7.902,00
Sistema hidráulico	10.362,79
Sistema de control	594,7
<b>Presupuesto sin IVA</b>	<b>54.621,11</b>
IVA (21%)	11.470,43
<b>Presupuesto TOTAL</b>	<b>66.091,54</b>

**Coste por m<sup>2</sup> de captación [€/m<sup>2</sup>]                      724,69**



El presupuesto total de la instalación asciende a:

**SESENTA Y SEIS MIL NOVENTA Y UN EUROS CON CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS**



*Figura 51: Reparto presupuesto total*



## 5. PLANOS





**PROYECTO:** Instalación de energía solar para producción de agua caliente en un hotel

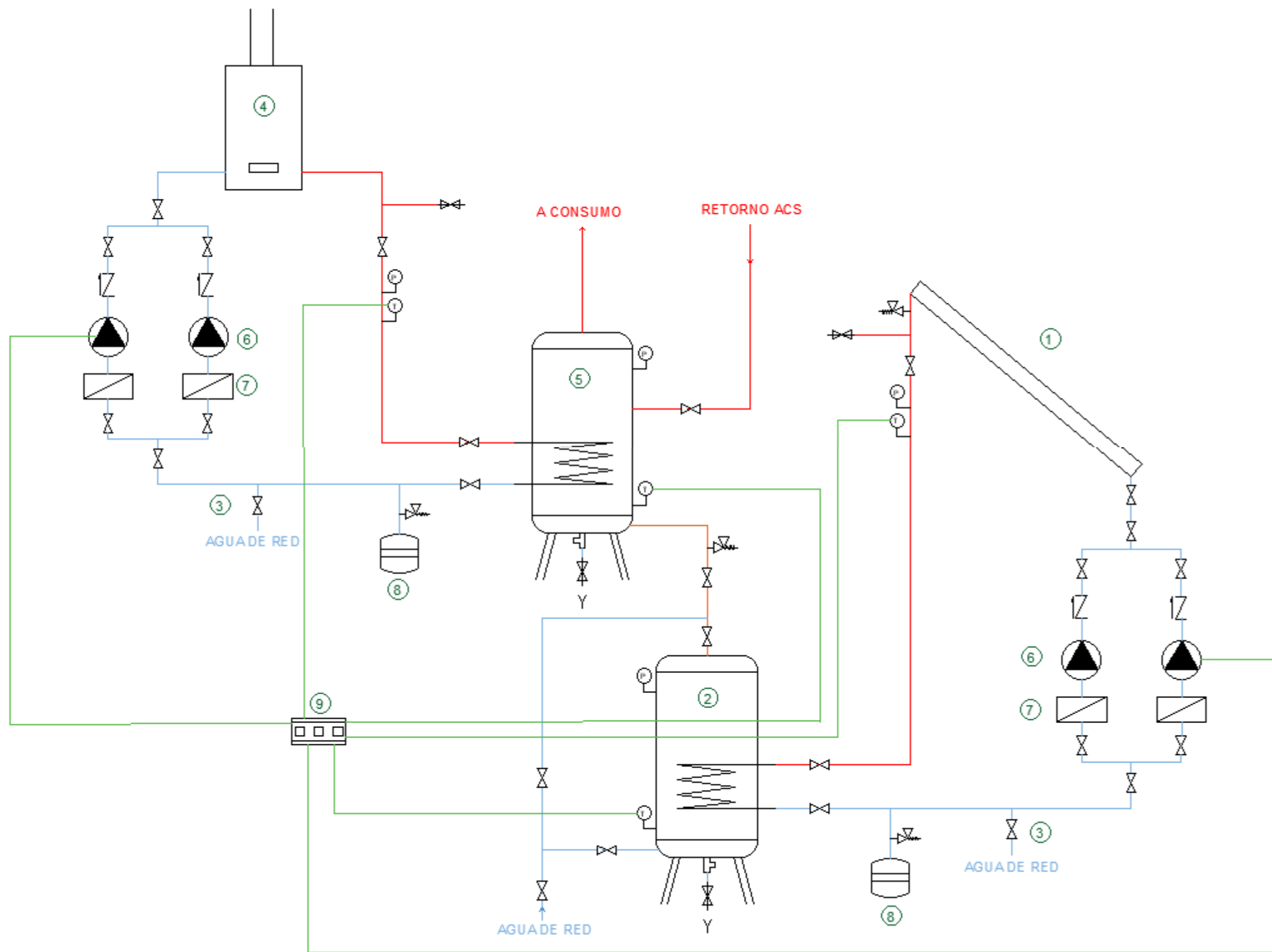
**PLANO:** Situación

**AUTOR:** Javier Menéndez Charlo
















**FECHA:** Junio 2019

**Nº PLANO:** 1/6





## LEYENDA

-  VÁLVULA DE CORTE
-  VÁLVULA DE SEGURIDAD
-  VÁLVULA DE RETENCIÓN
-  VÁLVULA DE VACIADO
  
-  TERMÓMETRO
-  MANÓMETRO
  
-  CAPTADORES SOLARES (48 UD.)
-  INTERACUMULADOR SOLAR (2 UD. 3000L)
-  LLENADO DE CIRCUITOS
-  CALDERA AUXILIAR
-  INTERACUMULADOR AUX. (2 UD. 3000L)
-  BOMBA DE CIRCULACIÓN
-  FILTRO
-  VASO DE EXPANSIÓN
-  SISTEMA DE CONTROL

**PROYECTO:** Instalación de energía solar para producción de agua caliente en un hotel

**PLANO:** Diagrama de principio

**AUTOR:** Javier Menéndez Charlo

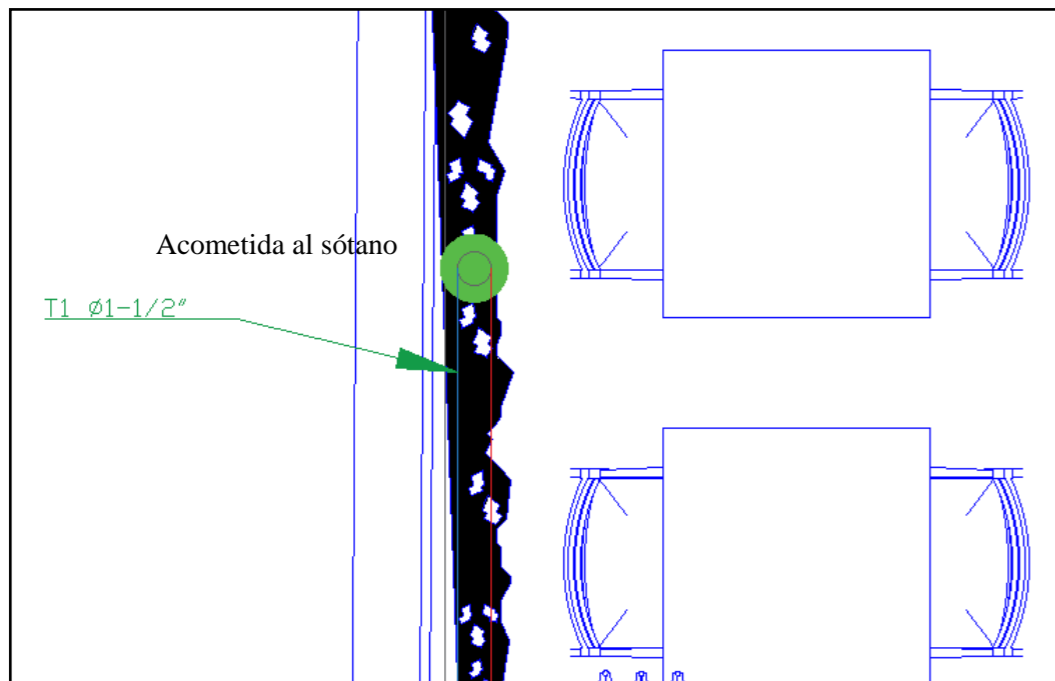
**FECHA:** Junio 2019

**Nº PLANO:** 2/6

Batería NORTE

Batería SUR

ORIENTACIÓN



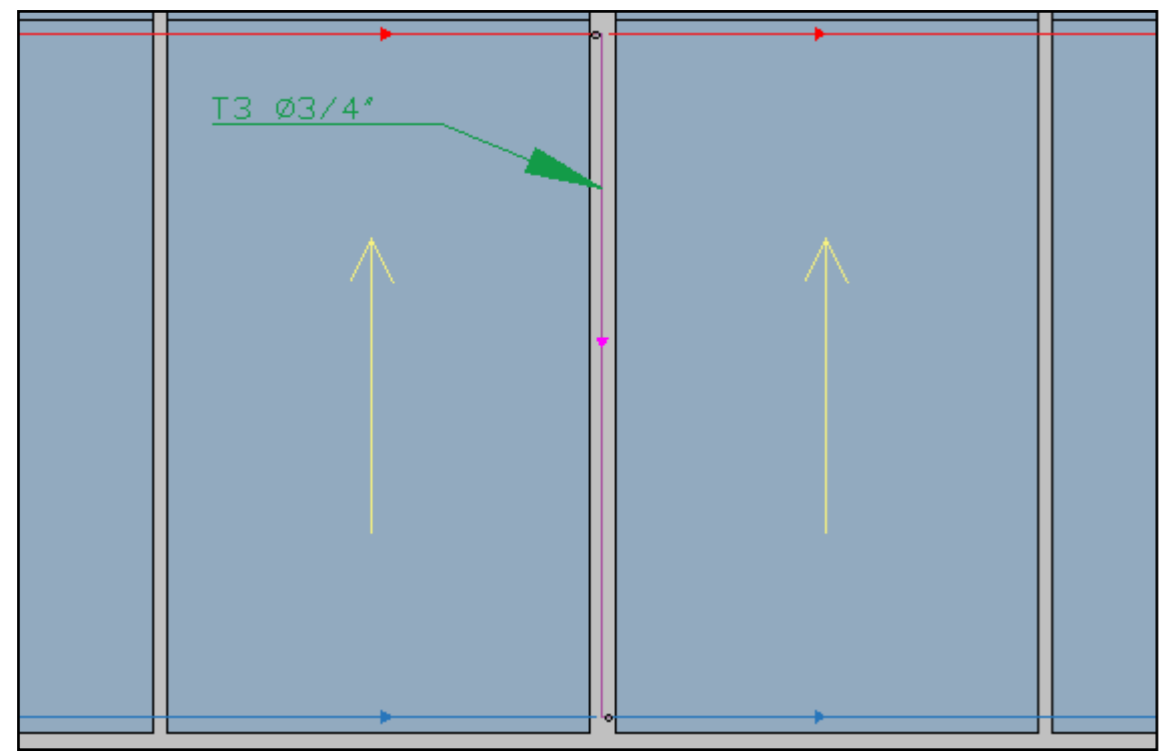
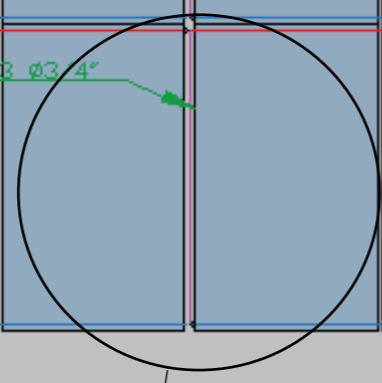
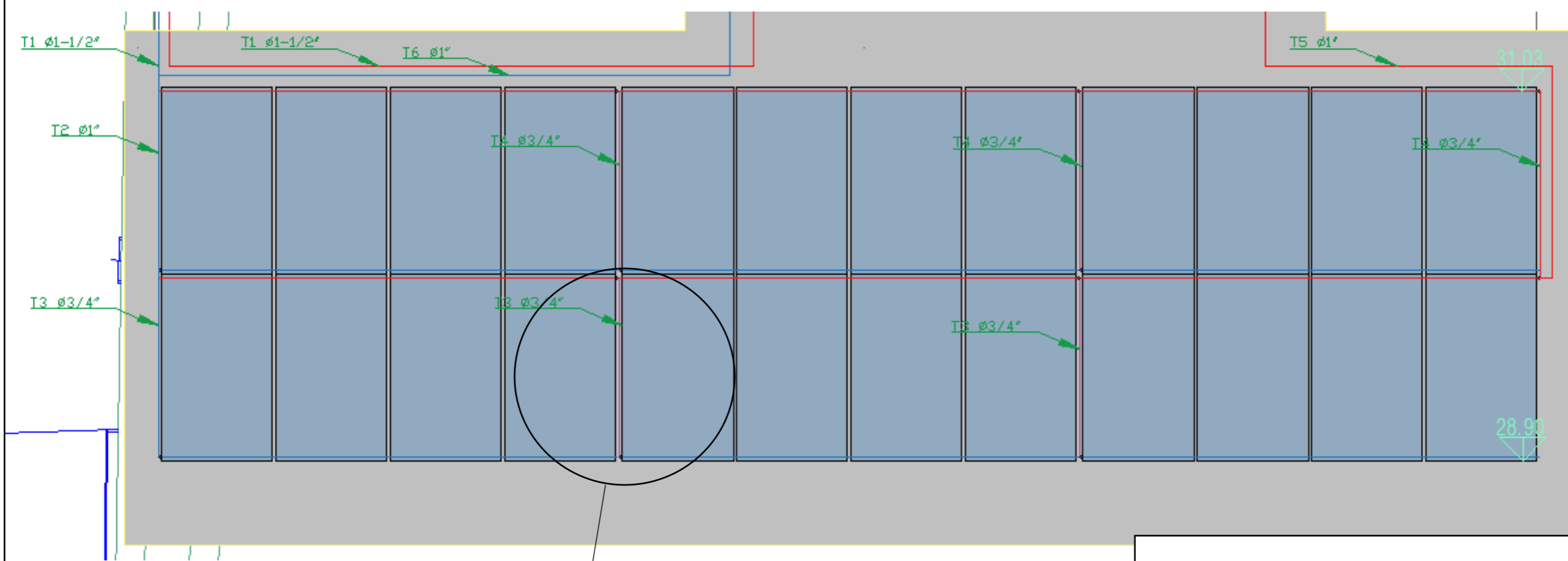
**PROYECTO:** Instalación de energía solar para producción de agua caliente en un hotel

**PLANO:** Planta cubierta (general)

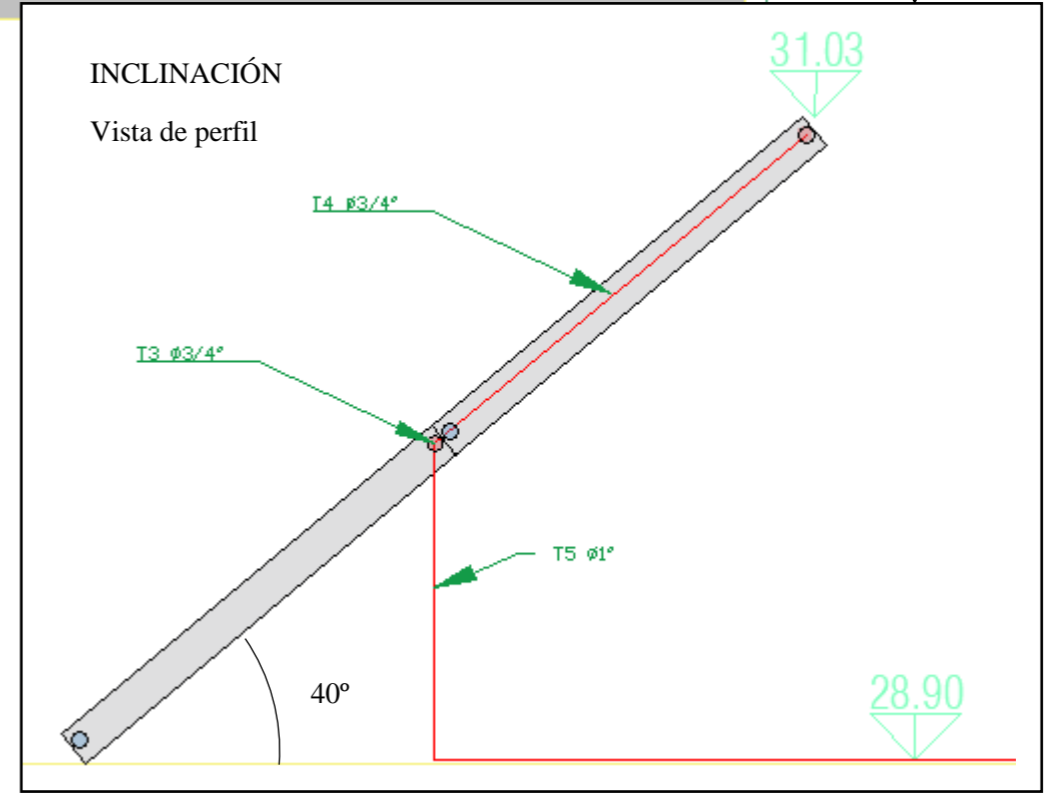
**AUTOR:** Javier Menéndez Charlo

**FECHA:** Junio 2019

**N° PLANO:** 3/6



Unión de captadores en serie



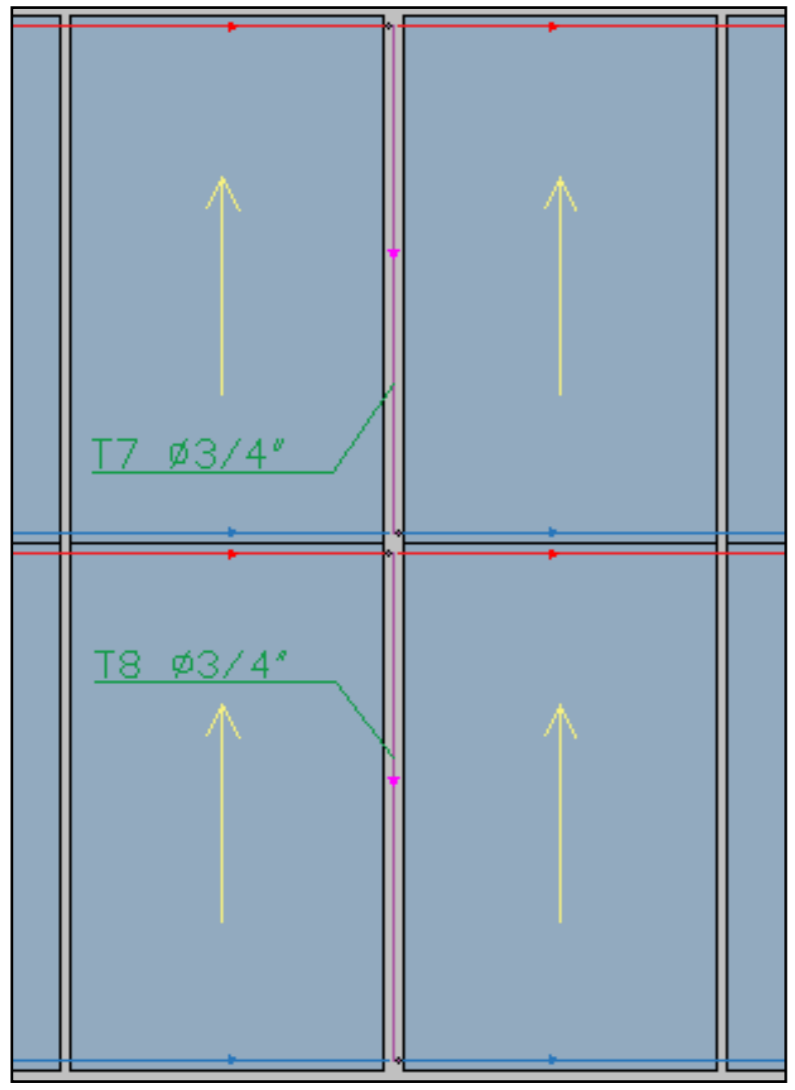
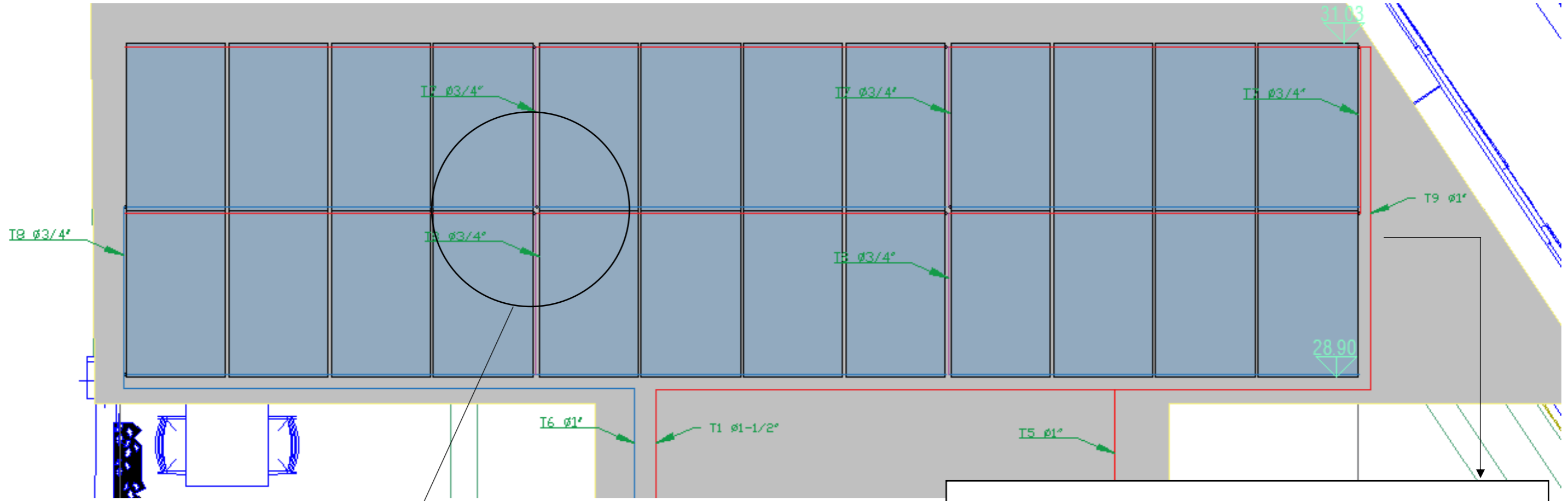
**PROYECTO:** Instalación de energía solar para producción de agua caliente en un hotel

**PLANO:** Planta cubierta (Batería SUR)

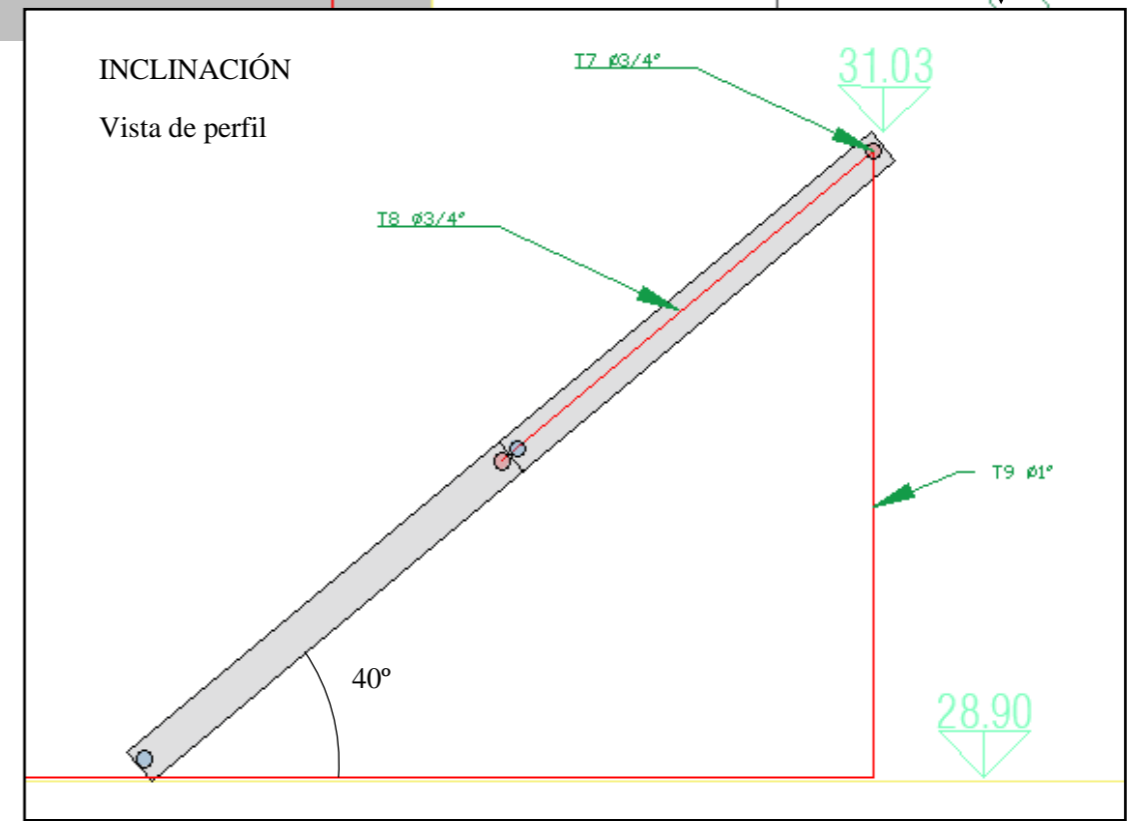
**AUTOR:** Javier Menéndez Charlo

**FECHA:** Junio 2019

**N° PLANO:** 4/6



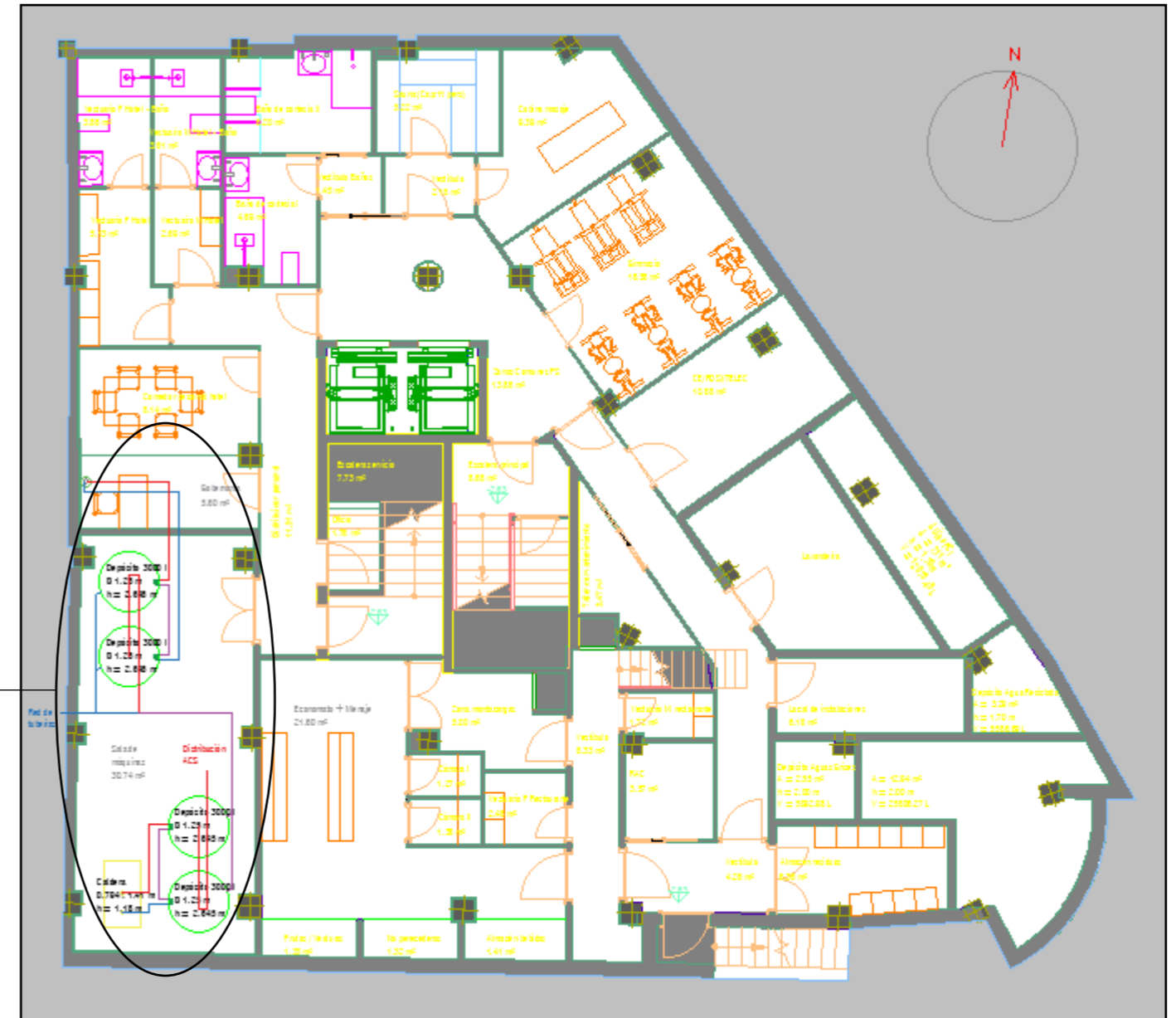
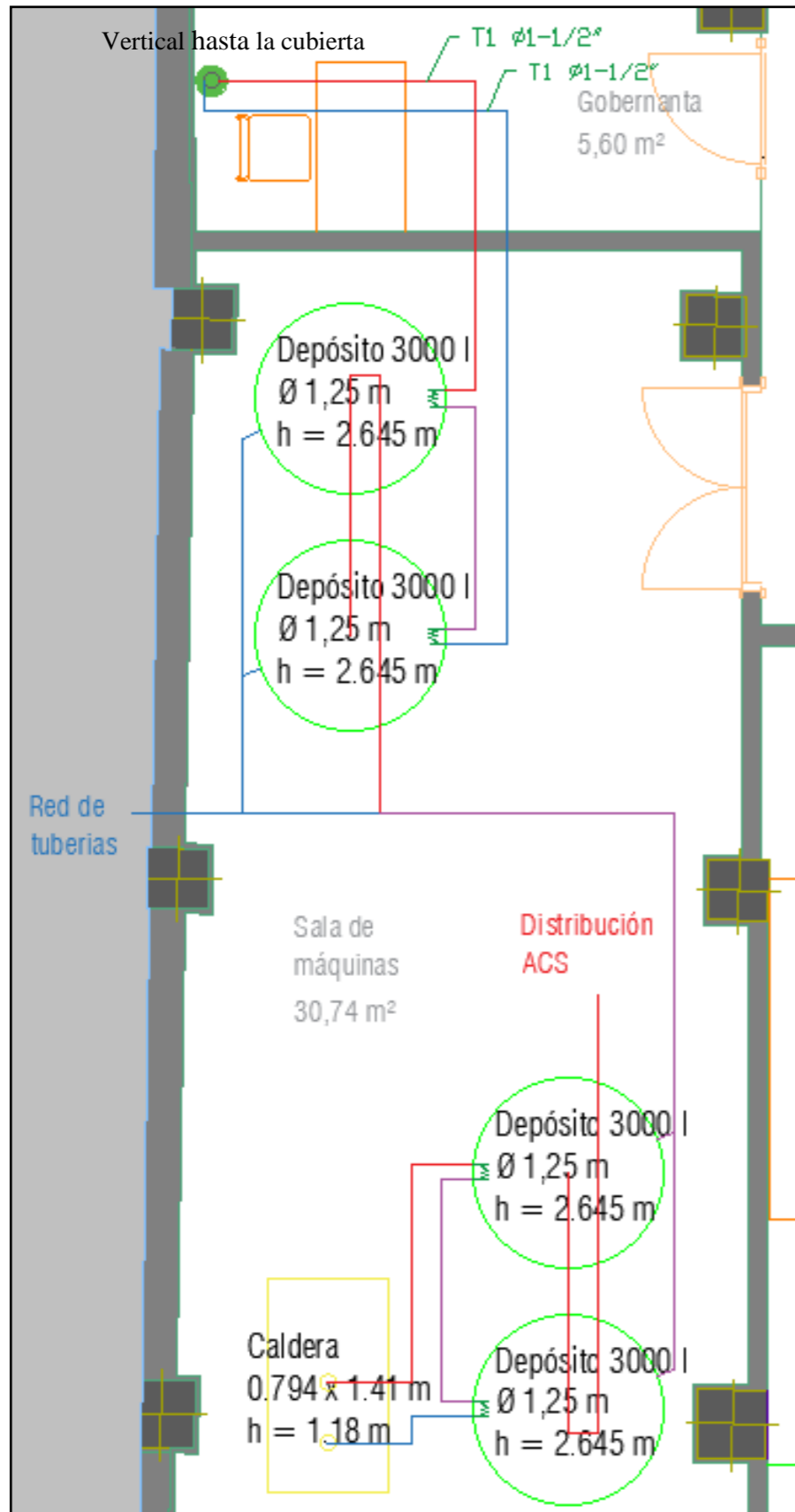
Unión de captadores en serie



INCLINACIÓN  
Vista de perfil

<b>PROYECTO:</b> Instalación de energía solar para producción de agua caliente en un hotel		
<b>PLANO:</b> Planta cubierta (Batería NORTE)		
<b>AUTOR:</b> Javier Menéndez Charlo	<b>FECHA:</b> Junio 2019	<b>Nº PLANO:</b> 5/6





**PROYECTO:** Instalación de energía solar para producción de agua caliente en un hotel

**PLANO:** Sala de máquinas

**AUTOR:** Javier Menéndez Charlo

**FECHA:** Junio 2019

**N° PLANO:** 6/6