



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Eléctrica

*Diseño de instalación solar térmica para  
producción de ACS en el centro ASPACE  
de Valladolid*

Autor: Hernández Campillo, Andrea

Tutor: Pisano Alonso, Jesús Ángel

Departamento de Ingeniería Eléctrica

Valladolid, Febrero 2015.



## **RESUMEN**

Este proyecto consiste en una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en el centro Aspace de Valladolid. El edificio actualmente cuenta con calderas de gas para la producción de agua caliente y calefacción. La instalación solar será solo para el agua caliente, mientras que la producción de calefacción no se modificará.

Es un edificio bajo, de una sola planta y con una cubierta totalmente plana. La solución que se ha elegido es colocar los captadores en la cubierta, con la inclinación más adecuada, y el resto de componentes en la actual sala de calderas, adecuándola para ello.

El proyecto se ha realizado de acuerdo con la normativa vigente, principalmente el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), el Pliego de condiciones Técnicas del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) y el Código Técnico de la Edificación (CTE).

## **PALABRAS CLAVE**

Instalación, Solar, Térmica, ACS, Captador



## INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS

El objeto de este Trabajo de Fin de Grado es el diseño de una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria, cumpliendo con la normativa vigente.

Para la realización de este proyecto se ha partido, por un lado, de los planos del edificio, facilitados por el propio arquitecto del mismo, y por otro lado, de los datos de consumo, así como otros datos necesarios, proporcionados por los responsables del propio centro.

Este proyecto estará compuesto por seis documentos: Memoria, Planos, Pliego de Condiciones, Cálculos, Presupuesto y Estudio Básico de Seguridad y Salud. Además, cuenta con tres anexos de interés: Bibliografía, Tablas y Datos técnicos de los componentes.

Uno de los principales objetivos de este Trabajo de Fin de Grado, además de reflejar distintos conocimientos adquiridos durante la carrera, es familiarizarse con lo que va a suponer el mundo laboral, en concreto la realización de proyectos.



# INDICE

## MEMORIA

1. Enunciado y justificación del proyecto.....	12
1.1. Antecedentes.....	12
1.2. Objetivo.....	12
1.3. Emplazamiento.....	13
2. La energía solar térmica.....	14
2.1. El Sol como fuente de energía.....	14
2.2. Situación actual en España.....	16
2.3. Ventajas e inconvenientes.....	17
2.4. Impacto medioambiental.....	18
2.5. Aplicaciones.....	19
2.6. Clasificación de las instalaciones.....	22
2.7. Partes de una instalación.....	23
3. Descripción del edificio.....	32
3.1. Superficie y distribución.....	32
3.2. Edificios colindantes.....	35
4. Requisitos básicos de la instalación.....	35
4.1. Fluido de trabajo.....	35
4.2. Protección contra heladas.....	35
4.3. Protección contra sobrecalentamientos.....	36
4.4. Prevención de flujo inverso.....	37
4.5. Prevención de la legionelosis.....	37
4.6. Dimensionado básico.....	38
5. Datos de partida.....	38
5.1. Condiciones geográficas y climáticas.....	38
5.2. Demanda de ACS.....	39
5.3. Demanda energética.....	40
5.4. Contribución solar mínima.....	41
6. Estudio energético.....	43
6.1. Inclinación y orientación de los captadores.....	43
6.2. Elección del captador.....	43
6.3. Energía aprovechable.....	44
6.4. Energía captada.....	46
6.5. Superficie captadora.....	47
6.6. Energía solar aportada.....	48
7. Descripción de la instalación.....	54
7.1. Selección de la configuración básica.....	54
7.2. Esquema de la instalación.....	55
8. Componentes.....	56
8.1. Fluido caloportador.....	56
8.2. Sistema de captación.....	57

8.3. Sistema de acumulación e intercambio.....	60
8.4. Circuito hidráulico.....	63
8.4.1. Tuberías.....	63
8.4.2. Bomba de recirculación.....	63
8.4.3. Vaso de expansión.....	65
8.4.4. Purgador y desaireador.....	66
8.4.5. Válvulas.....	66
8.5. Aislamiento térmico.....	67
8.6. Sistema auxiliar.....	69
8.7. Sistema eléctrico y de control.....	70

## **PLANOS**

- Plano nº1: Emplazamiento
- Plano nº2: Planta
- Plano nº3: Esquema de captadores
- Plano nº4: Campo de captadores
- Plano nº5: Sala de calderas
- Plano nº6: Esquema de la instalación
- Plano nº7: Esquema de control

## **PLIEGO DE CONDICIONES**

1. Introducción.....	84
2. Procesos previos al inicio de la instalación.....	84
3. Provisión del material.....	87
4. Fases del proceso de montaje.....	89
5. Puesta en marcha de la instalación.....	92
5.1. Introducción.....	92
5.2. Operaciones de puesta en marcha de la instalación.....	92
5.3. Pruebas de recepción.....	96
6. Aislamiento de la instalación.....	98
7. Entrega de la instalación.....	99
8. Mantenimiento preventivo.....	101
8.1. Mantenimiento u operaciones a realizar por el usuario.....	102
8.2. Mantenimiento a realizar por personal especializado.....	102
8.3. Operaciones de limpieza o mantenimiento no regulares.....	106
9. Localización y reparación de averías.....	108
9.1. Conceptos generales.....	108
9.2. Averías más frecuentes en los sistemas solares de bajas temperaturas.....	108
9.3. Deterioro y degradaciones de inmediata reparación.....	113
9.4. Operaciones de revisión de componentes del circuito.....	113
9.5. Desmontaje de un colector.....	116



## **CÁLCULOS**

1. Pérdidas en los captadores.....	118
1.1. Pérdidas por orientación e inclinación.....	118
1.2. Pérdidas por sombras.....	121
2. Distancia mínima entre filas de captadores.....	124
3. Peso del sistema de captación.....	125
4. Sistema de acumulación.....	126
5. Sistema de intercambio.....	127
6. Tuberías.....	127
6.1. Diámetro de las tuberías.....	127
6.2. Pérdida de carga en las tuberías.....	133
7. Bomba de recirculación.....	134
8. Vaso de expansión.....	136
9. Aislamiento.....	138

## **PRESUPUESTO**

1. Coste total.....	142
2. Estudio económico.....	145

## **ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD**

1. Objeto del presente estudio básico.....	150
1.1. Objeto del presente estudio básico de seguridad y salud.....	150
1.2. Establecimiento posterior de un plan de seguridad y salud en la obra.....	150
2. Identificación de la obra.....	150
2.1. Tipo de obra.....	150
2.2. Suministro de energía eléctrica.....	151
2.3. Suministro de agua potable.....	151
2.4. Servicios higiénicos.....	151
2.5. Interferencias y servicios afectados.....	151
3. Identificación preventiva.....	152
4. Riesgos y medidas de prevención.....	154
4.1. Obra civil.....	154
4.1.1. Movimientos de tierras y cimentaciones.....	154
4.1.2. Estructura.....	155
4.1.3. Cerramientos.....	156
4.1.4. Albañilería.....	157
4.2. Montaje.....	158
4.2.1. Colocación de soportes y embarrados.....	158
4.2.2. Operaciones de puesta en tensión.....	158
4.2.3. Medios auxiliares.....	159
4.2.4. Herramientas.....	160
5. Protecciones frente a los riesgos.....	161

5.1. Protecciones colectivas.....	161
5.2. Equipos de protección individual (EPI).....	162
6. Vigilancia de la salud y primeros auxilios en la obra.....	165
7. Obligaciones del empresario en materia formativa antes de iniciar las obras.....	166

## **ANEXOS**

Anexo I: Bibliografía.....	167
Anexo II: Tablas.....	170
Anexo III: Datos técnicos de componentes.....	186

# **MEMORIA**

## 1. Enunciado y justificación del proyecto

### 1.1. Antecedentes

El presente proyecto es un encargo del Centro Aspace de Valladolid y ha sido redactado por la ingeniera Andrea Hernández Campillo.

Es objeto del proyecto diseñar la instalación de forma que se cumplan las exigencias técnicas de bienestar e higiene, eficiencia energética y seguridad que establece el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

El proyecto se ha redactado de acuerdo con la siguiente normativa de aplicación:

- Código Técnico de Edificación (CTE).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE.
- Reglamento de Equipos a Presión (REP).
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Normas UNE
- Otras normativas

### 1.2. Objetivo

El propósito de este proyecto es el diseño de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en el Centro Aspace de Valladolid.

Actualmente el edificio cuenta con calderas de gas para el agua caliente y calefacción. En este proyecto sólo se modificará el sistema de obtención de agua caliente. El sistema de calefacción no cambiará.

Para la realización del presente proyecto se ha partido, por un lado, de los planos del edificio, proporcionados por el arquitecto del mismo, y por otro, de los datos de consumo, así como otros datos importantes, proporcionados por los responsables del centro.

La solución que se ha adoptado es colocar los colectores solares en la cubierta del edificio, la cual es totalmente plana, y adecuar la sala de calderas actual, para la instalación de los demás componentes, como el acumulador de agua y la bomba de circulación, entre otros.

### 1.3. Emplazamiento

Dicho edificio se encuentra en el Paseo del Jardín Botánico, número 15, en la ciudad de Valladolid (barrio de La Victoria).

Aspace es una asociación de padres, madres y tutores de personas afectadas por parálisis cerebral. Este edificio se utiliza como residencia de algunas de estas personas, o como centro de día; además, se realizan diversas actividades como fisioterapia, hidroterapia, logopedia, etc.

En la siguiente imagen, sacada de la aplicación 'Google Maps', se ve perfectamente el emplazamiento y del edificio y su entorno:



En la parte delantera hay un espacio con aparcamientos y árboles. En la parte posterior, zonas verdes, por donde pasa el Canal de Castilla; en la parte derecha hay un parque; y en la parte izquierda hay un Centro de Salud, construido recientemente.

## 2. La energía solar térmica

### 2.1. El Sol como fuente de energía

La energía solar es la energía que emana el núcleo del sol. Este tipo de energía es producto de una reacción nuclear de fusión producto de las condiciones de intensa gravedad a las que está sometido. Nuestro sol, al igual que todas las estrellas del universo, son enormes esferas gaseosas compuestas principalmente por hidrógeno que, en condiciones específicas, se funde para producir helio. Este proceso libera enormes cantidades de energía, las que brotan desde el corazón de las estrellas y viajan por el espacio por miles de millones de años.

El planeta Tierra se encuentra relativamente cerca del sol y su luz y energía tardan alrededor de 8 minutos en viajar esta distancia. El sol emite radiación en casi todo el espectro electromagnético. La atmósfera y la magnetosfera filtran gran parte de la radiación solar nociva, pero dejan pasar las longitudes de onda correspondiente a la luz visible y al infrarrojo. Es por este motivo que lo que percibimos mayormente en la tierra es luz y calor. Esta energía ha sido y seguirá siendo el sostén para la vida y también la promotora de los más variados efectos sobre la superficie del planeta: entre otros, los vientos, la formación de nubes y lluvia o los cambios climáticos alrededor del globo.

Los cambios científico-tecnológicos modernos han llevado al hombre a buscar y construir las más diversas maneras de aprovechar esta energía y convertirlas en el soporte de la vida en la tierra. Debemos tener en cuenta que aún las formas de energía renovables como la energía hidráulica y la energía eólica (y también la energía de las olas del mar) son subproductos de la descarga de energía solar sobre la corteza terrestre.

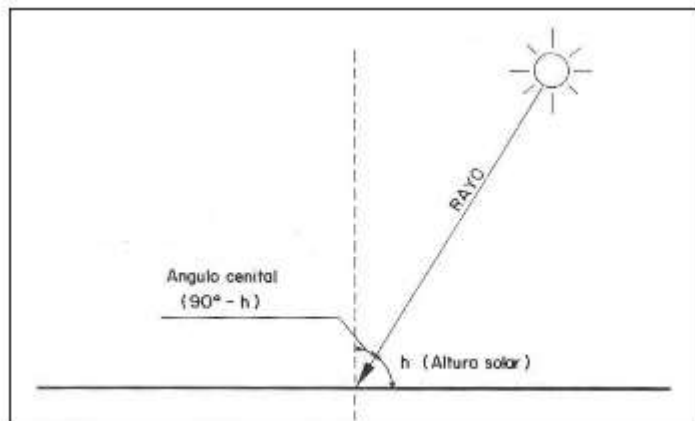
En estos momentos está siendo fuertemente optimizada la tecnología para extraer esta energía proveniente del sol y convertirla en energía de uso humano, como la electricidad y el agua caliente.

El sol, como elemento indispensable para la vida en la tierra, proyecta cada año sobre nuestro planeta 4.000 veces más energía de la que consumimos. A pesar de que brilla en el firmamento desde hace más de 4.500 millones de años, se calcula que el sol todavía no ha alcanzado el ecuador de su existencia.

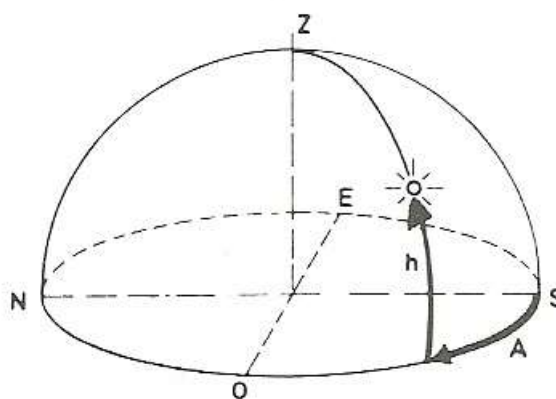
Altura solar y azimut

Para definir con precisión la posición del Sol en cada instante con respecto a un observador se utilizan dos coordenadas: la altura solar,  $h$ , y el azimut solar,  $A$ .

La altura es el ángulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal. A veces se utiliza el ángulo cenital, que es el que forma el rayo con la vertical, es decir, el complementario de la altura.



El azimut es el ángulo de giro del Sol medido sobre el plano horizontal mediante la proyección del rayo sobre dicho plano y tomando como origen el Sur, en el hemisferio norte, y el Norte, en el hemisferio sur. Por convenio, se considera negativo cuando el Sol está hacia el Este (por la mañana) y positivo cuando se sitúa hacia el Oeste (por la tarde).



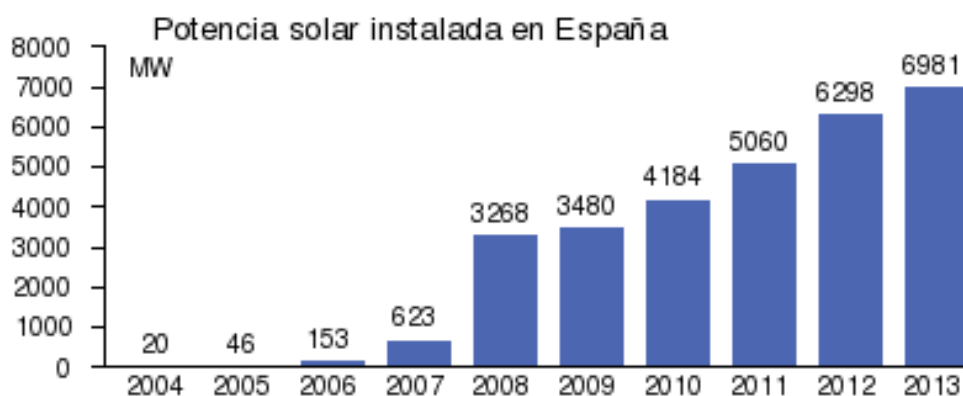
## 2.2. Situación actual en España

La energía solar en España es una fuente de energía que se encuentra en una fase avanzada de desarrollo, instalación y aprovechamiento. Se puede subdividir en dos tipos, principalmente: energía solar fotovoltaica y energía solar térmica.

España es uno de los países de Europa con mayor cantidad de horas de sol, a lo que se unen los compromisos europeos en instalación de energías renovables así como la conveniencia estratégica de disminuir la gran dependencia energética exterior y aumentar la autonomía energética.

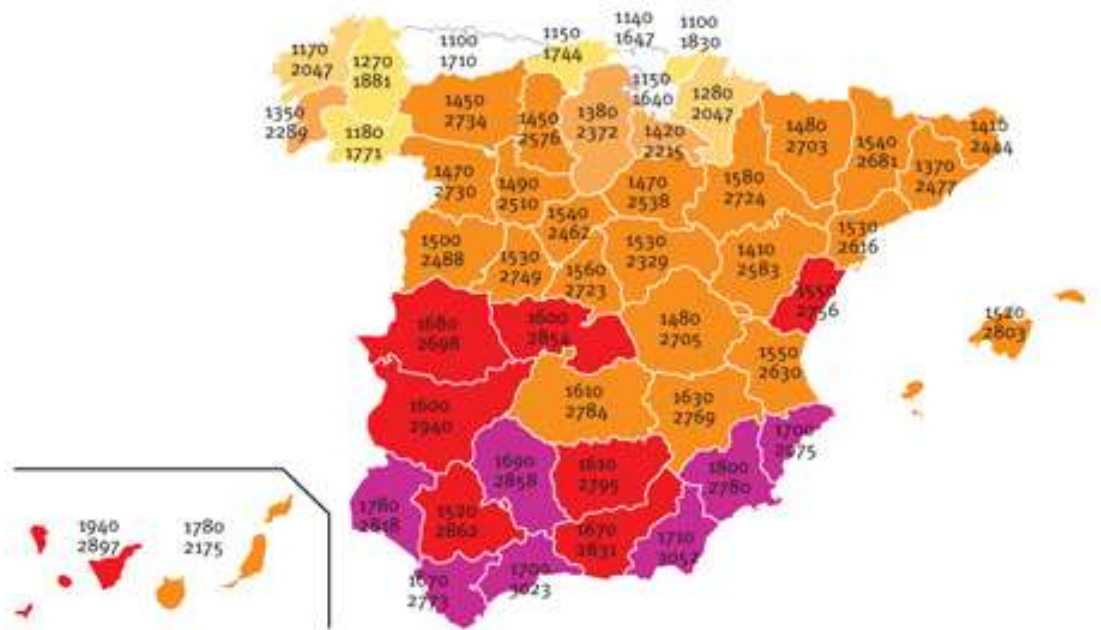
Todo ello contribuyó a que España fuera inicialmente uno de los primeros países a nivel mundial en investigación, desarrollo y aprovechamiento de la energía solar. Gracias a una legislación favorable, España fue en 2008 uno de los países con más potencia fotovoltaica instalada del mundo, con 2708 MW instalados en un sólo año.

A partir de ese año, la potencia solar instalada ha ido aumentando. A finales de 2013 la potencia instalada de energía solar fotovoltaica era de unos 4681 MW, y la de energía solar térmica de unos 2300 MW, es decir, un total de 6981 MW, cubriendo el 4,9 % de la demanda de energía eléctrica ese mismo año (según datos de REE).



España, por su privilegiada situación y climatología, se ve particularmente favorecida respecto al resto de los países de Europa, ya que sobre cada metro cuadrado de su suelo inciden al año unos 1.500 kilovatios-hora de energía.





La cifra superior en cada provincia representa la energía en kWh que incide por m<sup>2</sup> de superficie horizontal en un año, y la cifra inferior, el número de horas de sol.

Para colectores térmicos, es el número de horas de sol el parámetro más significativo a la hora de efectuar un estudio previo de viabilidad de una instalación, ya que dichos colectores únicamente funcionan con rendimiento aceptable en las horas en las que los rayos solares les alcanzan de forma directa.

Para paneles fotovoltaicos, por el contrario, se debe considerar la energía total de radiación, más bien que el número de horas de sol, puesto que estos paneles pueden aprovechar también la radiación difusa, aun en condiciones de cielo nuboso.

### 2.3. Ventajas e inconvenientes

La energía solar tiene gran cantidad de ventajas, por ejemplo:

- Este tipo de energía no emite gases contaminantes.
- Es una fuente inagotable.
- Los sistemas de captación solar que se suelen utilizar son de fácil mantenimiento.

- La energía solar no requiere ocupar ningún espacio adicional, pues puede instalarse en tejados y edificios.
- Se ahorra dinero a medida que la tecnología va avanzando, mientras que el costo de los combustibles fósiles aumenta con el paso del tiempo porque cada vez son más escasos.
- La disponibilidad de energía solar reduce la dependencia de otros países para el abastecimiento de energía de la población.
- Es un sector que promueve la creación de empleo, necesario para la fabricación de células y paneles solares, como para realizar la instalación y el mantenimiento de la misma.

Pero, también tiene algunos inconvenientes:

- El nivel de radiación de esta energía fluctúa de una zona a otra, y lo mismo ocurre entre una estación del año y otra.
- Inicialmente requiere una fuerte inversión económica.
- Muchas veces se debe complementar este método de convertir energía con otros, por ejemplo, una bomba que haga circular el fluido.
- Los lugares donde hay mayor radiación, son lugares desérticos y alejados, (energía que no se aprovecha para desarrollar actividad agrícola o industrial, etc...).

## 2.4. Impacto medioambiental

El uso de energías renovables no es únicamente una fuente de ahorro económico sino principalmente una fuente de ahorro en emisiones y contaminación. Dada la situación mundial actual, en el que las políticas gubernamentales han reparado en los daños que se han venido ocasionando al planeta y los cambios climáticos que ello ha conllevado, es necesario orientar los hábitos de vida a un consumo más eficiente y sobretodo menos dañino.

Ya se ha mencionado el ahorro económico que supone el uso de este tipo de instalaciones, pero hay que reseñar también que el recorte de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de todos los aspectos contaminantes (residuos, contaminación de suelos, visual y acústica) que conlleva el uso de las energías tradicionales supone también un ahorro en los costes que suponen para cada industria y Estado en general.

Habría que considerar, no obstante, la contaminación que se produce en la fabricación de todos los componentes, especialmente en la gestión y

manipulación de metales pesados y fluidos como el anticongelante, aunque en este campo debe ser la normativa medioambiental la que actúe como control.

Otro aspecto ligado directamente a la instalación en el edificio sería el impacto visual que supone, por lo que habrá que cuidar y buscar las mejores condiciones a la hora de instalar los colectores en los edificios.

Pero es la reducción de CO<sub>2</sub> lo que realmente sustenta este tipo de tecnologías y lo que las hace realmente rentables desde un punto de vista medioambiental. Consiguiendo un consumo de las energías tradicionales más tolerante con la atmósfera y el entorno en general, desde un punto de vista individual, puerta por puerta en cada edificio, se contribuiría a apoyar todas las medidas que las administraciones toman actualmente.

La principal consecuencia de la implantación de energías renovables es la reducción de los efectos que supone sobre la atmósfera, como el ya famoso efecto invernadero. El efecto invernadero es el fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de una atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera.

De acuerdo con el actual consenso científico, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por el aumento en la concentración de los llamados gases invernadero: vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono(CO<sub>2</sub>), metano(CH<sub>4</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), clorofluorcarbonados (CFCI<sub>3</sub>) y el ozono de la troposfera. La radiación solar pasa a través de ellos, pero atrapan y conservan el calor de la radiación infrarroja reflejada por la superficie del suelo, aumentando así la temperatura de la atmósfera. El CO<sub>2</sub> causa alrededor del 30 % del efecto.

Este fenómeno evita que la energía solar recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un “invernadero”.

## 2.5. Aplicaciones

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento del calor solar mediante el uso de paneles solares térmicos. Algunas de sus principales aplicaciones son:

- Producción de ACS

Este sistema cada es más popular, ya que no solo se aplica a viviendas unifamiliares, sino también a edificios vecinales, hoteles, superficies comerciales, oficinas, etc.

Con los sistemas de energía solar térmica podemos cubrir el 100% de la demanda de agua caliente durante el verano y del 50% al 80% del total a lo largo del año, pudiendo ser mayor, dependiendo de la zona.

Entre las razones que hacen que esta tecnología sea muy apropiada para este tipo de usos, cabe destacar los niveles de temperaturas que se precisan alcanzar, normalmente entre 40 y 45° C, que coinciden con los más adecuados para el buen funcionamiento de los sistemas solares estándar que se comercializan en el mercado.

- Climatización de piscinas

La climatización del agua para piscinas es otra aplicación interesante de la energía solar, tanto para instalaciones cubiertas como a la intemperie.

En las piscinas al aire libre resulta bastante económico lograr una temperatura estable y placentera, en primer lugar porque, al circular el agua de la piscina directamente por los captadores solares, no es necesario utilizar ningún tipo de intercambiador de calor ni sistema de acumulación. Y en segundo lugar, porque la temperatura de trabajo suele ser tan baja, en torno a los 30° C, que permite prescindir de cubiertas o cualquier otro material aislante.

En el caso de piscinas cubiertas, el sistema es más complejo, ya que deben contar con una fuente energética de apoyo, pero son perfectamente compatibles con otras aplicaciones de aprovechamiento solar, como ACS o calefacción.

- Sistemas de calefacción

Estos equipos suelen ser compatibles con la producción de ACS, existiendo elementos de control que dan paso a la calefacción una vez que se han cubierto las necesidades de agua caliente.

El principal inconveniente es la temperatura de trabajo a alcanzar. Mientras las instalaciones de calefacción convencionales abastecen radiadores de agua con temperaturas entre 70 y 80° C, los captadores de energía solar de placa plana convencionales no suelen trabajar a temperaturas superiores a 60° C, por lo que sólo se utilizan para precalentar el agua.

La mejor solución para este problema es combinar el sistema de captadores solares con un sistema de suelo radiante, el cual funciona a una temperatura entre 30 y 40° C, la temperatura a la cual los captadores trabajan con un alto rendimiento.

- Refrigeración

El aprovechamiento de la energía solar para producir frío es una de las aplicaciones térmicas con mayor futuro, pues las épocas en las que más se necesita enfriar el espacio coinciden con las que se disfruta de mayor radiación solar. Además, esta alternativa permite aprovechar las instalaciones solares durante todo el año, empleándolas en invierno para calefacción y en verano para la producción de frío.

La forma más utilizada para este aprovechamiento es el sistema de refrigeración por absorción. El funcionamiento de estos equipos se basa en la capacidad de determinadas sustancias para absorber un fluido refrigerante. Como absorbentes se utilizan principalmente el amoníaco o el bromuro de litio, y como líquido refrigerante, el agua.

- Usos en la industria

Cada vez son más las aplicaciones de esta energía en el ámbito de la industria, en procesos que requieren un considerable caudal de calor para secar, cocer, limpiar o tratar ciertos productos.

Algunos ejemplos son: tintado y lavado de tejidos en la industria textil, procesos de obtención de pastas químicas en la industria papelera, baños líquidos de pintura para limpieza y desengrasado de automóviles, limpieza y desinfección de botellas e infinidad de envases, secado de productos agrícolas, tratamiento de alimentos, suelo radiante para granjas o invernaderos, etc.

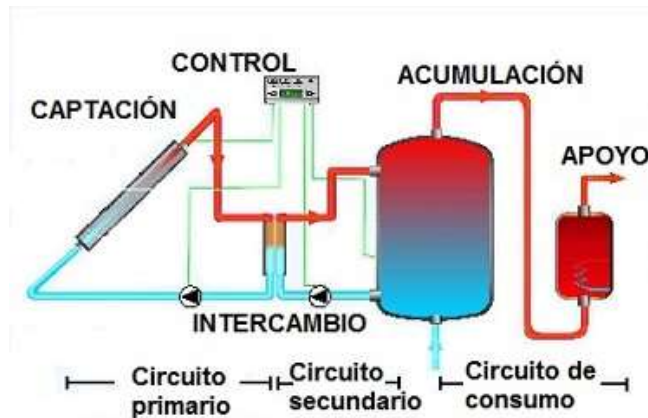
## 2.6. Clasificación de las instalaciones

Se pueden aplicar diversos criterios de clasificación:

- Por el *principio de circulación* se clasificarán en:
  - Instalaciones por termosifón o circulación natural
  - Instalaciones por circulación forzada
  
- Por el *sistema de transferencia de calor*:
  - Instalaciones de transferencia directa sin intercambiador de calor
  - Instalación con intercambiador de calor en el acumulador solar
    - Sumergido
    - De doble envolvente
  - Instalaciones con intercambiador de calor independiente
  
- Por el *sistema de expansión*:
  - Sistema abierto
  - Sistema cerrado
  
- Por el *sistema de aporte de energía auxiliar*:
  - Sistema de energía auxiliar en el acumulador solar
  - Sistema de energía auxiliar en acumulador secundario individual
  - Sistema de energía auxiliar en acumulador secundario centralizado
  - Sistema de energía auxiliar en acumuladores secundarios distribuidos
  - Sistema de energía auxiliar en línea centralizado
  - Sistema de energía auxiliar en línea distribuido
  - Sistema de energía auxiliar en paralelo
  
- Por su *aplicación*:
  - Instalaciones para calentamiento de agua sanitaria
  - Instalaciones para usos industriales
  - Instalaciones para calefacción
  - Instalaciones para refrigeración
  - Instalaciones para climatización de piscinas
  - Instalaciones de uso combinado
  - Instalaciones de precalentamiento

## 2.7. Partes de una instalación

El funcionamiento de una instalación solar térmica consiste en aprovechar la energía del Sol mediante un conjunto de captadores, transformarla directamente en energía térmica cediéndola a un fluido de trabajo y, por último, almacenar dicha energía en un sistema de acumulación, que abastece el consumo cuando sea necesario.



Los sistemas que forman una instalación de este tipo son: sistema de captación, sistema de acumulación, sistema de intercambio, circuito hidráulico, sistema de regulación y control, y sistema auxiliar. A continuación se describe cada uno de ellos.

- Sistema de captación

Es la parte de la instalación encargada de captar la energía proveniente del Sol y transmitirla al fluido caloportador. De su correcto dimensionado va a depender el rendimiento general de la instalación y el buen funcionamiento de la misma.

Existen diferentes tipos de captadores solares, con rendimientos y costes diferentes, por lo que hay que buscar el tipo más apropiado para cada aplicación. De forma general se distinguen dos tipos de captadores solares: planos y de vacío. El más utilizado es el colector plano.

- Colectores de placa plana

El sistema de captación está basado en el principio del efecto invernadero que consiste en que la radiación solar, de longitud de onda corta, atraviesa la cubierta de vidrio transparente e incide sobre el absorbedor, aumentando su temperatura. El absorbedor,

al calentarse, emite radiación de onda larga, la cual queda retenida por la cubierta que es opaca a este tipo de radiación. De esta forma se produce una acumulación de calor que se transfiere al fluido caloportador.

El aislamiento tiene la misión de reducir las pérdidas térmicas del equipo. Está formado normalmente por espumas sintéticas (poliuretano, fibra de vidrio...). La carcasa es el elemento, junto con la cubierta, que constituyen el contenedor del resto de los componentes del captador.



➤ Colectores de vacío

Estos sistemas están formados por una serie de tubos de vidrio en los que cada uno de ellos dispone de un elemento absorbente en su interior. Entre el tubo y el absorbente se ha realizado el vacío de aire. Este vacío provoca que las pérdidas por convección se puedan considerar nulas cuando la presión en el interior de los captadores es inferior a  $10^{-2}$  bar. En cambio, las pérdidas por radiación no disminuyen ya que éstas no dependen de un medio físico para su propagación. Los tubos de vacío se conectan entre sí normalmente en paralelo.

Los captadores de vacío presentan un coeficiente de pérdidas inferior al de los captadores planos, por lo que presentan rendimientos superiores para temperaturas de trabajo elevadas. Es por ello que son los más utilizados cuando se necesitan importantes saltos térmicos, caso de la calefacción, aplicaciones industriales y para la generación de frío por absorción.

Otra ventaja respecto a los captadores solares planos es que pueden ser instalados en posición horizontal, lo que conlleva menor espacio y menores elementos de anclaje. Su principal



desventaja radica en su mayor coste económico con relación a los captadores solares planos.

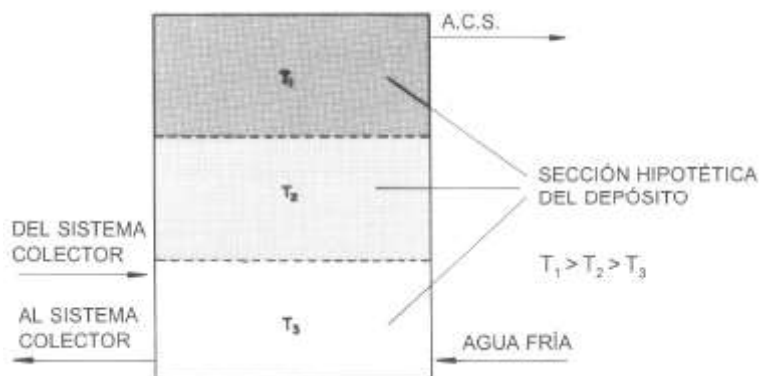


- Sistema de acumulación

El acumulador es el elemento encargado de almacenar la energía térmica generada por los captadores. Su utilización es imprescindible, debido a que no es simultánea la demanda de agua caliente con la generación.

Se debe dimensionar correctamente el acumulador, ya que un acumulador pequeño favorecerá altas temperaturas en los paneles y por el contrario un acumulador demasiado grande dificultará el alcance de la temperatura de uso.

Para favorecer la estratificación de la temperatura en el interior del acumulador se recomienda el uso de acumuladores verticales. Esta estratificación de la temperatura también se ve favorecida por la situación de las tuberías y la entrada de los fluidos en el interior del depósito.



Los materiales de construcción más adecuados el acero, el acero inoxidable, el aluminio y la fibra de vidrio reforzado. El más utilizado es el acero, debido a su asequible coste. Además, con el fin de disminuir las pérdidas debidas a la corrosión, están recubiertos de un material aislante, pudiendo además recubrirse con una funda para incrementar su durabilidad.

Cuando el acumulador lleva incorporado en su interior el intercambiador, se llama interacumulador.

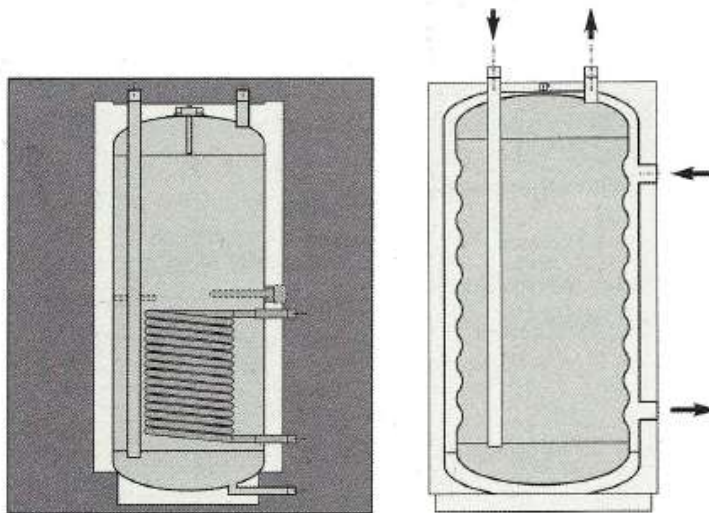
- Sistema de intercambio

Los intercambiadores de calor tienen la finalidad de transmitir el calor del circuito primario al circuito secundario. Se distinguen dos tipos: intercambiadores incorporados al acumulador e intercambiadores externos (cuando el intercambiador va incorporado en el acumulador no existe circuito secundario).

- Intercambiadores incorporados al acumulador

Este tipo de intercambiadores son recomendables en instalaciones pequeñas, ya que sus pérdidas de carga son menores respecto a los intercambiadores externos. Pueden ser de dos tipos: de serpentín o de doble envolvente.

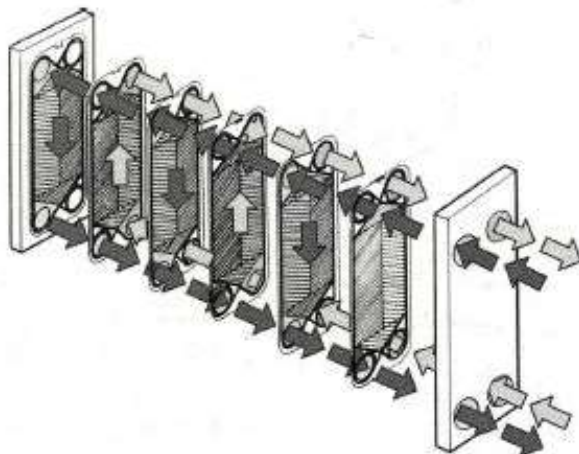
- De serpentín: consiste en un tubo arrollado en espiral que va situado en la parte inferior del acumulador. En el interior del serpentín el líquido está en circulación forzada, mientras que en el exterior, la renovación del fluido en contacto con el serpentín se hace por convección natural.
- De doble envolvente: en este sistema el fluido portador del calor circula alrededor del depósito acumulador en una capa cilíndrica concéntrica. Da unos excelentes resultados. Este sistema es el más usado en los denominados equipos compactos.



➤ Intercambiadores externos

Para instalaciones con acumulaciones a partir de 3000 litros, empieza a ser más económico y práctico el uso de intercambiadores exteriores. Tienen mayor rendimiento de intercambio que los incorporados al acumulador.

En este método de intercambio de calor, los dos fluidos que interactúan están en movimiento. La circulación de los fluidos frío y caliente puede tener lugar en el mismo sentido o en sentido contrario, siendo más efectivos los modelos que funcionan en contracorriente.



- Circuito hidráulico

El circuito hidráulico está formado por el conjunto de tuberías, bombas de circulación, válvulas y accesorios que se encargan de conectar entre sí los principales componentes de la instalación solar y transportar el fluido caloportador.

- Tuberías

Son las encargadas de transportar el fluido caloportador por la instalación, desde los colectores solares hasta el acumulador, y viceversa.

Los materiales empleados son: el cobre, el acero galvanizado, el acero negro y plásticos. El más utilizado es el cobre, debido a su alta resistencia a la corrosión y al aspecto económico, aunque el uso de las tuberías de plástico se está generalizando cada vez más.

- Bomba

Es el elemento encargado suministrar al fluido una cantidad de energía para hacerlo circular a través del circuito hidráulico de una instalación.

En instalaciones de mediano y pequeño tamaño suelen emplearse bombas en línea, intercaladas directamente en la tubería, mientras que en las instalaciones grandes son más habituales las bombas en bancada.

Debido a las altas temperaturas que se pueden alcanzar, siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito (tubería de retorno a captadores en el circuito primario), teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

- Vaso de expansión

Es el elemento encargado de absorber las variaciones de volumen y presión que experimenta el fluido en el circuito debido a los cambios de temperatura. Pueden ser abiertos o cerrados en función de que el fluido esté en contacto directo con la atmósfera o no.

- Los vasos de expansión abiertos se sitúan 2 ó 3 metros por encima del punto más alto de la instalación, que suelen ser los colectores solares.
- El vaso de expansión cerrado se divide en un volumen con nitrógeno que actúa de amortiguador y una parte donde fluctúa el líquido de la instalación, estando los dos volúmenes separados por una membrana elástica impermeable. Se recomienda ponerlo antes del punto de aspiración de la bomba.

➤ Purgador y desaireador

El purgador es el elemento encargado de evacuar los gases contenidos en el fluido caloportador. La presencia de gases en el circuito puede dar lugar a la formación de bolsas que impidan la correcta circulación del fluido, y provocar corrosiones en la tubería o los colectores.

El purgador debe colocarse en el punto más alto de la instalación, a la salida de los colectores.

Para asegurarnos de que los gases disueltos en el líquido son evacuados hacia el exterior por el purgador, es conveniente colocar un elemento llamado desaireador. Se ubica también en el punto más alto de la instalación.

➤ Grifos de llenado y vaciado

Cualquier circuito cerrado de la instalación ha de incorporar un sistema de llenado manual o automático que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado. Se recomienda realizar el llenado del circuito por la parte inferior del mismo para facilitar la salida al exterior del posible aire acumulado.

Para posibilitar el vaciado del circuito de una instalación solar, se recomienda instalar en los puntos más bajos tuberías de drenaje a través de las cuales se pueda realizar el vaciado mediante una válvula de corte.

➤ Válvulas

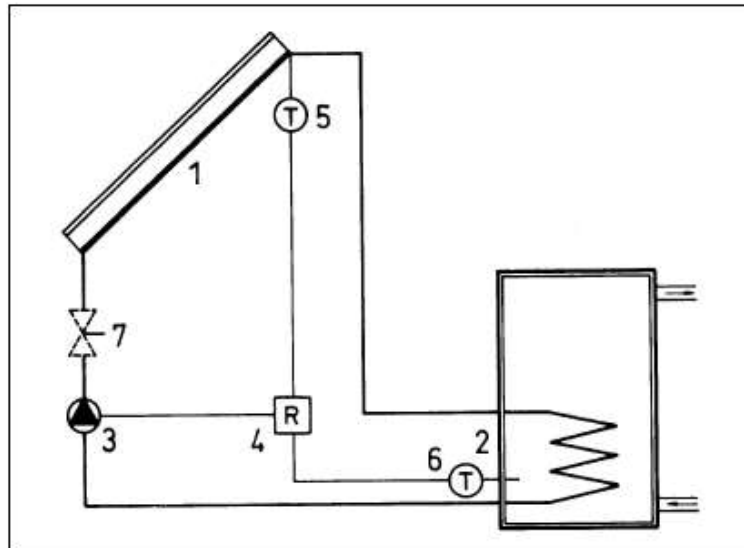
En el circuito hidráulico existen varios tipos de válvulas. Los principales son:

- Válvulas de seguridad: su colocación es obligatoria. Actúan como elementos limitadores de la presión en el circuito. La presión a la cual actúan debe ser inferior a la presión que pueda soportar el elemento más delicado de la instalación, que suele ser el depósito de expansión cerrado, o el propio colector.
  - Válvulas anti-retorno: son aquellas que sólo permiten el paso del fluido en un sentido, impidiendo la circulación en el contrario. Este tipo de válvulas producen poca pérdida de carga, por lo que su uso es bastante adecuado.
  - Válvulas de paso: son elementos encargados de interrumpir total o parcialmente el paso del fluido por las tuberías. Las válvulas de cierre total se utilizan para separar una parte de la instalación o aislarla del servicio, mientras que las de cierre parcial sirven para producir una pérdida de carga adicional en el circuito, con objeto de regular el caudal o de equilibrar la instalación.
  - Válvulas de 3 y 4 vías: se utilizan cuando en una instalación es necesaria la circulación de fluidos por vías alternativas. Este tipo de válvulas se colocan casi siempre automatizadas, de manera que una señal eléctrica, generalmente procedente de un termostato, activa el servomotor, abriendo y cerrando las vías correspondientes.
- Sistema de regulación y control

Los equipos de control son los dispositivos que controlan los diferentes elementos que constituyen la instalación, siendo los de mayor importancia los ligados al funcionamiento de las bombas de circulación.

Según el CTE, la regulación por medio de la temperatura del funcionamiento de la bomba será siempre de tipo diferencial entre la temperatura del fluido portador a la salida de los colectores (5) y la del depósito de acumulación (6).

El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas del circuito primario no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7°C. Es decir, hay que prefijar una diferencia de entre 2°C y 7°C a partir del cual la bomba entrará en funcionamiento.



1. Colector
2. Interacumulador
3. Bomba
4. Regulador diferencial
- 5,6. Sondas de temperatura
7. Válvula de estrangulación

Además del equipo principal regulador de la bomba nos podemos encontrar con otros equipos auxiliares como son:

- Equipos de protección contra heladas: consiste en un sensor que activa la bomba cuando detecta una temperatura ligeramente superior a la de congelación en el fluido de trabajo a la entrada de los captadores, con esto se consigue que no se congele el fluido portador y pueda dañar la instalación.
- Control de temperatura máxima del acumulador: se sitúa en la parte superior del acumulador para proteger el sistema de temperaturas que pueden provocar un fallo o una rotura del captador.
- Sistema auxiliar de apoyo

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, se debe disponer de un sistema auxiliar mediante energía convencional. El subsistema de apoyo se debe dimensionar de forma que aporte todo el calor necesario como si no se dispusiese del sistema solar.

Los sistemas auxiliares de apoyo pueden ser:

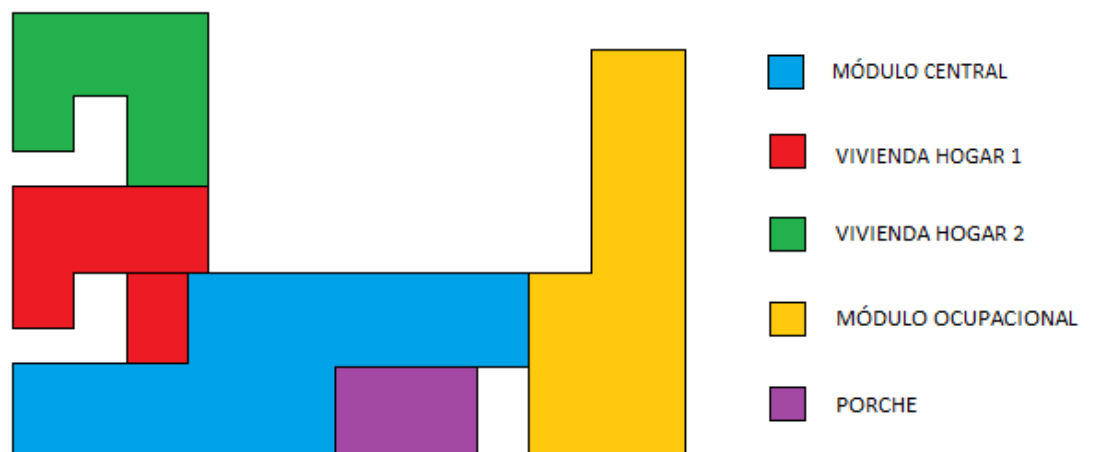
- Eléctricos: sobre todo para equipos pequeños, en los que la energía se suministra dentro del acumulador mediante una resistencia.
- Calderas de gas o gasóleo: pueden provenir de las instalaciones preexistentes (adecuadamente modificadas) o bien realizarse de modo simultáneo a la instalación solar. Los sistemas de apoyo basados en el gas natural son los más ventajosos desde el punto de vista económico y ambiental.

En cualquier caso, siempre será necesario que exista un mecanismo de control adecuado que gestione correctamente la instalación, con el fin de reducir al máximo la entrada en funcionamiento del sistema de energía de apoyo.

### 3. Descripción del edificio

#### 3.1. Superficie y distribución

El centro Aspace es un edificio de una sola planta, de una altura de 4,35 metros y una superficie total de 1846,56 m<sup>2</sup> más 143 m<sup>2</sup> del porche cubierto. Está dividido en cuatro zonas diferenciadas (más el porche), como se muestra a continuación:





### MÓDULO CENTRAL

Tiene una superficie total construida de 690 m<sup>2</sup>, y una superficie útil de 585,08 m<sup>2</sup>. En esta zona se encuentran:

- Vestíbulo y recepción
- Control de instalaciones
- Despachos
- Sala de reuniones
- Sala de espera
- Almacén
- Aseos
- Sala de limpieza y basuras
- Sala de calderas
- Etc.

### VIVIENDA HOGAR 1

Tiene una superficie total de 290,56 m<sup>2</sup>, y una superficie útil de 241,90 m<sup>2</sup>. En esta zona hay:

- Sala de estar
- Pequeña cocina
- Almacén
- Lavandería
- Baño completo
- Habitaciones dobles
- Patio

### VIVIENDA HOGAR 2

Esta zona tiene una superficie total de 310 m<sup>2</sup>, y una superficie útil de 259,76 m<sup>2</sup>. Consta de las mismas salas que la zona anterior.

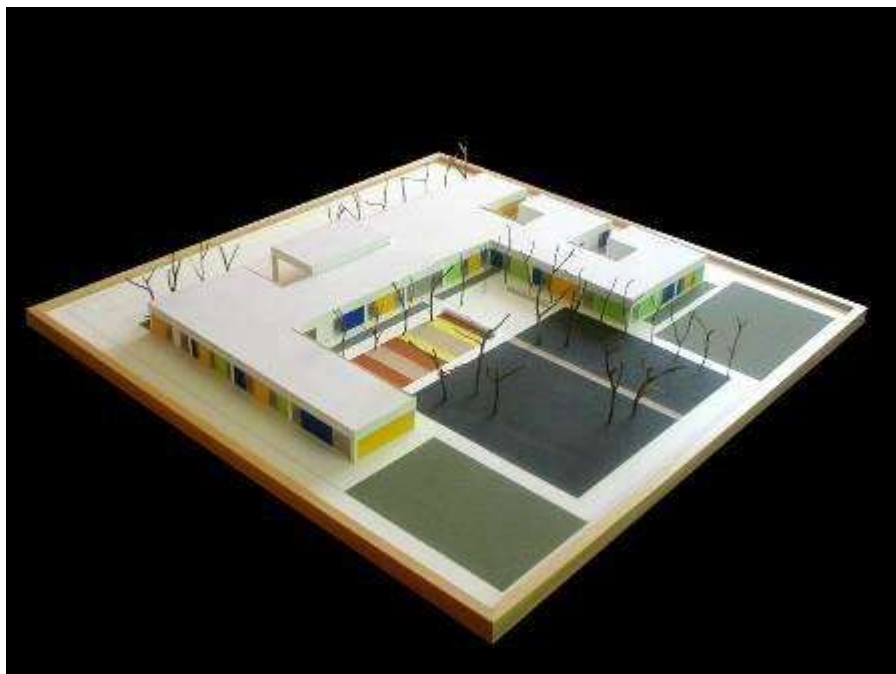
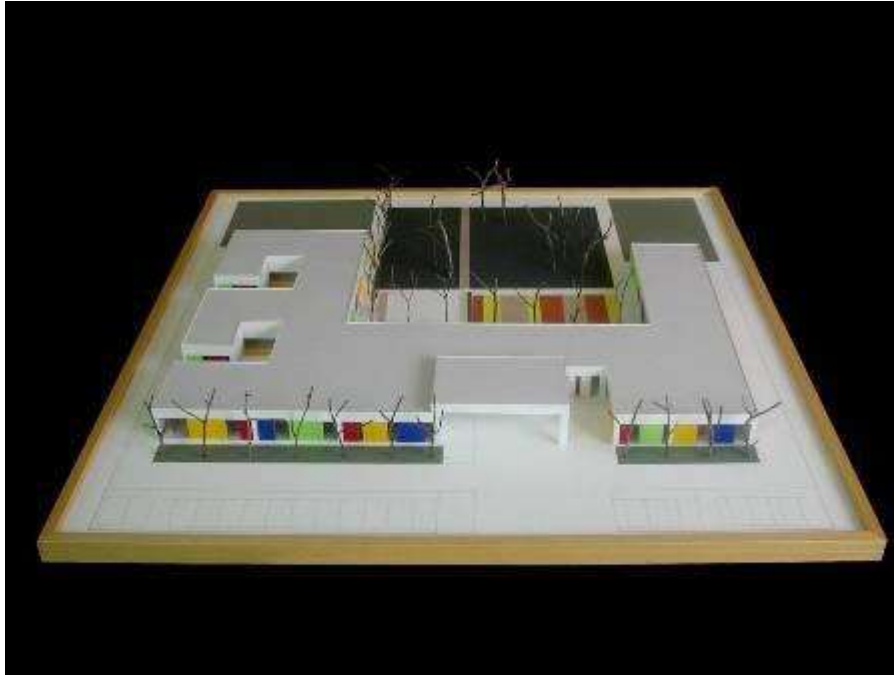
### MÓDULO OCUPACIONAL

Tiene una superficie construida de 556 m<sup>2</sup> y una superficie útil de 479,22 m<sup>2</sup>. En esta parte se encuentran:

- Baños
- Aseos
- Despensa
- Cocina
- Comedor

## Memoria

- Almacén
- Despachos
- Salas polivalentes
- Etc.



### 3.2. Edificios colindantes

El centro no tiene ningún edificio colindante, pero unos metros a su izquierda hay un Centro de Salud, el cual será objeto de estudio en el cálculo de sombras sobre los captadores. El resto del edificio está rodeado de zonas verdes.

## 4. Requisitos básicos de la instalación

### 4.1. Fluido de trabajo

Como fluido de trabajo se puede utilizar agua de la red, agua desmineralizada o agua con aditivos, como por ejemplo, anticongelante. En este caso, debido a las bajas temperaturas que hay en Valladolid en invierno se utilizará agua con anticongelante.

En cualquier caso el fluido de trabajo debe tener un pH a 20 °C comprendido entre 5 y 9, y el contenido en sales se ajustará a los señalados en los puntos siguientes:

- a) La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles. En el caso de no disponer de este valor se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- b) El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l. expresados como contenido en carbonato cálcico.
- c) El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.

El diseño de los circuitos evitará cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación. En particular, se prestará especial atención a una eventual contaminación del agua potable por el fluido del circuito primario.

### 4.2. Protección contra heladas

Durante la noche la instalación solar estará parada, ya que los colectores no recibirán ninguna energía. Están, pues, expuestos a la congelación durante el invierno, y es preciso tomar las debidas precauciones para evitar su deterioro.

Cualquier componente que vaya a ser instalado en el interior de un recinto donde la temperatura pueda caer por debajo de los 0 °C, deberá estar protegido contra heladas.

Como sistemas de protección anti-heladas, el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE acepta los siguientes:

1. Mezclas anticongelantes.
2. Recirculación de agua de los circuitos.
3. Drenaje automático con recuperación de fluido.
4. Drenaje al exterior (sólo para sistemas solares prefabricados).

Como ya se ha explicado antes, la solución elegida es una mezcla anticongelante. La instalación dispondrá de los sistemas necesarios para facilitar el llenado de la misma y para asegurar que el anticongelante está perfectamente mezclado. En caso de fugas, nunca deben reponerse con agua de red.

#### 4.3. Protección contra sobrecalentamientos

El sistema deberá ser diseñado de tal forma que nunca se exceda la máxima temperatura permitida por todos los materiales y componentes.

La instalación deberá estar diseñada para que con altas radiaciones solares prolongadas sin consumo de agua caliente, no se produzcan situaciones en las cuales el usuario tenga que realizar alguna acción especial para llevar al sistema a su forma normal de operación.

El dimensionado de la instalación se realizará teniendo en cuenta que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100% y a estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda energética se sitúe un 50% por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección.

De acuerdo con la sección HE-4 del CTE, en el caso de que en algún mes del año la contribución solar pudiera sobrepasar el 100% de la demanda energética se adoptarán cualquiera de las siguientes medidas:

- a) dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos preferentemente pasivos o mediante la circulación nocturna del circuito primario)
- b) tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador solar térmico está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador)
- c) vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares, debiendo incluirse este trabajo entre las labores del contrato de mantenimiento
- d) desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes
- e) sistemas de vaciado y llenado automático del campo de captadores

#### 4.4. Prevención de flujo inverso

La instalación del sistema deberá asegurar que no se produzcan pérdidas energéticas relevantes debidas a flujos inversos no intencionados en ningún circuito hidráulico del sistema.

En sistemas con circulación forzada se aconseja utilizar una válvula anti-retorno para evitar flujos inversos.

#### 4.5. Prevención de la legionelosis

En las instalaciones de agua caliente sanitaria, hay que tener especial cuidado con la legionelosis. La bacteria de la "Legionella" crece en agua a temperaturas comprendidas entre 20 °C y 50 °C, con un desarrollo óptimo entre 35 °C y 45 °C. Por debajo de los 20 °C permanece latente, sin multiplicarse, y no sobrevive por encima de los 60 °C.

Para asegurarse de que la bacteria no está presente en la instalación, el sistema de calentamiento será capaz de llevar la temperatura del agua hasta 70 °C de forma periódica para su pasteurización. En consecuencia, no se admite la presencia de componentes de acero galvanizado.

#### 4.6. Dimensionado básico

En el caso de A.C.S. se debe tener en cuenta que el sistema solar se debe diseñar y calcular en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda y el aporte, al no ser ésta simultánea con la generación.

Para esta aplicación el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

donde  $A$  será el área total de los captadores, expresada en  $m^2$ , y  $V$  es el volumen del depósito de acumulación solar, expresado en litros, cuyo valor recomendado es aproximadamente la carga de consumo diaria  $M$ :  $V = M$ .

### 5. Datos de partida

#### 5.1. Condiciones geográficas y climáticas

Datos geográficos de Valladolid:

- Altitud (m): 694
- Latitud (°): 41.7
- Longitud (°): 4.7 W

Estos datos han sido sacados de la tabla 6 del Anexo II.

Datos climáticos de Valladolid

Temperatura mínima histórica:  $-16^{\circ}\text{C}$

En la siguiente tabla se muestran datos mensuales de temperatura y radiación de Valladolid. Estos datos han sido sacados de las tablas de CENSOLAR, recogidas en el Anexo II. El uso de estas tablas está recomendado por el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE:

	Temperatura media del agua de la red (°C)	Temperatura ambiente media durante las horas de sol (°C)	Intensidad media útil I, sobre horizontal, en un día medio del mes (W/m <sup>2</sup> )	Energía H que incide sobre la superficie horizontal en un día medio del mes (MJ/m <sup>2</sup> )
Enero	5	4	178	5,5
Febrero	6	6	254	8,8
Marzo	8	9	402	13,9
Abril	10	12	472	17,2
Mayo	11	17	548	19,9
Junio	12	21	621	22,6
Julio	13	24	690	25,1
Agosto	12	23	632	23
Septiembre	11	18	530	18,3
Octubre	10	13	324	11,2
Noviembre	8	8	226	6,9
Diciembre	5	4	147	4,2

## 5.2. Demanda de ACS

Para aplicaciones de ACS, la demanda energética se determina en función del consumo de agua caliente. Debido a que el presente proyecto es para una instalación ya existente, utilizaremos los datos de consumo ya conocidos.

Para el ACS actualmente el edificio cuenta con dos acumuladores de 100 litros cada uno. Además, el centro cuenta con una bañera de unos 900 litros en la cual se hacen sesiones de hidroterapia. Cada día se realizan tres de estas sesiones y, entre cada una de ellas, el agua se cambia.

Es decir, en total se consumen unos 2900 litros al día, pudiéndose llegar a los 3000. Por tanto, se utilizará un acumulador de 3000 litros, ya que es recomendable que la acumulación sea aproximadamente el valor de la masa de consumo diaria.

La temperatura de almacenamiento será de 45°C, que es la temperatura a la que se utiliza el agua actualmente.

### 5.3. Demanda energética

La demanda energética será mayor en los meses de invierno que en verano. Esta demanda para cada mes se halla a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = m * C_e * \Delta T$$

Siendo:

$m$  el consumo de agua mensual en metros cúbicos

$C_e$  el calor específico del agua, que vale 4,187 MJ/(m<sup>3</sup>°C)

$\Delta T$  la diferencia entre la temperatura de uso del ACS (45°C) y la temperatura del agua de la red

En la siguiente tabla se muestran las demandas obtenidas para cada mes:

	1	2	3	4	5	6
	% de ocupación	Consumo mensual en m <sup>3</sup>	Temperatura del agua de la red	Salto térmico	Necesidad energética mensual en MJ	Necesidad energética mensual en kWh
Enero	100	93	5	40	15576	4361
Febrero	100	84	6	39	13717	3841
Marzo	100	93	8	37	14407	4034
Abril	100	90	10	35	13189	3693
Mayo	100	93	11	34	13239	3707
Junio	100	90	12	33	12435	3482
Julio	100	93	13	32	12461	3489
Agosto	100	93	12	33	12850	3598
Septiembre	100	90	11	34	12812	3587
Octubre	100	93	10	35	13629	3816
Noviembre	100	90	8	37	13943	3904
Diciembre	100	93	5	40	15576	4361
Total año					163834	45873



Columna 1: grado de ocupación del centro

Columna 2: agua consumida al mes en m<sup>3</sup>. Es el resultado de multiplicar la cantidad de agua diaria consumida por el número de días del mes.

Columna 3: temperatura media del agua de la red.

Columna 4: grados centígrados que hay que incrementar el agua hasta llegar a 45°.

Columna 5: necesidad energética mensual en MJ. Es el resultado de la fórmula explicada anteriormente.

Columna 6: necesidad energética mensual en kWh. Se halla a partir de la columna 5, con la equivalencia: 1 MJ = 0,28 kWh.

#### 5.4. Contribución solar mínima

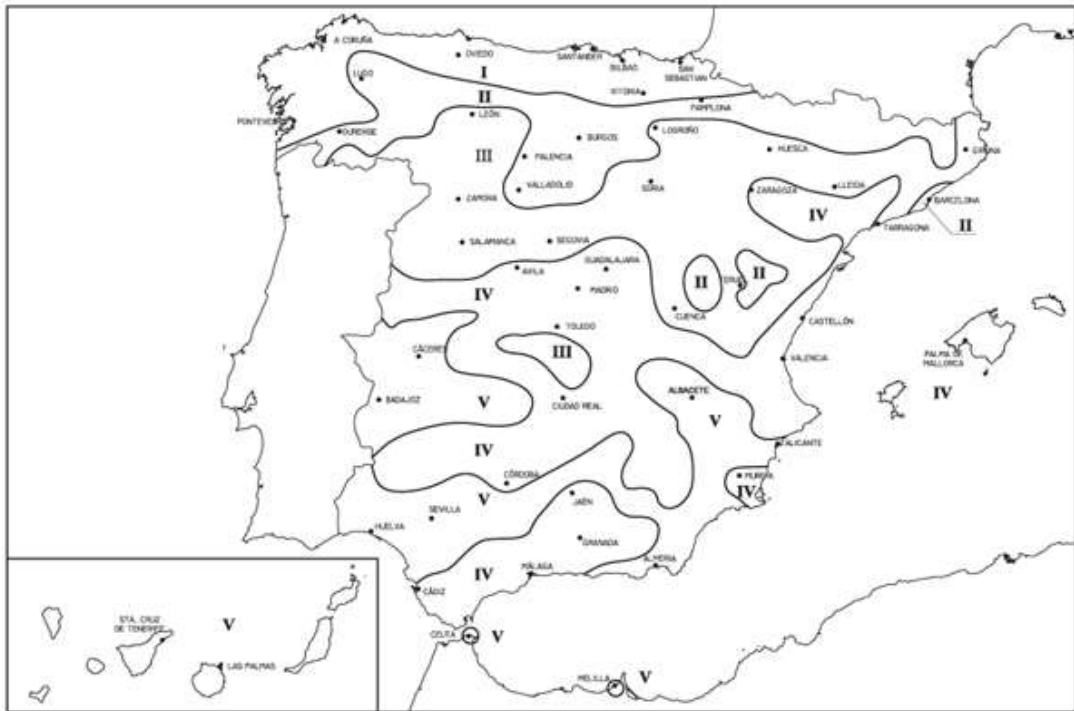
El presente proyecto ha de cumplir con lo expuesto en la sección HE 4 del CTE sobre “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”.

La contribución solar mínima anual es la fracción exigida entre los valores anuales de la energía solar aportada y la demanda energética anual obtenidos a partir de los valores mensuales.

En la siguiente tabla, recogida del CTE, se establece, para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de ACS, la contribución solar mínima anual exigida para cubrir las necesidades de ACS.

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

En el siguiente mapa se muestran las regiones de España a las que afecta cada zona climática:



Las zonas climáticas se han definido teniendo en cuenta la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal (H), tomando los intervalos que se relacionan para cada una de las zonas, como se indica a continuación:

**Tabla 4.4. Radiación solar global media diaria anual**

Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

De acuerdo con el mapa y con la tabla anterior, Valladolid pertenece a la zona II, ya que su radiación media diaria anual es de 14,7 MJ/m<sup>2</sup>, según la tabla x del Anexo II. Según esto y, dado que la demanda de ACS es de 3000 litros/día, la contribución solar mínima será del 30%.

## 6. Estudio energético

### 6.1. Inclinación y orientación de los captadores

Según el PCT, la orientación óptima de los captadores solares es el Sur, y la mejor inclinación, depende según el período de utilización:

- Consumo constante anual: la latitud geográfica
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica + 10°
- Consumo preferente en verano: La latitud geográfica - 10°

Lo habitual es que los captadores solares vayan colocados sobre el tejado, con la misma inclinación que éste. En este caso, el tejado del edificio es totalmente plano, no posee ninguna inclinación, lo que nos permite elegir libremente la inclinación y la orientación deseadas.

Dado que se utiliza ACS a lo largo de todo el año, el consumo se considera constante, por lo que la inclinación adecuada será igual a la latitud geográfica.

En cuanto a la orientación, es recomendable que los captadores se coloquen siguiendo los ejes del edificio. Pero, en este caso, si se siguiera esta recomendación los captadores quedarían orientados unos 45° al este o 45° al oeste. Esto implicaría unas pérdidas por orientación e inclinación superiores al 10%, que son las permitidas. Dado que no es viable seguir esta recomendación, se orientarán los paneles hacia el Sur, que es lo más adecuado.

Por consiguiente, los captadores irán situados en el tejado con una inclinación de 42° y una orientación hacia el Sur (azimut=0°).

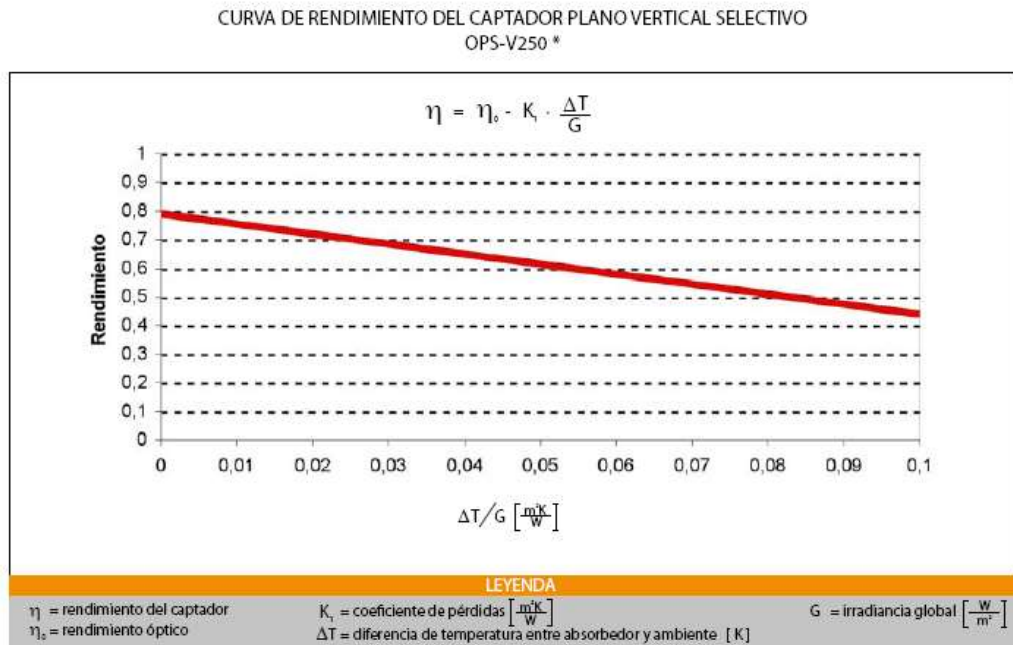
### 6.2. Elección del captador

Para la elección del captador solar, hay que tener en cuenta, sobre todo, su rendimiento, que depende de dos factores:

- el rendimiento óptico ( $\eta_0$ ), que suele valer en torno a 0.8. Representa el rendimiento que tendría el colector en el supuesto de que no existiesen pérdidas térmicas de ningún tipo
- el factor óptico ( $k_1$ ), que depende del ángulo de incidencia de los rayos solares, constantemente variable a lo largo del día.

Comparando entre varios captadores solares del mercado elegimos el modelo “OPS-V250” de la marca “Ibersolar”. Tiene una superficie de absorción de 2,3 m<sup>2</sup>, un rendimiento óptico ( $\eta_o$ ) de 0,786 y un factor óptico de 3,62 W/m<sup>2</sup>·K.

Su curva característica es la siguiente:



Como se indica encima de la gráfica, la ecuación de rendimiento es:

$$\eta = \eta_o - k_1 * \frac{\Delta T}{I}$$

Siendo:

- $\eta$ : rendimiento del captador
- $\eta_o$ : rendimiento óptico (es la ordenada en el origen)
- $k_1$ : factor de pérdidas (es la pendiente de la gráfica)
- $\Delta T$ : diferencia entre la temperatura de uso y la de la red
- $I$ : intensidad incidente en W/m<sup>2</sup>

### 6.3. Energía aprovechable

El primer paso para diseñar una instalación solar térmica es hallar la energía que ésta puede aprovechar. En este cálculo hay que aplicar varios datos y factores. Para ello, se utilizan los datos recogidos en las tablas del Anexo II.

En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados:

	1	2	3	4	5
	H (MJ/m <sup>2</sup> )	k	E (MJ/m <sup>2</sup> )	horas de sol	I (W/m <sup>2</sup> )
Enero	5,5	1,42	7,42	8	257,62
Febrero	8,8	1,31	10,95	9	338,01
Marzo	13,9	1,18	15,58	9	480,92
Abril	17,2	1,05	17,16	9,5	501,67
Mayo	19,9	0,96	18,15	9,5	530,67
Junio	22,6	0,92	19,75	9,5	577,56
Julio	25,1	0,96	22,89	9,5	669,33
Agosto	23	1,07	23,38	9,5	683,61
Septiembre	18,3	1,23	21,38	9	659,99
Octubre	11,2	1,43	15,22	9	469,60
Noviembre	6,9	1,55	10,16	8	352,79
Diciembre	4,2	1,53	6,10	7,5	226,10

Columna 1: energía en MJ que incide sobre un m<sup>2</sup> de superficie horizontal en un día medio del mes

Columna 2: factor de corrección para una inclinación de 42° a una latitud de 42°

Columna 3:  $E=0,95*k*H$ . Es la energía incidente total por m<sup>2</sup>. El factor de corrección 0,95 se aplica porque hay que considerar un 5% de pérdidas por estar en una ciudad polucionada

Columna 4: número de horas de Sol de un día medio del mes

Columna 5: intensidad útil incidente. Es el resultado de dividir la columna 3 entre la 4, pasando los MJ a J y las horas a segundos

#### 6.4. Energía captada

Una vez elegido el modelo de captador solar, hay que hallar la energía que es capaz de captar. Va a depender de dos cosas, fundamentalmente: de la energía aprovechable (hallada en el apartado 6.3) y del rendimiento del captador, hallado, para cada mes, mediante lo explicado en el apartado 6.2.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

	1	2	3	4	5	6
	E (MJ/m <sup>2</sup> )	I (W/m <sup>2</sup> )	Ta (°C)	rendimiento	Energía aportada al día por m <sup>2</sup>	Energía aportada al mes por m <sup>2</sup>
Enero	7,42	257,62	4	0,21	1,48	45,86
Febrero	10,95	338,01	6	0,37	3,83	107,30
Marzo	15,58	480,92	9	0,52	7,62	236,34
Abril	17,16	501,67	12	0,55	8,93	267,90
Mayo	18,15	530,67	17	0,59	10,26	318,01
Junio	19,75	577,56	21	0,64	11,93	357,79
Julio	22,89	669,33	24	0,67	14,62	453,31
Agosto	23,38	683,61	23	0,67	14,87	460,97
Septiembre	21,38	659,99	18	0,64	12,96	388,76
Octubre	15,22	469,60	13	0,54	7,80	241,66
Noviembre	10,16	352,79	8	0,41	3,92	117,66
Diciembre	6,10	226,10	4	0,13	0,75	23,29
Total año						3018,85

Columna 1: energía total incidente por m<sup>2</sup>

Columna 2: intensidad útil incidente

Columna 3: temperatura ambiente media

Columna 4: rendimiento del colector. Es el resultado de la fórmula:

$$\eta = \eta_o - k_1 * \frac{\Delta T}{I}$$

Columna 5: energía captada por m<sup>2</sup> durante un día. Es el resultado de multiplicar la columna 1 por la 4.

Columna 6: energía captada por m<sup>2</sup> al mes. Es el resultado de multiplicar la columna 5 por el número de días del mes.

## 6.5. Superficie captadora

Para hacer una primera estimación de la superficie mínima de captación necesaria se utiliza la siguiente fórmula:

$$S_c = \frac{\sum Q_d}{\sum Q_a} * f$$

Siendo:

$\sum Q_d$  : energía total demandada al año (MJ)

$\sum Q_a$  : energía total aportada al año (MJ/m<sup>2</sup>)

$f$ : fracción solar mínima aportada por la instalación (%)

Como ya se ha calculado previamente, la energía total demandada al año es de 163.834 MJ; la energía total aportada al año es de 3018,85 MJ/m<sup>2</sup> y la fracción solar mínima aportada es del 30%. Por consiguiente:

$$S_c = 16,28 \text{ m}^2$$

Como cada panel solar tiene una superficie de 2,3 m<sup>2</sup>, el número mínimo de captadores será de:

$$\text{Número de captadores} = \frac{16,28}{2,3} = 7,1$$

Por lo tanto, para abastecer el 30% de la demanda se necesitan 8 captadores solares como mínimo, los cuales tendrán una superficie total de 18,4 m<sup>2</sup>. Con esta área se obtiene una relación V/A:

$$\frac{V}{A} = \frac{3000}{18,4} = 163$$

Que está dentro de los límites establecidos ( $50 < V/A < 180$ ).

Según esto, esta primera estimación sobre el número de captadores solares parece adecuada. En el apartado siguiente se comprobará si el número elegido es el ideal.

## 6.6. Energía solar aportada

Para realizar el cálculo de la cobertura del sistema, se ha utilizado el método de las curvas  $f$  (F-Chart). Está aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, pero no ha de aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario.

Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, y es perfectamente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos.

Su aplicación sistemática consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calentamiento solar y utilizar la simulación de funcionamiento mediante ordenador, para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un dilatado período de tiempo.

La ecuación utilizada en este método es:

$$f = 1,029 D_1 - 0,065 D_2 - 0,245 D_1^2 + 0,0018 D_2^2 + 0,0215 D_1^3$$

La secuencia que suele seguirse en el cálculo es la siguiente:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de A.C.S. o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro  $D_1$ .
4. Cálculo del parámetro  $D_2$ .
5. Determinación de la gráfica  $f$ .
6. Valoración de la cobertura solar mensual.
7. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

Las cargas caloríficas determinan la cantidad de calor necesaria mensual para calentar el agua destinada al consumo doméstico, calculándose mediante la siguiente expresión:

$$Q_d = c_e * C * N * (t_{ac} - t_r)$$



donde:

$Q_d$  = Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (J/mes)

$c_e$  = Calor específico (para el agua 4187 J/(kg °C))

$C$  = Consumo diario de A.C.S. (kg/día)

$N$  = Número de días del mes

$t_{ac}$  = Temperatura del agua caliente de acumulación (°C)

$t_r$  = Temperatura del agua de red (°C)

El parámetro  $D_1$  expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_a = S_c F' r(\tau\alpha) R_1 N$$

donde:

$S_c$  = Superficie del captador (m<sup>2</sup>)

$R_1$  = Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kJ/m<sup>2</sup>)

$N$  = Número de días del mes

$F' r(\tau\alpha)$  = Factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión:

$$F' r(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n [(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n] (F'_r / F_r)$$

donde:

$F_r(\tau\alpha)_n$  = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

$(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$  = Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).

$F'_r / F_r$  = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

El parámetro  $D_2$  expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_p = S_c F' r UL (100 - t_a) \Delta t K_1 K_2$$

donde:

$S_c$  = Superficie del captador ( $m^2$ )

$F' r UL = Fr UL (F' r / Fr)$

donde:

$Fr UL$  = Pendiente de la curva característica del captador  
(coeficiente global de pérdidas del captador)

$t_a$  = Temperatura media mensual del ambiente durante las horas diurnas

$\Delta t$  = Período de tiempo considerado

$K_1$  = Factor de corrección por almacenamiento, que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K_1 = [kg \text{ acumulación} / (75 S_c)]^{0,25}$$

$$37,5 < (kg \text{ acumulación}) / (m^2 \text{ captación}) < 300$$

$K_2$  = Factor de corrección, para A.C.S., que relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = (11,6 + 1,18 t_{ac} + 3,86 t_r - 2,32 t_a) / (100 - t_a)$$

donde:

$t_{ac}$  = Temperatura mínima requerida del A.C.S.

$t_r$  = Temperatura del agua de red

$t_a$  = Temperatura media mensual del ambiente durante las horas diurnas

Una vez obtenido  $D_1$  y  $D_2$ , aplicando la ecuación inicial se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar.

De esta forma, la energía útil captada cada mes,  $Q_u$ , tiene el valor:

$$Q_u = fQ_d$$

donde:

$f$ : fracción aportada

$Q_d$  = Carga calorífica mensual de A.C.S.

Mediante igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:

$$\text{Cobertura solar anual} = \frac{\sum_{u=1}^{u=12} Q_u}{\sum_{a=1}^{a=12} Q_d}$$

Hacemos el cálculo con la superficie captadora hallada previamente: 18,4 m<sup>2</sup>, obteniendo los siguientes parámetros:

	Demanda energética $Q_d$ (MJ)	Energía aportada $E_a$ (MJ)	Energía perdida $E_p$ (MJ)	$D1$	$D2$	$f$	Energía útil $Q_u$ (MJ)
Enero	15576	3034	112,14	0,194772	0,007200	0,1908	2972
Febrero	13717	4045	124,84	0,294866	0,009102	0,2821	3869
Marzo	14407	6371	126,13	0,442211	0,008754	0,4084	5884
Abril	13189	6789	134,49	0,514736	0,010197	0,4670	6160
Mayo	13239	7421	120,69	0,560506	0,009116	0,5030	6659
Junio	12435	7816	111,03	0,628517	0,008929	0,5547	6898
Julio	12461	9360	105,51	0,751155	0,008467	0,6433	8015
Agosto	12850	9559	102,76	0,743930	0,007998	0,6382	8201
Septiembr	12812	8461	110,42	0,660407	0,008619	0,5783	7410
Octubre	13629	6221	123,49	0,456479	0,009061	0,4201	5726
Noviembre	13943	4020	115,59	0,288346	0,008291	0,2763	3853
Diciembre	15576	2496	105,13	0,160256	0,006750	0,1583	2465
Total año	163834						68112

Y la cobertura solar anual:

$$\text{Cobertura solar anual} = \frac{68112}{163834} = 0,4157$$

Es decir, del 41,57%, superando el 30% exigido por el CTE.

Además, con estos cálculos se puede observar que se cumplen los requisitos básicos que se mencionan en el apartado 4.3:

- En ningún mes se aporta más del 110% de la demanda energética
- No se aporta el 100% de la demanda energética durante tres meses seguidos

Nota: El cálculo también se ha realizado para 7 paneles, con una superficie total de 16,1 m<sup>2</sup>, obteniendo una cobertura solar anual del 36,98%, la cual también es aceptable ya que supera el 30% exigido. Pero en este caso  $V/A > 180$ , con lo cual no sería admisible poner 7 paneles.

Con todo esto, se observa que poner 8 paneles es correcto. Pero, dado que se puede abastecer más demanda, se aumentará el número de paneles. Para ello, con el método anteriormente descrito, el de las curvas *f-Chart*, se va probando, aumentando el número de paneles, hasta encontrar la superficie que más demanda abastezca.

Finalmente, se llega a la conclusión de que el número de paneles a instalar más adecuado es de 14, con una superficie total de 32,2 m<sup>2</sup>. Con este dato se obtienen los siguientes resultados:

	Demanda energética $Q_d$ (MJ)	Energía aportada $E_a$ (MJ)	Energía perdida $E_p$ (MJ)	$D1$	$D2$	$f$	Energía útil $Q_u$ (MJ)
Enero	15576	5309	225,72	0,340850	0,014492	0,3222	5018
Febrero	13717	7078	251,28	0,516015	0,018320	0,4675	6413
Marzo	14407	11149	253,86	0,773870	0,017620	0,6584	9486
Abril	13189	11881	270,69	0,900788	0,020524	0,7425	9793
Mayo	13239	12986	242,93	0,980884	0,018349	0,7927	10495
Junio	12435	13678	223,49	1,099904	0,017972	0,8628	10730
Julio	12461	16380	212,37	1,314521	0,017043	0,9770	12174
Agosto	12850	16729	206,84	1,301878	0,016097	0,9708	12474
Septiembr	12812	14807	222,26	1,155713	0,017347	0,8941	11455
Octubre	13629	10887	248,56	0,798838	0,018238	0,6754	9205
Noviembre	13943	7036	232,67	0,504605	0,016687	0,4585	6393
Diciembre	15576	4368	211,61	0,280449	0,013586	0,2689	4188
	163834						107824

Y la cobertura solar anual:

$$Cobertura\ solar\ anual = \frac{107824}{163834} = 0,6581$$

Es decir, del 65,81%, superando el 30% exigido por el CTE.

Con estos cálculos se puede observar que se cumplen los requisitos básicos que se mencionan en el apartado 4.3:

- En ningún mes se aporta más del 110% de la demanda energética
- No se aporta el 100% de la demanda energética durante tres meses seguidos

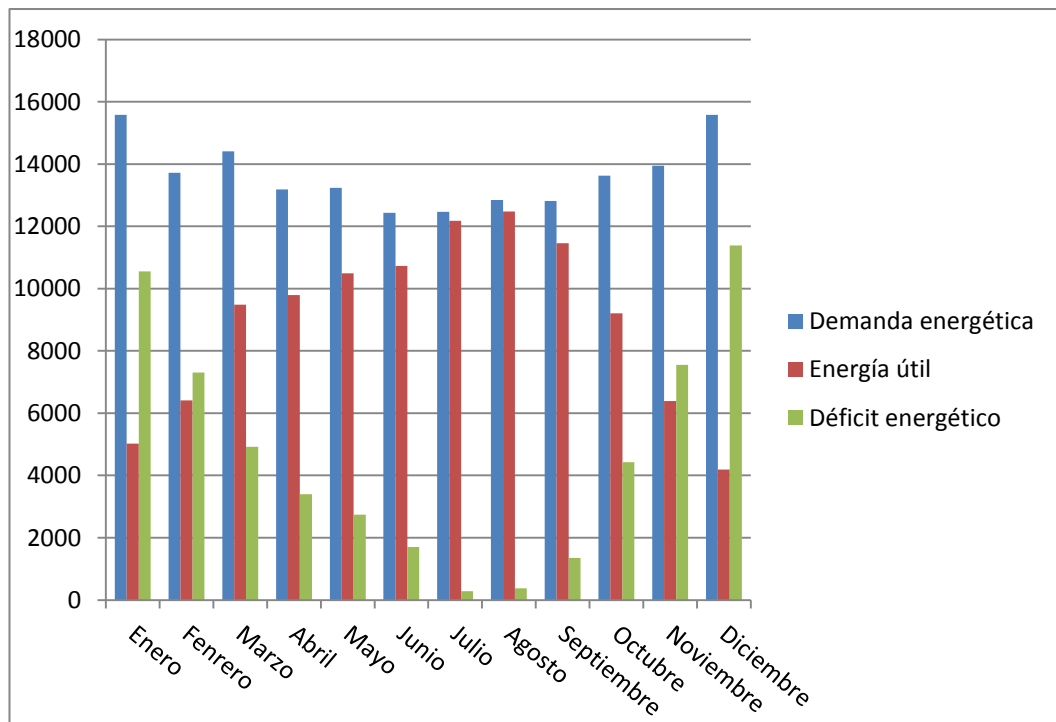
Además, se cumple la relación:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad ya\ que\ \frac{V}{A} = \frac{3000}{32,2} = 93$$

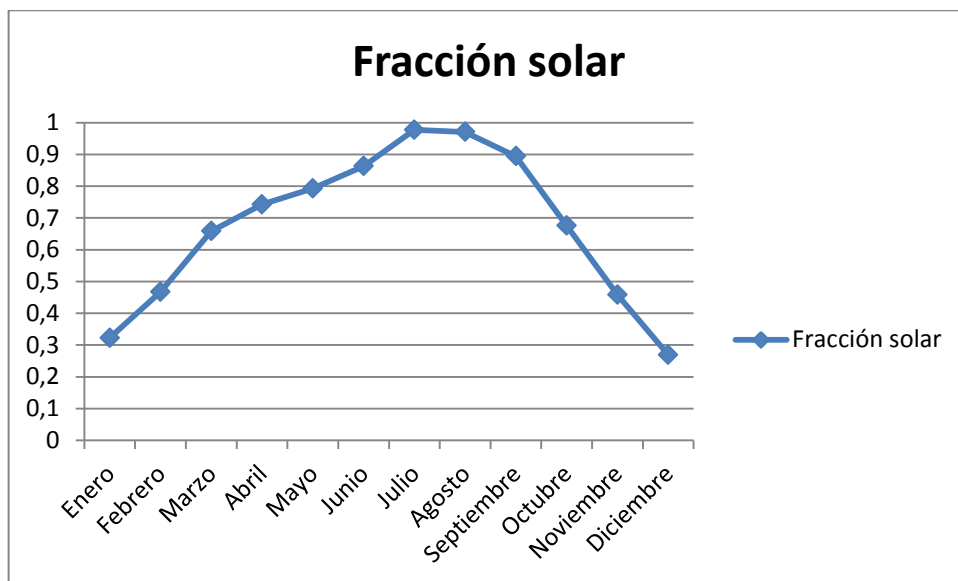
En conclusión, el número de captadores solares será de 14.

La potencia de la instalación según el RITE es de 0,7 kW por cada m<sup>2</sup> instalado. Dado la superficie de los captadores es de 32,2 m<sup>2</sup>, la potencia de la instalación es de 22,5 kW.

A continuación se muestran un par de gráficas en relación con la aportación solar y el rendimiento de la instalación:



En la gráfica anterior se observa que la demanda energética es menor en los meses de verano que en los de invierno, dado que la temperatura del agua de la red es mayor y hay que aportar menos energía para aumentar su temperatura. Además, la energía que aporta la instalación es mayor en los meses de verano, llegando casi al 100% de la demanda en los meses de julio y agosto, Como consecuencia de esto, el déficit energético en estos meses de verano es casi nulo.

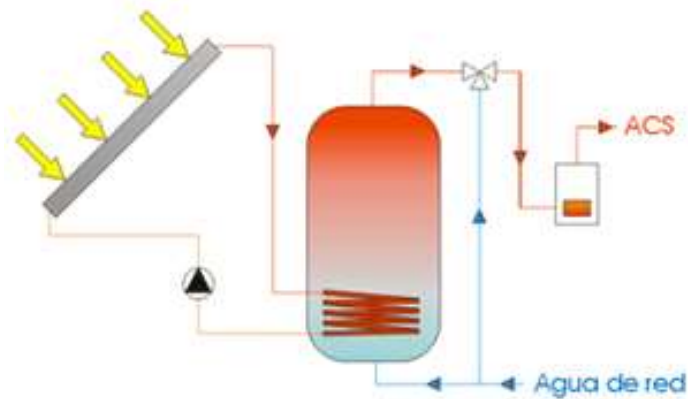


En esta gráfica se observa la fracción solar aportada. Como es lógico, es mucho mayor en los meses de verano, ya que hay más horas de Sol y más irradiación solar y, por tanto, la energía aportada por la instalación es mucho mayor.

## 7. Descripción de la instalación

### 7.1. Selección de la configuración básica

Se adopta como configuración básica para la instalación, la que corresponde a equipos “no compactos” con circulación forzada indirecta para el circuito primario e intercambiador incorporado en el acumulador solar (interacumulador), cuyo esquema básico se aprecia en la figura siguiente:

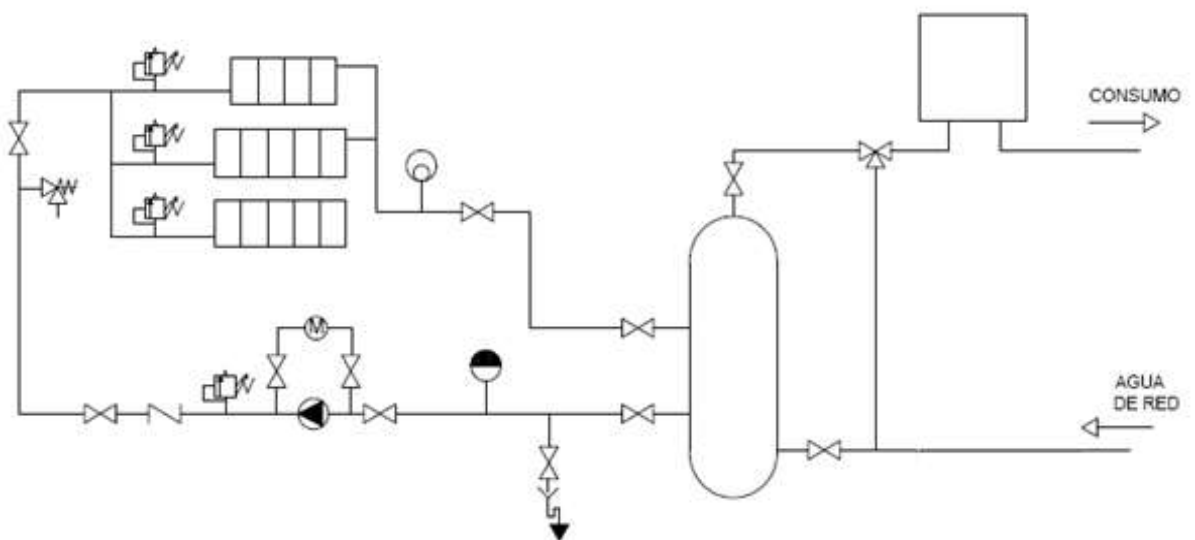


Las instalaciones térmicas se pueden clasificar según varios criterios, según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE. La configuración elegida hace que esta instalación se clasifique de la siguiente forma:

- Por el principio de circulación: *Sistema por circulación forzada*
- Por el sistema de transferencia de calor: *Instalación con intercambiador de calor en el acumulador solar*
- Por el sistema de expansión: *Sistema cerrado*
- Por el sistema de aporte de energía auxiliar: *Sistema de energía auxiliar en línea centralizado*
- Por su aplicación: *Instalación para calentamiento de agua caliente sanitaria*
- 

## 7.2. Esquema de la instalación

En la siguiente figura se muestra el esquema de la instalación, con todos sus elementos y accesorios. El mismo esquema se aprecia mejor en el Plano nº 6.



## 8. Componentes

### 8.1. Fluido caloportador

La utilización de agua podría desencadenar que en períodos invernales se produzca la congelación de esta, y por tanto, un aumento del volumen específico y un riesgo en las tuberías ya que se produciría una sobrepresión en las mismas. En períodos de temperaturas máximas ocurriría lo contrario, ya que el agua podría elevar su temperatura hasta el punto de ebullición, originándose vapor de agua en las tuberías.

Dado que Valladolid es una ciudad con alto riesgo de heladas, se recomienda utilizar como fluido caloportador una mezcla de agua con anticongelante. El anticongelante debe cumplir lo siguiente:

- su punto de congelación debe ser inferior a 0 °C
- su calor específico no debe ser inferior a 3 kJ/(kgK), equivalentes a 0,7 kcal/(kg.°C), medido a una temperatura 5 °C menor que la mínima histórica registrada.

Como anticongelante se utilizará propilenglicol, uno de los anticongelantes más difundidos y utilizados. A continuación se muestran los diferentes puntos de congelación a diferentes concentraciones:

% Propilenglicol	Hasta °C
0%	0
10%	-3
20%	-8
30%	-14
40%	-22
50%	-34
60%	-48
100%	-59

Dado que la temperatura mínima histórica en Valladolid es de -16°C y la instalación debe estar preparada para soportar esta temperatura, se utilizará una concentración del 40% de propilenglicol.

El calor específico de esta mezcla a -21°C (5°C menos que la mínima histórica) es de 0,88 kcal/kg°C, superior a los 0,7 exigido por la normativa. El resto de propiedades de esta mezcla pueden verse en las tablas 10, 11, 12, 13, 14 y 15 del Anexo II.



En vez de propilenglicol, se utilizará el anticongelante que ofrece “Ibersolar”, la compañía suministradora de los captadores solares. Este líquido está basado en propilenglicol, por lo que sus características pueden considerarse prácticamente iguales a las del propilenglicol.

Por tanto, como fluido caloportador se usará una mezcla del 60% de agua desmineralizada (ya que el agua de la red tiene un alto contenido en calcio) y un 40% de “TYFOCOR”, suministrado en garrafas de 20 litros.

## 8.2. Sistema de captación

El sistema de captación estará formado por 14 colectores, distribuidos en tres filas, dos de ellas con 5 colectores cada una y la otra con 4 colectores, con una distancia entre cada fila de 3.9 metros. Irán situados en la cubierta del edificio, tal como se muestra en el plano nº2.

Se utilizará el captador plano vertical selectivo OPS-V250 de la compañía “Ibersolar”. A continuación se presentan sus características:

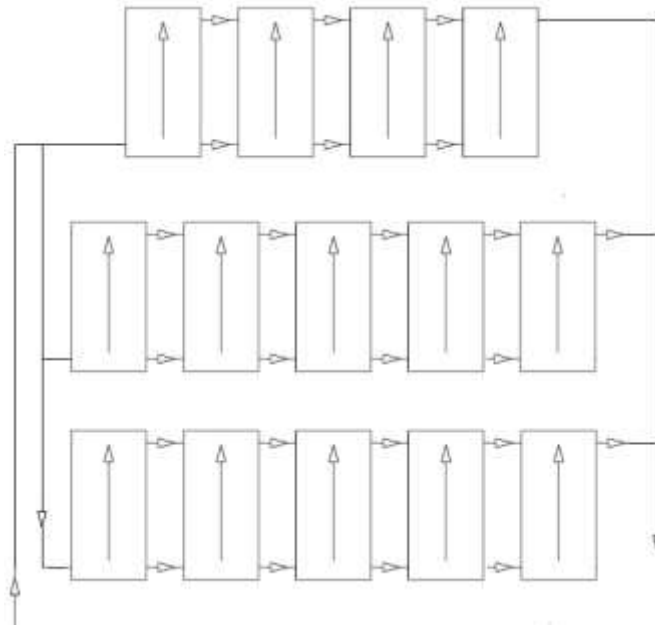
REFERENCIA	01010110/100405	
Modelo	OPS-V250	
Captador	Unidades	Valores
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundo)	mm	1230 x 2030 x 92.5
Área bruta	m <sup>2</sup>	2.50
Área de apertura	m <sup>2</sup>	2.30
Número de cubiertas		1
Espesor de la cubierta	mm	4
Material de la cubierta	Vidrio templado de bajo contenido en hierro	
Tubos verticales	11 tubos de cobre	
Diámetro de los tubos verticales	mm	8
Separación entre tubos	mm	100
Tubos horizontales	2 tubos de cobre	
Diámetro de los tubos horizontales	mm	22
Construcción tipo	Parrilla	
Peso en vacío	kg	50.50
Peso en funcionamiento	kg	52.77
Material de la carcasa	Aluminio lacado gris	
<b>Absorbedor</b>		
Tratamiento del absorbedor	SunSelect	
Rendimiento óptico	%	78.6
Coefficiente de pérdidas k <sub>1</sub>	W/m <sup>2</sup> K	3.62
Aislamiento	Lana de Roca	
Espesor aislamiento lateral y posterior	mm	20 / 50
<b>Hidráulica</b>		
Volumen fluido caloportador	litros	1.64
Fluido Caloportador	Propilenglicol	
Presión de trabajo	bar	10
Presión de prueba	bar	15
Caudal recomendado	l/hm <sup>2</sup>	50
Conexiones de tubo liso	mm	22
Temperatura de estancamiento *	°C	217 °C + T <sup>a</sup> ambiente

\* Radiación a 1000 W/m<sup>2</sup>

➤ Conexión de los captadores

Los captadores pueden conectarse de tres formas: en serie, en paralelo o en serie-paralelo (sistema mixto). El conexionado en paralelo tiene mayor rendimiento pero mayor coste, ya que se incrementa la longitud de las tuberías y el número de accesorios. Con la conexión en serie se reducen estos costes; sin embargo, su rendimiento es menor, ya que al pasar el fluido de un colector a otro la temperatura de entrada en cada uno va aumentando, disminuyendo la eficacia global del sistema.

El conexionado elegido es el siguiente: el campo de colectores estará formado por dos filas de cinco colectores y otra fila de cuatro colectores. Todas las filas irán conectadas en paralelo entre sí, y los colectores de cada fila, irán conectados en paralelo también, según se muestra en el esquema siguiente:



El diseño de la instalación debe garantizar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. Para alcanzar un flujo equilibrado se utiliza el sistema de retorno invertido. Este método consiste en que la tubería que transporta el agua desde el interacumulador hasta los captadores se alarga hasta la batería más lejana. De esta manera se consigue, como se observa en la figura anterior, que todos los recorridos tengan la misma longitud, por lo que las pérdidas de carga por cada fila de captadores serán las mismas.

No obstante, ya que no todas las filas tienen el mismo número de colectores, para asegurar el recorrido hidráulico del sistema se colocará una válvula de equilibrado en la entrada de cada fila.

Además, se deben instalar válvulas de cierre en la entrada y salida del campo de captadores, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.

➤ Pérdidas en los captadores

La orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites de la siguiente tabla. En todos los casos se han de cumplir tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores óptimos.

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

Se considerarán tres casos: general, superposición de captadores e integración arquitectónica. Se considera que existe integración arquitectónica cuando los captadores cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales. Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio.

Este proyecto se trata de un **caso general**, ya que los captadores tendrán una inclinación diferente a la del tejado y no cumplen ninguna función arquitectónica. Como se ha calculado en el documento de “Cálculos”, las pérdidas en los captadores son:

- Pérdidas por orientación e inclinación: 5%
- Pérdidas por sombras: 2%
- Pérdidas totales: 7%

Según esto, se cumplen los tres requisitos exigidos, luego las pérdidas en los captadores cumplen la normativa.

➤ Estructura de los captadores

La estructura soporte de los captadores será suministrada por la compañía "Ibersolar", dado que tiene las medidas adecuadas para el modelo de captador elegido.

La compañía ofrece soportes individuales o soportes dobles (para dos captadores). En las filas de cinco captadores se colocarán dos soportes dobles y uno individual, y en la fila de cuatro captadores, dos soportes dobles. Es decir, se utilizarán 6 soportes dobles y 2 individuales.

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de captadores, permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o al circuito hidráulico.

La estructura soporte, al estar montada en el exterior, debe soportar unos esfuerzos de viento de 150 km/h y sobrecargas de nieve de 1,25 kN/m<sup>2</sup> de acuerdo con las normas ENV 1991-2-3 y ENV 1991-2-4.

Esta estructura irá colocada sobre unos muretes de hormigón armado con una sección de 20 x 20 cm.

Además, la estructura del edificio debe soportar todo el peso del conjunto del sistema de captación, teniendo en cuenta los esfuerzos de viento y nieve mencionados. Este cálculo está reflejado en el documento de "Cálculos".

### 8.3. Sistema de acumulación e intercambio

Se ha elegido la opción de colocar el sistema de intercambio dentro del acumulador, es decir, se tratará de un interacumulador. El intercambiador irá situado en la parte inferior del acumulador, y será de tipo sumergido de serpentín.

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

## Memoria

Los acumuladores con un volumen mayor de 2 m<sup>3</sup> deberán llevar válvulas de corte u otros sistemas adecuados para cortar flujos al exterior del depósito no intencionados en caso de daños del sistema.

El interacumulador irá situado en la sala donde actualmente se encuentra la caldera. Se ha elegido el modelo "VITROFLEX" con serpentín extraíble de la empresa "IBERSOLAR". Tiene una capacidad de 3000 litros y una superficie de serpentín de 5 m<sup>2</sup>, cumpliendo los siguientes requisitos indispensables:

$$V \approx M$$

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

$$S > 0,15 * A$$

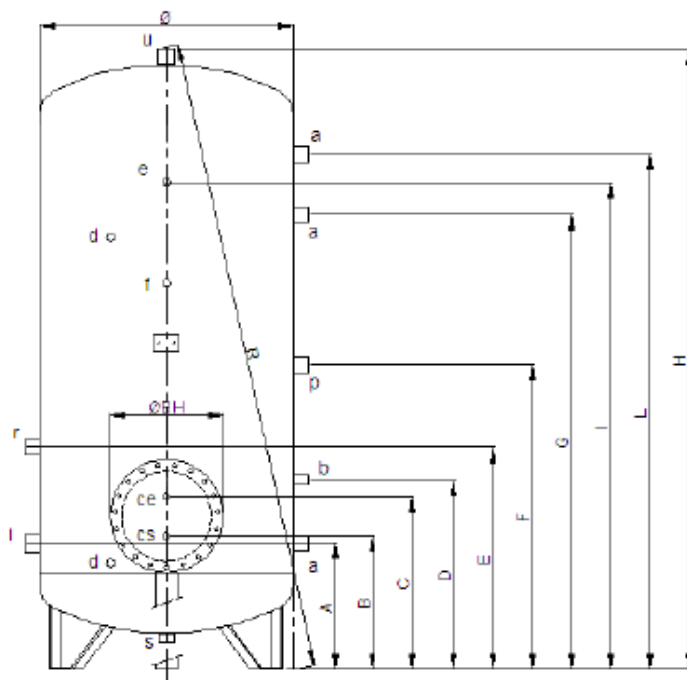
Siendo: A el área total de los captadores; V el volumen de acumulación; S la superficie de intercambio; M la cantidad de agua consumida al día.

Sus principales características son:

- Capacidad: 3000 litros
- Área del serpentín: 5 m<sup>2</sup>
- Temp. máx. de operación: 95°C
- Presión máx. de operación: 6 bar
- Presión máx. de operación del intercambiador: 12 bar
- Diámetro exterior con aislamiento: 1400 mm
- Altura total: 2865 mm
- Espesor aislante: 70 mm
- Peso: 398 kg

DIMENSIONES (mm)												
Φ	H	A	B	C	D	E	F	G	I	L	R	ΦBH
1250	2865	580	640	840	730	880	1180	1520	1850	2380	2930	480

DIMENSIONES						
a,r,s,p	b,e	d	f	l,u	Ce,cs	Nº an/el
1 1/4"	1/2"	1/2"	-	3"	2"	2



**LEYENDA**

a	Ánodo de magnesio / entradas auxiliares
b	Termostato / sensor de temperatura
ce/cs	Entrada / salida serpentín
d,f	Ánodo electrónico
e	Termómetro
i	Entrada agua fría
u	Salida agua caliente
r	Recirculación
s	Descarga
p	Entrada auxiliar

El interacumulador elegido cumple con los requisitos sobre las conexiones exigidos por el Pliego de Condiciones Técnicas con objeto de aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de la estratificación por temperatura en los depósitos. Estas condiciones son las siguientes:

- a) La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al acumulador se realizará, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50 % y el 75 % de la altura total del mismo.
- b) La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste.
- c) En caso de una sola aplicación, la alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realizará por la parte inferior. En caso de sistemas abiertos en el consumo, como por ejemplo A.C.S., esto se refiere al agua fría de red. La extracción de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.
- d) En caso de varias aplicaciones dentro del mismo depósito habrá que tener en cuenta los niveles térmicos de éstas, de forma que tanto las salidas como los retornos para aplicaciones que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas estén por encima de las que requieran un nivel menor.

Además, el interacumulador cumplirá los requisitos de la norma UNE EN 12897 sobre el contacto con agua potable.

## 8.4. Circuito hidráulico

### 8.4.1. Tuberías

Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible, evitando al máximo los codos y pérdidas de carga en general. La tubería tendrá una longitud total de unos 93 metros.

Las tuberías serán todas de cobre. Su cálculo se ha realizado de acuerdo con las dos condiciones indispensables que marca el RITE:

- El diámetro de las tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discorra por locales habitados y a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.
- El dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal.

En base a estos dos requisitos, las tuberías tendrán distintos diámetros, en función del caudal que circula por ellas. Las tuberías que discurren por el interior tendrán un diámetro de 35 mm, mientras que las que circulan por el exterior del edificio tendrán diámetros de 35, 28 y 22 mm, según queda especificado en el plano nº3.

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

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

### 8.4.2. Bomba de recirculación

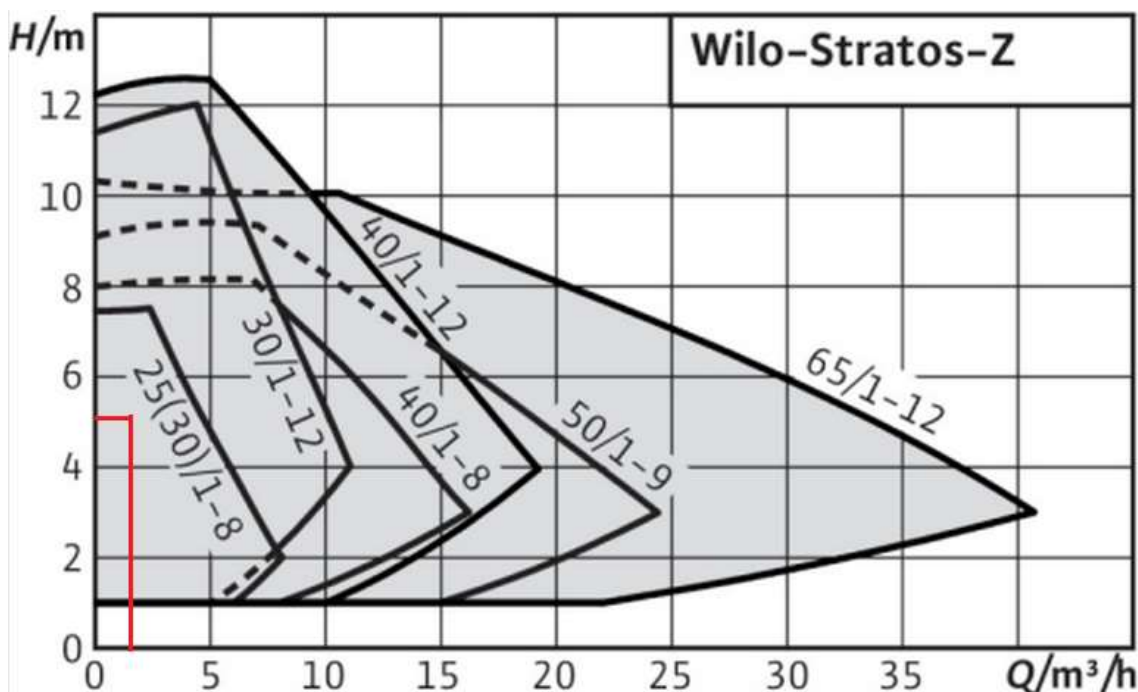
La bomba será de tipo en línea e irá situada en la zona más fría del circuito, es decir, a la salida del interacumulador, y estará instalada en la misma sala de calderas. El eje de rotación debe estar siempre en posición horizontal.

Las tuberías conectadas a la bomba se soportarán en las inmediaciones de ésta, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

Los materiales de la bomba del circuito serán compatibles con el fluido de trabajo utilizado, en este caso una mezcla anticongelante. Además, la bomba será resistente a las averías producidas por efecto de las incrustaciones calizas.

La bomba será resistente a la presión máxima del circuito. La presión de la bomba deberá compensar todas las pérdidas de carga del circuito correspondiente. Se seleccionará de forma que el caudal y la pérdida de carga de diseño se encuentren dentro de la zona de rendimiento óptimo especificado por el fabricante.

El caudal es de 1,61 m<sup>3</sup>/h, y las pérdidas a vencer son de 5,1 m.c.a. Este valor de pérdidas es lo que se conoce como altura manométrica (Hm). Se elegirá una bomba de la compañía "WILO", que dispone de una amplia gama de productos. De acuerdo con los datos anteriores se seleccionará el modelo de bomba más adecuado para la instalación, según la siguiente gráfica:





Se observa que para un caudal de 1,61 m<sup>3</sup>/h y una altura manométrica de 5,1 metros el modelo más adecuado y, por tanto, el seleccionado, es el Wilo-Stratos-Z-25(30)/1-8. Sus principales características se presentan a continuación:

- Caudal máximo: 8 m<sup>3</sup>/h
- Altura máxima: 7,5 metros
- Presión máxima: 10 bar
- Alimentación eléctrica: 1~230 V, 50/60 Hz
- 



#### 8.4.3. Vaso de expansión

El vaso de expansión será cerrado y cumplirá con el Reglamento de Equipos a Presión. Se colocará en la aspiración de la bomba, tal y como marca el RITE.

La tubería de conexión del vaso de expansión no se aislará térmicamente y tendrá volumen suficiente para enfriar el fluido antes de alcanzar el vaso.

Su función es absorber las dilataciones del fluido caloportador en caso de aumentar de temperatura en el circuito primario. Su capacidad depende, sobre todo, del volumen de fluido que circula por el circuito. El volumen de dilatación será, como mínimo, igual al 4,3 % del volumen total de fluido en el circuito primario.

Se ha elegido el modelo de la compañía "Ibersolar", de acero inoxidable, cuyas características se presentan a continuación:

Capacidad (litros)	12
Presión máx. (bar)	10
Precarga (bar)	2,5
Dimensiones (mm)	Φ 260 H 310



#### 8.4.4. Purgador y desaireador

Para evacuar los gases contenidos en el fluidocaloportador se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. El volumen útil del botellín será superior a 100 cm<sup>3</sup>.

Este sistema debe ir colocado en el punto más alto de la instalación, que es donde se acumulan los gases al separarse del fluido. Este punto es la salida de las baterías de captadores.

Se ha elegido un purgador automático de ½" de la compañía "Ibersolar".



#### 8.4.5. Válvulas

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura). Las válvulas utilizadas son las siguientes:

- Válvulas de llenado y vaciado  
Se utilizan para introducir o extraer fluido. Serán válvulas de esfera. Se colocará una, en la parte baja del circuito.
- Válvulas de corte  
Su función es aislar los componentes en caso de reparación. Serán válvulas de bola. Se colocarán 8 en el circuito, y otras 2 fuera del circuito para aislar en interacumulador.
- Válvulas antirretorno  
Sirven para que el fluido no cambie de sentido. Serán válvulas de clapeta. Se utilizará una, en la impulsión de la bomba.
- Válvulas de seguridad  
Sirven para limitar la presión del circuito, de forma que no se sobrepase la presión máxima soportada por los componentes, que es de 10 bar. Serán válvulas de resorte. Se colocará una a la entrada del campo de colectores.
- Válvulas de equilibrado  
Sirven para regular el caudal. Serán válvulas de asiento. Se colocarán 4, una en la entrada de cada fila de colectores y otra en la impulsión de la bomba.

Todas las válvulas serán de 1 ¼" (que corresponden a los 35 mm de las tuberías) excepto las tres válvulas de regulación de caudal situadas a la entrada de cada fila de captadores, que serán de ¾" (correspondiente a los 22 mm de diámetro de las tuberías). Todas las válvulas serán suministradas por la compañía "Ibersolar".

## 8.5. Aislamiento térmico

Un elemento fundamental en una instalación de energía solar térmica es el aislamiento de todos los elementos que puedan tener pérdidas caloríficas, que son principalmente tres: la parte posterior del colector, las tuberías y el depósito de almacenamiento del agua caliente.

La elección de un aislamiento viene determinada por varios factores, entre los que destacan:

- Bajo coeficiente de conductividad
- Precio bajo (incluida la instalación)

- Colocación relativamente sencilla
- Gama de temperatura adecuada
- Ser ignífugo
- No ser corrosivo para las superficies con las que estará en contacto
- Ser estable y no enmohecerse
- Resistencia mecánica buena
- Peso específico reducido

Los espesores del aislamiento de las tres partes de la instalación mencionadas antes son los siguientes:

➤ Colectores

Según el fabricante de los captadores solares, el aislamiento es de lana de roca de 50 kg/m<sup>2</sup>, con espesor de 50 mm.

➤ Depósito acumulador

Según el RITE este espesor no debe ser inferior a 35 mm. El depósito interacumulador elegido tiene un espesor de aislamiento de 70 mm, con lo cual cumple con la normativa.

➤ Tuberías

Se ha elegido para las tuberías el aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR HT de la compañía "Salvador Escoda". Se trata de un aislamiento elastomérico.

Para el tramo de tubería interior (16 metros) se utilizará tubo de 35 mm de diámetro y 30 mm de espesor, y para el tramo de tubería exterior (77 metros) se utilizará tubo de 35, 28 y 22 mm de diámetro, y 40 mm de espesor. Estos cálculos están indicados en el documento "Cálculos".

Las características de ambos tipos de tubos son las siguientes:

Temp. máxima	150°C
Coef. Conduct. Térmica $\lambda$	0,039 W/(m·K) a 10°C
Factor de permeabilidad $\mu$	7000
Resistencia al fuego	B2 DIN 4102
Clasificación al humo (toxicidad)	IMO RES 41 (64)
Composición	no halógeno, sin PVC, sin CFC, HCFC, sin amianto.

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

El aislamiento de las zonas exteriores irá protegido, además, con una capa de pintura especial.

## 8.6. Sistema auxiliar

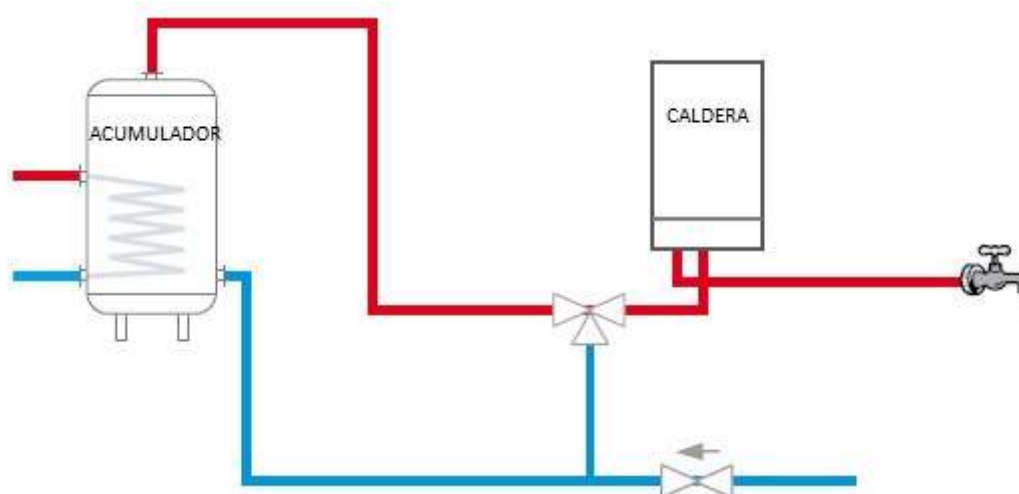
En este tipo de instalaciones es imprescindible contar con el apoyo de un sistema auxiliar, dado que el sol no puede cubrir completamente la demanda energética a lo largo del año.

El diseño del sistema de energía auxiliar se realizará en función de la aplicación de la instalación, de forma que sólo entre en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación solar. La instalación térmica deberá efectuarse de manera que en ningún caso se introduzca en el acumulador solar energía procedente de la fuente auxiliar.

De acuerdo a la normativa, la caldera debe tener la potencia suficiente como para trabajar de forma continua como si no existiese la contribución del sistema solar.

El edificio ya tiene una instalación para la producción de agua caliente sanitaria. Se trata de una caldera de gas de 24 kcal. Por lo tanto, dado que la caldera existente tiene la potencia suficiente y para no encarecer los costes del presente proyecto, se decide aprovechar la misma caldera para hacerla servir como sistema de energía auxiliar.

Según el Pliego de Condiciones Técnicas, siempre que sea posible el sistema auxiliar se conectará en línea con el sistema solar. En este caso, dado que sí que es posible, la caldera se conectará en serie con el interacumulador, estando ambos en la misma sala de calderas. El esquema de conexión quedará de la siguiente forma:



El agua de red entra en el acumulador y se calienta mediante el sistema solar. Cuando el agua sale del acumulador, entra en la caldera de apoyo como si de agua fría de red se tratase. Cuando el agua extraída del acumulador no tenga la temperatura suficiente, la caldera entrará en funcionamiento, calentando el agua hasta la temperatura de consumo elegida.

Además, el Pliego de Condiciones Técnicas también exige para instalaciones de ACS que el sistema de aporte de energía auxiliar con acumulación o en línea siempre debe disponer de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que en condiciones normales de funcionamiento permitirá cumplir con el RD 865/2003.

### 8.7. Sistema eléctrico y de control

El sistema eléctrico y de control cumplirá con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) en todos aquellos puntos que sean de aplicación. Los cuadros serán diseñados siguiendo los requisitos de estas especificaciones y se construirán de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y con las recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

El usuario estará protegido contra posibles contactos directos e indirectos. Además, los aparatos eléctricos (tanto la centralita como los termostatos, termómetros, etc.) deben tener el índice de protección IP adecuado a su lugar de ubicación

El rango de temperatura ambiente de funcionamiento del sistema de control estará, como mínimo, entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $50^{\circ}\text{C}$ , y el tiempo mínimo entre fallos especificados por el fabricante del sistema de control diferencial no será inferior a 7000 horas.

El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.

El sistema de regulación y control comprende dos funciones principales: el control del funcionamiento de la bomba de recirculación y la captación de señales.

➤ Control de la bomba

Según el CTE, el control de funcionamiento de las bombas en un sistema de circulación forzada debe ser siempre por termostato diferencial. Se compara la temperatura a la salida de los captadores y la temperatura en la parte inferior del acumulador mediante dos sondas.

Se fijará una diferencia de  $4^{\circ}\text{C}$ . Es decir, cuando la temperatura a la salida de los captadores sea  $4^{\circ}\text{C}$  mayor que la temperatura en la parte inferior del interacumulador, la bomba se pondrá en marcha. Cuando la diferencia sea de  $4^{\circ}\text{C}$  o menos, la bomba se parará.

Las sondas han de ser de inmersión y estar situadas a una distancia máxima de 5 cm del fluido cuya temperatura se pretende medir. Las vainas destinadas a alojar las sondas de temperatura, deben introducirse en las tuberías siempre en contracorriente y en un lugar donde se creen turbulencias.

➤ Captación de señales

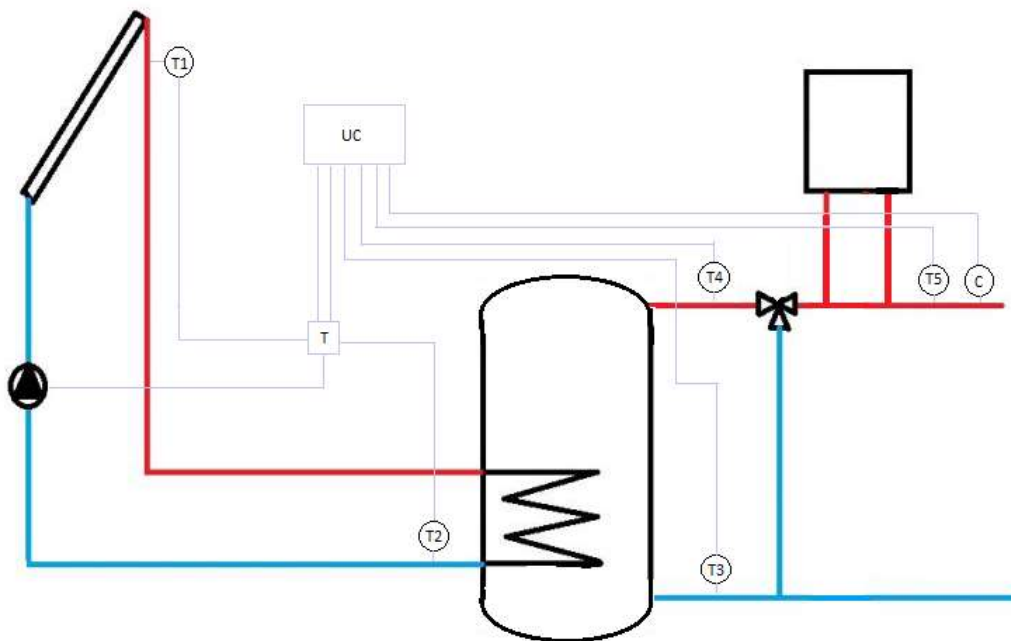
El sistema de monitorización realizará la adquisición de datos, al menos con la siguiente frecuencia:

- Toma de medidas o estados de funcionamiento: cada minuto
- Cálculo de medias de valores y registro: cada 10 minutos
- Tiempo de almacenamiento de datos registrados: mínimo 1 año

Las variables analógicas medidas por el sistema de monitorización deben ser seis como mínimo. Dos de ellas serán las necesarias para el funcionamiento de la bomba. Las otras cuatro, obligatoriamente según la normativa, son las siguientes:

- Temperatura de entrada de agua fría
- Temperatura de suministro de agua caliente solar
- Temperatura de suministro de agua caliente a consumo
- Caudal de agua de consumo

El esquema de control quedará, entonces, de la siguiente forma:



Siendo:

- T1: sonda de temperatura salida de captadores
- T2: sonda de temperatura parte inferior del acumulador
- T3: sonda de temperatura agua fría de red
- T4: sonda de temperatura agua caliente solar
- T5: sonda de temperatura agua caliente de consumo
- C: caudalímetro
- T: termostato diferencial para funcionamiento de la bomba
- UC: centralita de control



El tratamiento de los datos medidos proporcionará, al menos, los siguientes resultados:

- Temperatura media de suministro de agua caliente a consumo
- Temperatura media de suministro de agua caliente solar
- Demanda de energía térmica diaria
- Energía solar térmica aportada
- Energía auxiliar consumida
- Fracción solar media
- Consumos propios de la instalación (bombas, controles, etc.)

Con los datos registrados se procederá al análisis de resultados y evaluación de las prestaciones diarias de la instalación. Estos datos quedarán archivados en un registro histórico de prestaciones.

Se ha elegido el modelo de regulador térmico “SERI 800” de la compañía “Ibersolar”, que está diseñado para instalaciones de pequeño-medio tamaño. Incluye 7 sondas de temperatura.



Ofrece 12 posibles esquemas de aplicación, con una libre configuración de señales de entrada y salida. Sus principales características se presentan a continuación:

## Memoria

REFERENCIA	01050100/102012
Tensión de red nominal	230 V 10 % (50-60Hz)
Consumo de energía	≤ 3 W
<b>Entradas:</b>	8
Sensores de temperatura -20°C...+180°C	máx. 7
Sensor de flujo de vortex	1
<b>Salidas:</b>	8
Triacs (230V, 50Hz) * ON/OFF para bombas y válvulas	6
Salidas analógicas para bombas 0-10V 5mA	2
<b>Interfaz:</b>	
Pantalla gráfica LCD	128x64 pixeles, 66x33mm
Entradas	5 botones
<b>Propiedades físicas:</b>	
Grado de Protección	IP 20
Temperatura Ambiente	0°C...+70°C
Dimensiones	249 x 190 x 65 mm
Peso	0.9 kg
Material de la caja	30% plástico reciclado ABS

Valladolid, Febrero de 2015

Fdo: Andrea Hernández Campillo

# **PLANOS**



TITULO PROYECTO: **Instalación solar térmica para la producción de ACS en el Centro ASPACE de Valladolid**

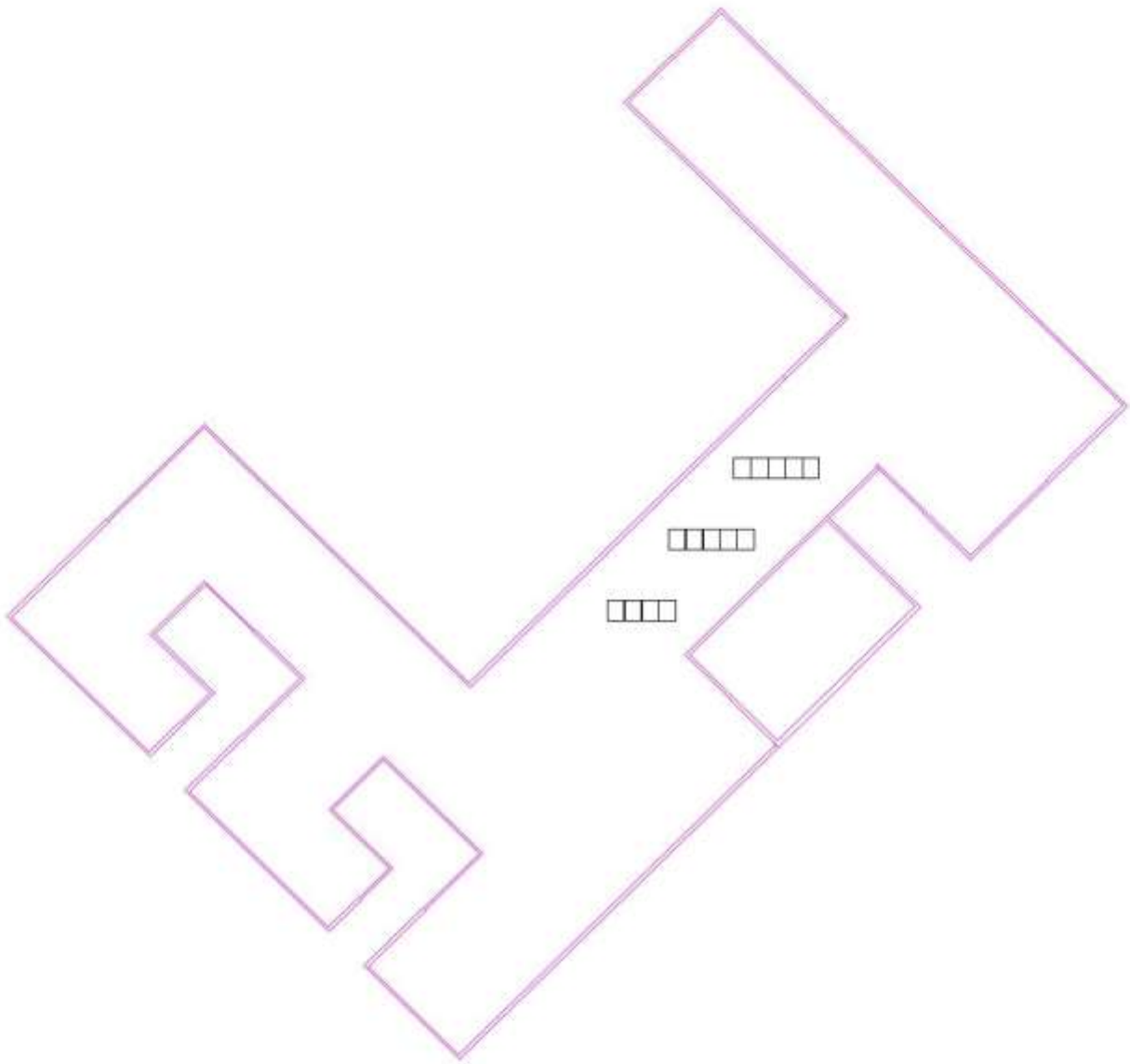
PLANO:  
**EMPLAZAMIENTO**

FECHA:  
**Febrero 2015**

Nº PLANO: **1**

ESCALA: **s/e**

FIRMA:  
**Andrea Hernández Campillo**



TITULO PROYECTO: **Instalación solar térmica para la producción de ACS en el Centro ASPACE de Valladolid**

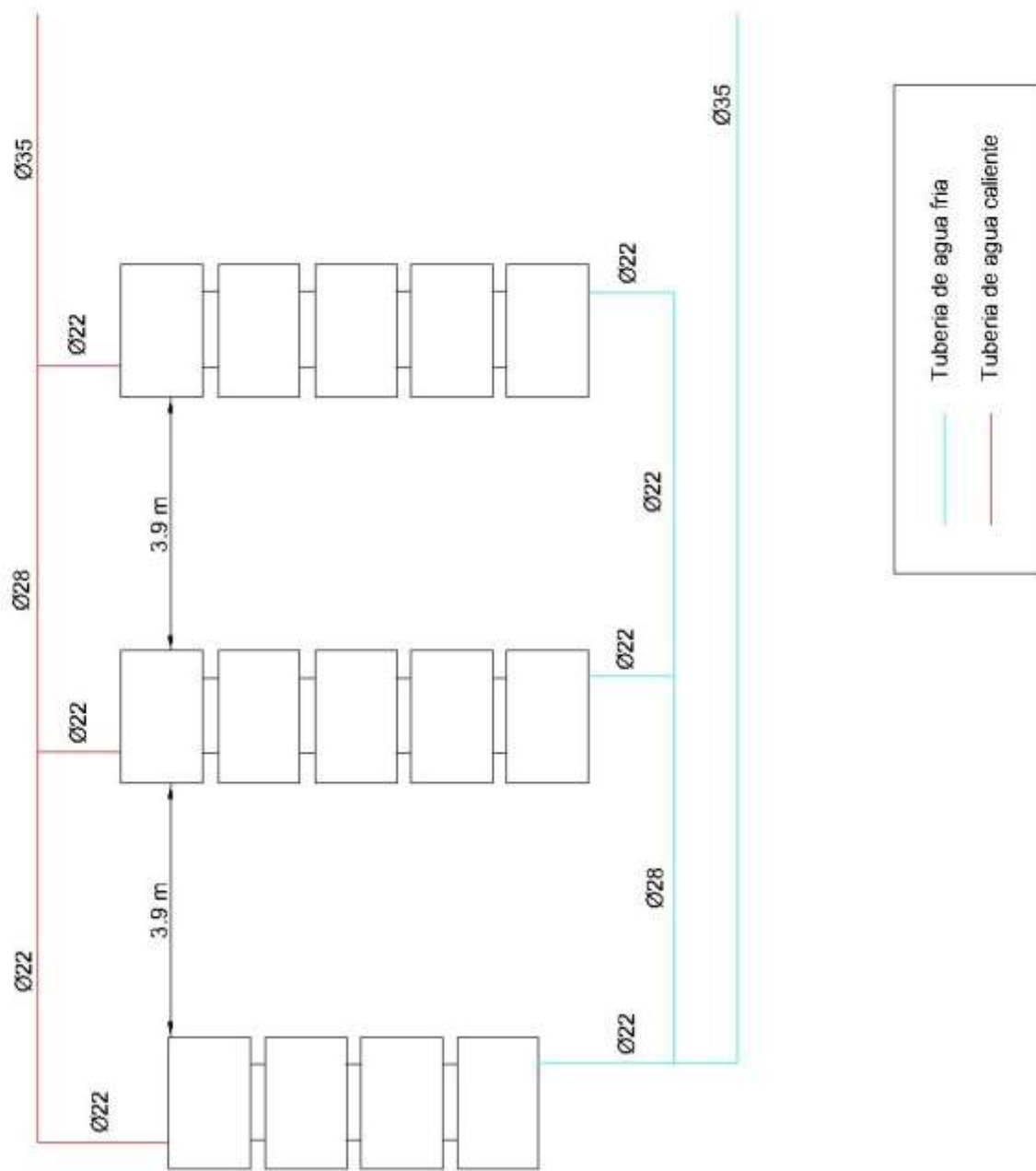
PLANO:  
**PLANTA**

FECHA:  
**Febrero 2015**

Nº PLANO: **2**

ESCALA: **1:500**

FIRMA:  
Andrea Hernández  
Campillo



TITULO PROYECTO:

Instalación solar térmica para la producción de ACS en el Centro ASPACE de Valladolid

PLANO:

ESQUEMA DE CAPTADORES

FECHA:

Febrero 2015

Nº PLANO:

3

ESCALA:

s/e

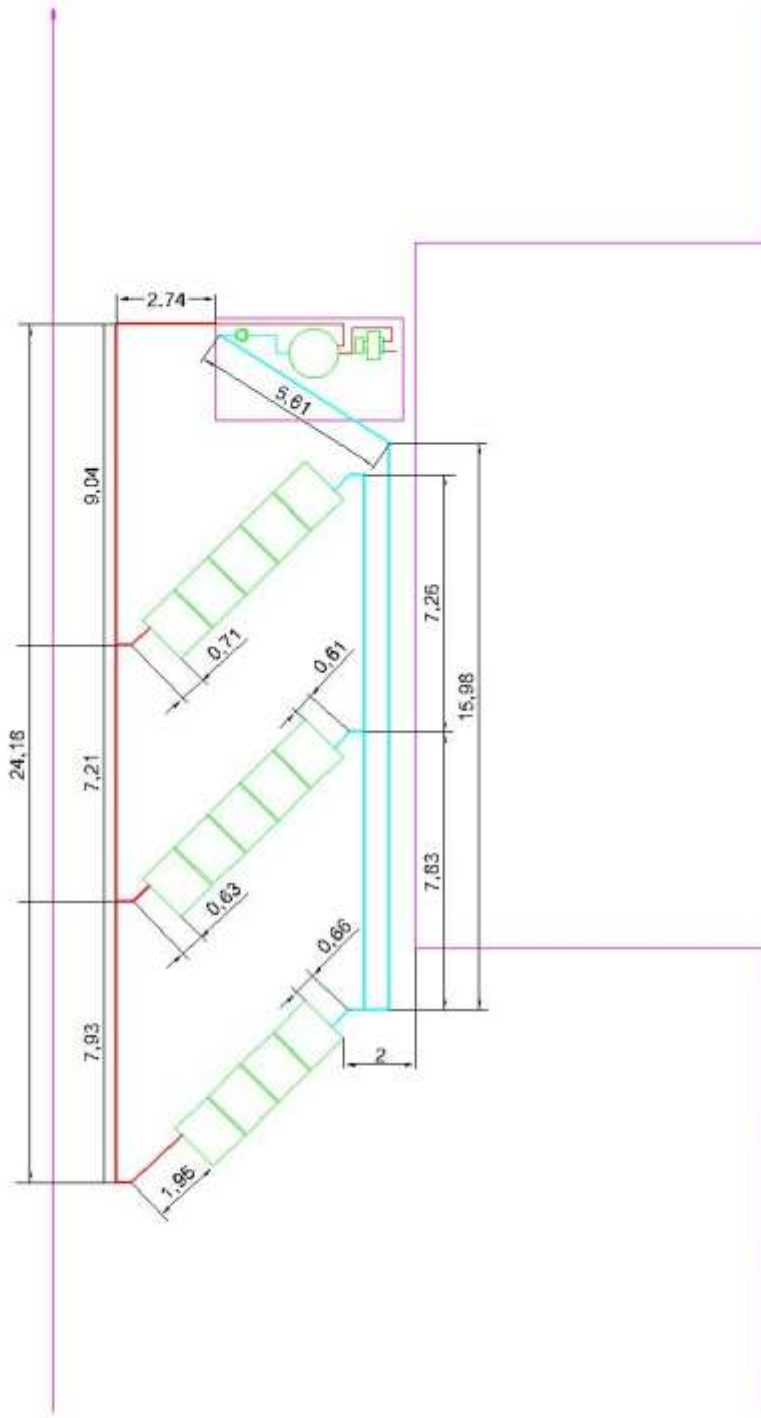
FIRMA:

Andrea Hernández Campillo

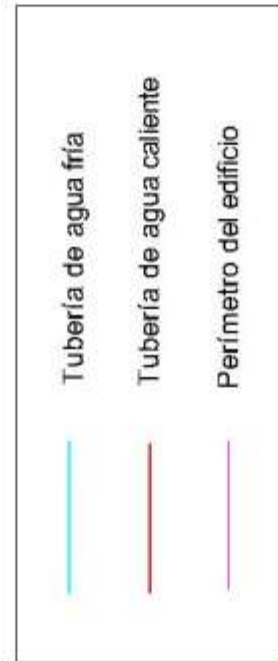


UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK



Nota: el espesor del aislamiento es de:  
 - 40 mm para las tuberías exteriores  
 - 30 mm para las tuberías interiores



TITULO PROYECTO: **Instalación solar térmica para la producción de ACS en el Centro ASPACE de Valladolid**

PLANO: **CAMPO DE CAPTADORES**

FECHA: **Febrero 2015**

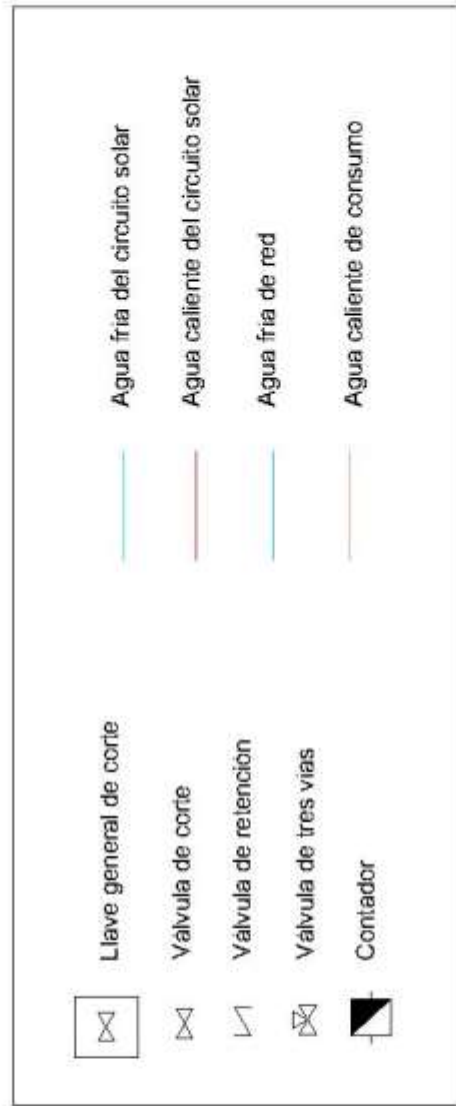
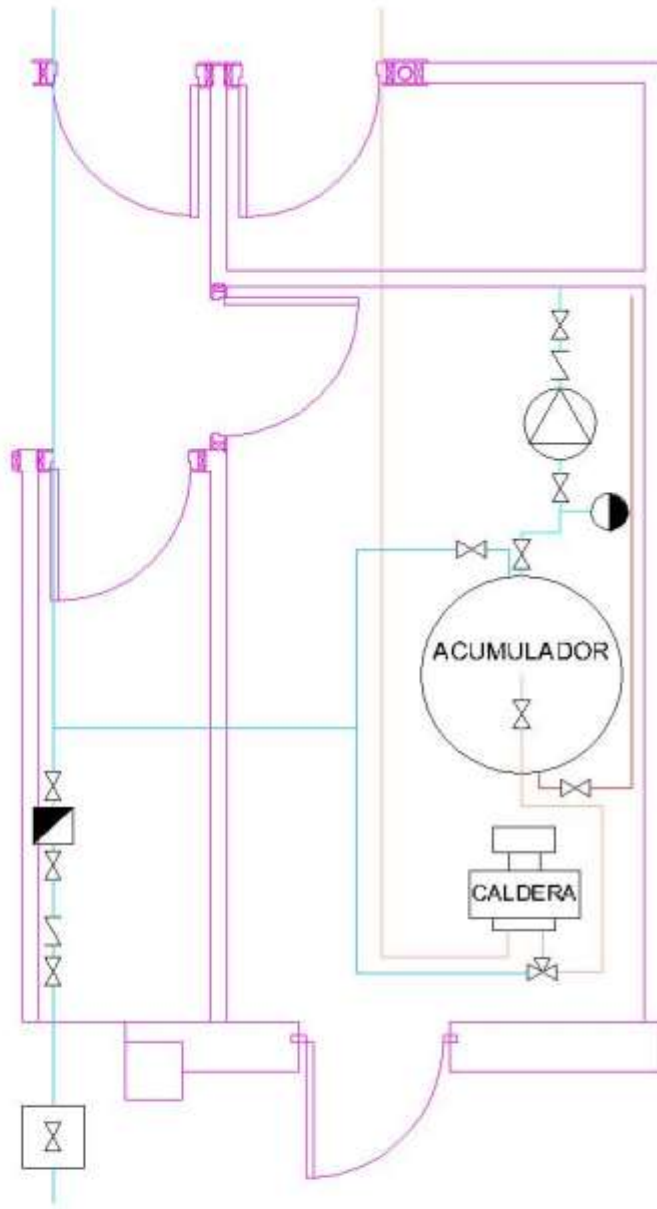
Nº PLANO: **4**

ESCALA: **1:200**

FIRMA: **Andrea Hernández Campillo**

 **UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK



TITULO PROYECTO: **Instalación solar térmica para la producción de ACS en el Centro ASPACE de Valladolid**

PLANO:  
**SALA DE CALDERAS**

FECHA:  
**Febrero 2015**

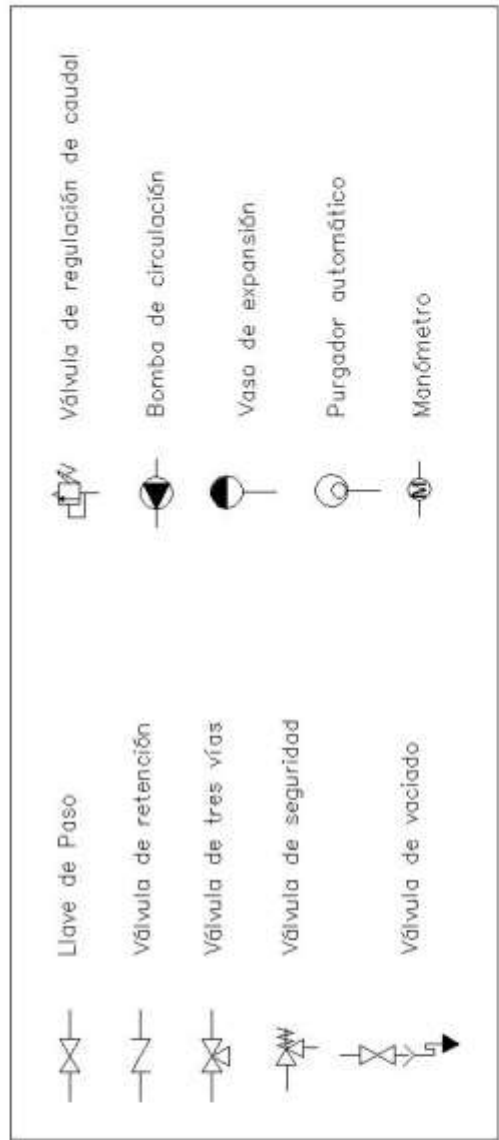
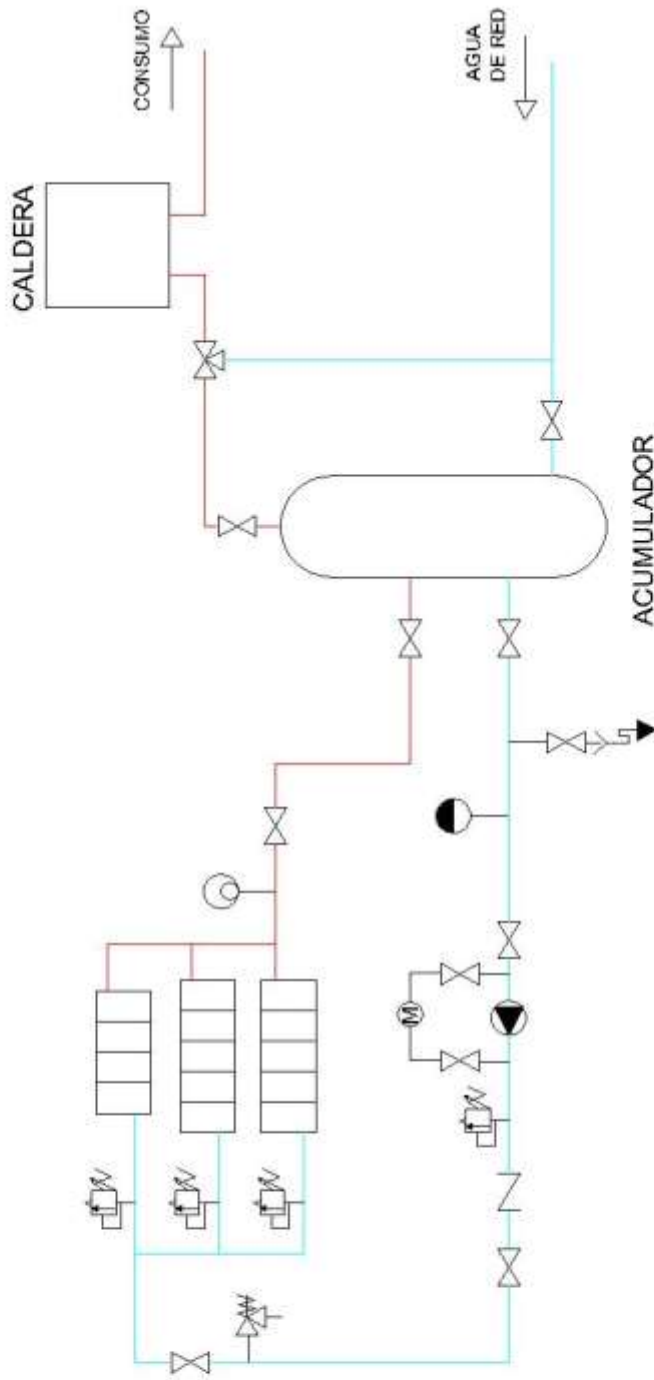
Nº PLANO: **5**

ESCALA: **1:50**

FIRMA:  
Andrea Hernández Campillo



PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK



TITULO PROYECTO: **Instalación solar térmica para la producción de ACS en el Centro ASPACE de Valladolid**

PLANO: **ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN**

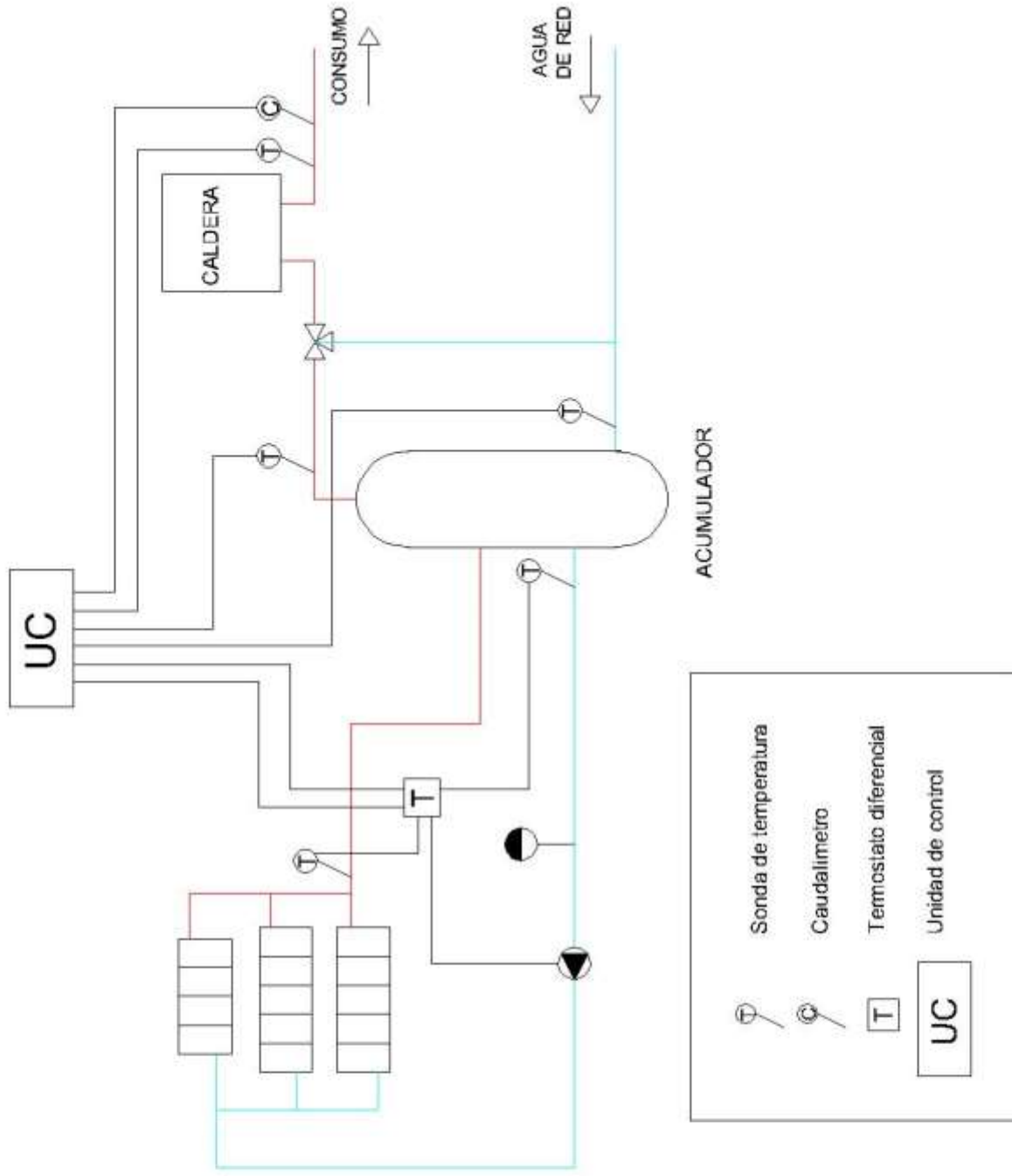
FECHA: **Febrero 2015**

Nº PLANO: **6**

ESCALA: **s/e**

FIRMA: **Andrea Hernández Campillo**

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK



**TITULO PROYECTO:** Instalación solar térmica para la producción de ACS en el Centro ASPACE de Valladolid

**PLANO:** ESQUEMA DE CONTROL

**FECHA:** Febrero 2015

**Nº PLANO:** 7

**ESCALA:** s/e

**FIRMA:** Andrea Hernández Campillo

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

# **PLIEGO DE** **CONDICIONES**

## **1. Introducción**

Tan importante como pueda ser la correcta elaboración del proyecto y de todos los procesos de cálculo que éste comprenda, es la perfecta ejecución de la instalación, en cada una de sus diferentes etapas.

El instalador, como responsable de la misma, ha de tener en todo momento un esquema de trabajo claro y definido, respetando el orden secuencial de cada una de las operaciones a realizar. Ha de trabajar de forma sistemática, de acuerdo con un programa previamente establecido y nunca improvisado sobre la marcha. Sólo de esta manera logrará que su labor sea eficiente, consiguiendo a la vez un ahorro de tiempo y mano de obra que puede ser determinante para poder ofrecer presupuestos competitivos.

En este Pliego de Condiciones se describen los diferentes pasos que el instalador o empresa instaladora debe seguir en la completa realización de la obra, teniendo en cuenta que en ella intervienen a menudo distintas personas, desde peones técnicos especialistas, cuyo trabajo habrá que coordinar y dirigir.

## **2. Procesos previos al inicio de la instalación**

Una vez obtenida la conformidad del cliente, y habiéndose fijado de común acuerdo por ambas partes una fecha para el comienzo y la conclusión de los trabajos (que debe admitir un cierto margen, para cubrir posibles imprevistos), el instalador deberá planificar todo el proceso de montaje, tratando de prever hasta el más pequeño detalle, desde la posible necesidad de contratación de personal eventual hasta el acopio del material, que puede ser suministrado por el cliente o aportado por el propio instalador.

Suponemos que previamente, para poder dar presupuesto de la instalación y comprometerse con el cliente, el instalador o empresa instaladora habrá tenido que estudiar concienzudamente el mismo, sopesando las posibles dificultades de realización y habiendo efectuado las aclaraciones necesarias.

Por tanto, conociendo el instalador de las exigencias contenidas en el proyecto y de las características propias de la instalación, así como la de todos los productos y materiales que intervienen en la misma, puede comenzar a trabajar sobre planos, tomando medidas, y realizando un primer esquema de lo que va a ser el proceso de la instalación.

No obstante, en cuanto el estado de la construcción, si se trata de edificación nueva, permita visitar la obra, o inmediatamente si el edificio está ya construido, lo primero que ha de hacer el instalador es personarse en el lugar, y comprobar *in situ* lo que ya conoce por los planos del proyecto.

A veces surge en plena obra la necesidad de variar la ubicación prevista de los colectores, debido a la presencia de un obstáculo no previsto, o de modificar algún aspecto de la instalación. En cualquier caso es preciso consultar siempre con el autor del proyecto, con el cual el instalador ha de mantener contacto permanente mientras dure la obra.

Así, la ubicación de los colectores en los tejados deberá evitar los puntos más altos y desprotegidos del viento y aquellos lugares (rincones desfavorablemente orientados) donde haya riesgo de que se formen vórtices y remolinos, que hagan que la velocidad con la cual el aire lame a la cubierta sea mayor que la esperada considerando las condiciones de viento medias, aumentando las pérdidas por convección y haciendo bajar el rendimiento previsto.

También, y siempre que ello sea posible, se tratará de evitar que los colectores sean accesibles desde el exterior al lanzamiento de piedras, ocultándolos a la vista.

En la primera visita se efectuarán las medidas necesarias, comprobando el espacio disponible para ubicar los colectores, teniendo en cuenta la distancia mínima que debe dejarse entre hileras. También se medirá el cuarto donde se instalará el acumulador, asegurándose que sus dimensiones son suficientes para permitir que el montaje se efectúe con comodidad.

Normalmente las obras de infraestructura de albañilería (base de hormigón, bancadas, etc.) deben efectuarse por el constructor de la obra civil, y no por el instalador de energía solar. Éste ha de comprobar que todo está correctamente terminado para acomodar la instalación solar propiamente dicha.

En el local donde vayan a instalarse los acumuladores, cambiadores, bombas, etc., deberá existir un sumidero sifónico.

Mediante tiza o cualquier otro procedimiento que haga fácil la posterior eliminación de las marcas efectuadas, se puede proceder a señalar todo el trazado de las tuberías y derivaciones, marcando los puntos de sujeción, comprobando al mismo tiempo la solidez de los paramentos sobre los que han de disponerse.

En definitiva, se inspeccionarán, tomando debida nota, todos aquellos lugares, exteriores e interiores, afectos a la instalación que se pretende ejecutar, comprobando que todo está dispuesto y en orden, limpio de escombros que dificulten los trabajos.

Los operarios deberán ir adecuadamente protegidos, provistos de casco, guantes apropiados para el manejo de tuberías y calzado de seguridad. Los soldadores llevarán delantales de material resistente a las chispas y al calor irradiado, y utilizarán pantallas y gafas con vidrio de protección.

Cuando sea necesario se utilizará cinturón de seguridad y, en general, se cumplirá lo dispuesto en las normas oficiales vigentes en materia de seguridad, en particular la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

En cuanto al material y herramientas necesarios para llevar a cabo una instalación solar, no se diferencian de los que se precisan para una instalación de fontanería o calefacción, por lo que cualquier profesional debe conocerlas perfectamente. Las herramientas deben disponerse en cajas portátiles.

Un equipo completo de herramientas debe incluir:

- Llaves fijas de todos los tamaños utilizados
- Llaves fijas de “boca de lagarto” para tubos
- Llaves ajustables o inglesas, normales y para tubos
- Llaves de cadena o de correa, para tubos de grandes diámetros
- Llaves hexagonales o llaves “Allen”
- Cortatubos para los materiales utilizados
- Sierras de arco de 18 dientes por pulgada en sus hojas
- Escariadores
- Navajas
- Alicates del tipo conocido como “de gasista”
- Alicates de “pico de loro” y graduables
- Alicates para fijación o “de agarre”
- Muelles para curvado de tubos de pequeño diámetro
- Enderezadores-dobladores
- Curvadoras para diversos materiales
- Hileras y terrajas, fijas o ajustables
- Machos de roscar
- Desatascadores de tuberías
- Tornillos de banco y trípodes
- Ensanchadores
- Martillos y mazas
- Cinceles
- Retacadores
- Destornilladores rectos y cruciformes

- Sacabocados
- Limas y escofinas diversas
- Taladradores, percutores y pistolas clavadoras
- Matrices para derivaciones y collarines
- Reglas, cintas métricas, lápices
- Calibradores
- Escuadras y niveles
- Cinta de teflón

Por supuesto, en una instalación determinada únicamente se hará uso de algunas de las herramientas de la lista anterior.

En el equipo de trabajo de soldadura se deberá incluir un extintor portátil de polvo químico seco o CO<sub>2</sub>. Una vez finalizado el trabajo de soldadura es conveniente vigilar la zona, para cerciorarse de que no existe posibilidad de incendio latente.

El instalador deberá prever la posible necesidad de contratar medios mecánicos de elevación si los colectores han de montarse sobre un tejado o azotea que haga problemático su traslado manual.

Otro punto importante es la disponibilidad de energía eléctrica a pie de obra, ya que si no hubiera habría que preparar un equipo portátil de acumuladores y convertidor, para poder utilizar las herramientas eléctricas imprescindibles, como los taladradores, y poder trabajar en condiciones de escasa o nula iluminación natural.

### **3. Provisión del material**

Se deben elegir componentes de marcas acreditadas y, en su caso productos homologados, que ofrezcan las máximas garantías posibles. Téngase en cuenta que el instalador es el primer responsable en caso de fallo de algunos componentes o productos de la instalación y éste ha de exigir a su vez del fabricante o distribuidor las garantías necesarias, las cuales deben quedar perfectamente especificadas y avaladas por escrito antes de confirmarse el pedido.

Es importante tener en cuenta la posible incompatibilidad de los distintos materiales, a fin de tomar las precauciones necesarias. La tornillería y piezas auxiliares estarán protegidas por galvanizado o zincado, o bien serán de acero inoxidable.

También es responsabilidad del instalador asegurarse de que la calidad del agua que va a utilizarse en la instalación es la adecuada.

Otro punto a tener en cuenta es el de asegurarse si el precio de los productos está incluido el de su transporte y, si es así, fijar el lugar de entrega que más convenga, el cual puede ser el almacén o taller del instalador o la propia obra.

La recepción en taller es preferible ya que se dispone de mayores facilidades para una revisión y eventual reposición de las piezas.

El transporte, sea por cuenta del proveedor de los productos o del propio instalador, siempre deberá quedar amparado mediante un seguro de transporte, que cubra posibles accidentes.

Tan pronto como se reciban los materiales deberá procederse a comprobar el buen estado de los mismos para poder efectuar las reclamaciones oportunas en caso, por ejemplo, de presentarse algún colector con la cubierta rota, cosa que sucede con cierta frecuencia.

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

Se debe disponer de un lugar adecuado y seguro para almacenar los materiales y elementos de la instalación hasta el momento en que éstos vayan a ser utilizados.

El acopio de las tuberías se realizará por diámetros y el lugar escogido para su ubicación no será utilizado como paso de personas ni de vehículos. Los tubos estarán apilados en capas separadas por listones de madera, que dispondrán de calzos al final.

Cuando por malas condiciones meteorológicas o por otras causas deban suspenderse los trabajos, se retirarán los materiales o herramientas que puedan desprenderse.

Las zonas de trabajo estarán limpias y ordenadas. El material sobrante de las diferentes tareas se trasladará al almacén.

Especial atención deberá ponerse en la colocación de las cajas que contengan los colectores, por la especial fragilidad de la cubierta de vidrio. Es frecuente que los colectores sean suministrados en jaulas de maderas montadas sobre una base ("palette") adecuada para su traslado mediante "traspalette" o para su elevación con carretilla elevadora. Cada jaula contiene un cierto número de colectores, así que su peso es considerable, usualmente de varios cientos de kilogramos.



En el supuesto de que los colectores, una vez desembalados, deban ser dejados temporalmente a la intemperie, se colocarán con un ángulo mínimo de inclinación de 20° y máximo de 80°, con la cubierta de vidrio en la parte superior, evitándose siempre tanto la posición vertical como la horizontal.

Cuando los colectores se coloquen inclinados 20° ó 30°, se apoyarán independientemente entre sí. Si se colocan inclinados 70° u 80°, podrán descansar uno sobre otro correlativamente hasta llegar a un máximo de 10 colectores.

Se deberán proteger los colectores almacenados de la acción de los rayos solares que pueden hacer que el absorbedor, en ausencia de líquido circulante, alcance temperaturas peligrosas para la integridad del mismo. Esta precaución ha de hacerse extensiva a los períodos en que los colectores estén ya montados pero la instalación aún no se haya puesto en marcha. Las conexiones de los colectores o hileras deben estar abiertas a la atmósfera, pero impidiendo la entrada de suciedad.

Siempre es recomendable efectuar en el taller el ensamblado previo de los elementos de la instalación que ofrezcan esta posibilidad, pues es de suponer que se tendrán mayores facilidades que en la obra (manómetros, bombas, válvulas, etc.). A veces se dispone de una base de montaje o un panel rígido sobre el cual se montan un buen número de elementos y controles, como el vaso de expansión, filtro, bomba, centralita de control, interruptores, conexiones de sonda, etc. Y que se lleva a la obra, efectuándose en ella su conexión a las tuberías del circuito primario, quedando un conjunto compacto y estéticamente logrado.

En el caso de que el vidrio de los colectores no viniese de fábrica ya tratado, y si el presupuesto lo permite, se recomienda aplicar un tratamiento hidrofóbico (repelente al agua), que facilitará las limpiezas periódicas durante toda la vida del colector, al dotar a la superficie de la cubierta de vidrio una mayor resistencia a las manchas y a los arañazos, sin reducir la transmitancia solar de la misma. El proceso consiste en la deposición, mediante vapor aplicado con un aparato apropiado, de sustancias químicas que recubren la superficie del vidrio, adheriéndose fuertemente a ella.

#### **4. Fases del proceso de montaje**

Puede comenzarse por varias partes simultáneamente. Así, mientras se ensambla y se fija la estructura soporte de los colectores, otros operarios pueden proceder al tendido de las tuberías, montaje de las bombas,

conexión del acumulador, etc. La última operación que se recomienda hacer es el montaje de los colectores, para que estén el menor tiempo posible recibiendo radiación sin que la instalación esté funcionando.

Es responsabilidad del instalador orientar perfectamente los colectores hacia el Sur geográfico, así como medir exactamente su inclinación y distancia mínima entre las filas. Para ello efectuará las medidas necesarias y marcará los lugares exactos en donde se dispondrán las filas de colectores y los anclajes.

Una de las primeras fases de todo el proceso de la instalación es la preparación del anclaje para la estructura, operación que debe confiarse a un operario con experiencia en fijaciones similares. Especial cuidado se pondrá en proteger los pasos o perforaciones del tejado mediante un collarín estanco o un material aislante adecuado que impida penetrar el agua de lluvia.

El viento, cuando actúa sobre los colectores por su parte dorsal, puede crear importantes fuerzas de tracción sobre los anclajes, las cuales son las más peligrosas, por lo que habrá que utilizar tacos de expansión apropiados para resistir este tipo de fuerzas. Si la base de anclaje es de hormigón, se preferirá en general tacos de acero, no debiéndose nunca fijar en puntos próximos al borde.

Una vez fijada la estructura sobre los anclajes se procede a ensamblar las diversas piezas de la misma mediante soldadura o bien siguiendo las instrucciones del fabricante de los colectores. Terminada esta operación se protegerá toda la estructura con pintura apropiada, antes de dar la capa definitiva.

*Recomendaciones para el montaje de los diversos componentes:*

- La sujeción de los colectores a la estructura deberá efectuarse de tal forma que resista las cargas del viento y la nieve, pero el sistema de fijación permitirá, si fuese necesario, el movimiento del colector, de forma que no se transmitan esfuerzos de dilatación.
- Cada colector deberá poderse desmontar en caso de rotura o avería efectuando sobre los adyacentes el mínimo de operaciones.
- Para conectar entre sí los colectores se utilizan accesorios metálicos, manguitos flexibles o tubería flexible, debiendo en los dos últimos casos emplear preferentemente accesorios especialmente concebidos para este tipo de conexiones.

- El montaje del resto de los componentes de la instalación (bomba, vaso de expansión, válvulas, etc.) no ofrece dificultad si se siguen las correspondientes instrucciones. Hay que prever un fácil acceso a cada elemento, con objeto de poder proceder a su mantenimiento cuando se precise, así como a su eventual desmontaje.
- Hay que procurar que las placas de características que lleven los equipos no permanezcan ocultas a la vista una vez montados éstos.
- Se recomienda no instalar ninguna válvula con su vástago por debajo del plano horizontal que contiene el eje de la tubería.
- Se recomienda disponer una tubería de derivación con sus correspondientes llaves, salvando aquellos elementos importantes que se puedan averiar y necesiten ser retirados para su reparación.
- No se instalará ninguna válvula de corte que pueda aislar válvulas de seguridad o vasos de expansión y que permita, al mismo tiempo, que el circuito protegido por estos elementos pueda estar bajo presión.
- En el punto más bajo de la instalación se dispondrá una válvula de vaciado, de forma tal que el eventual paso de líquido hacia el desagüe sea claramente visible.
- Los depósitos de expansión descansarán preferentemente sobre sus propios soportes de fijación, anclados en el suelo o en un paramento.
- Las bombas en línea se instalarán preferentemente en la zona menos caliente del circuito, aunque evitando el punto de cota más bajo del mismo. Se posicionarán con el eje de rotación horizontal, y el diámetro de las tuberías de acoplamiento no será inferior al de la boca de aspiración de la bomba.
- Cuando la potencia de las bombas sea superior a 700 vatios deberán instalarse manguitos antivibratorios.
- No hay que olvidar dotar a las bombas de tomas para medición de las presiones en aspiración e impulsión, así como de montar aguas arriba un filtro de malla o tela metálica.
- El termostato diferencial se instalará sobre un paramento u otro emplazamiento adecuado y a una altura tal que resulte cómodamente visible y manipulable.
- El sistema eléctrico y el cableado del mismo será instalado o revisado por un técnico electricista, siendo importante efectuar una adecuada toma de tierra. Las conducciones eléctricas no discurrirán nunca por

debajo de las tuberías para no quedar expuestas a posibles derrames y, en cualquier caso, se distanciarán al menos 30 cm de éstas.

- Los purgadores y separadores de aire se situarán en el punto de mayor temperatura y menor presión del sistema (generalmente a la salida de los colectores), ya que en dicho punto el agua tiene una menor capacidad para disolver el aire que lleve, pudiendo aparecer microburbujas.
- Finalmente se efectuarán las conexiones a la fuente de energía auxiliar a la red de agua fría, y a la red de distribución o suministro.

## **5. Puesta en marcha de la instalación**

### **5.1. Introducción**

Al término del montaje de la instalación se inicia el proceso de puesta en marcha de la misma, lo cual implica realizar una serie de operaciones que son responsabilidad del instalador, toda vez que las instalaciones deben entregarse llenas de fluido y en marcha. Seguidamente es normal que la propiedad o las autoridades competentes exijan la realización de un conjunto de pruebas de recepción o comprobación del correcto montaje y funcionamiento de la instalación. En realidad no deben confundirse ambos aspectos. En todo caso las pruebas de recepción son necesarias para seguridad del propio instalador, con independencia de que alguien las exija.

### **5.2. Operaciones de puesta en marcha de la instalación**

- Limpieza y llenado de la instalación

Es conveniente realizar un primer llenado y drenaje de la instalación con dos objetivos:

- a) Realizar una limpieza de posibles depósitos de suciedad, virutas, etc., introducidas en el circuito durante el montaje.
- b) Detectar y corregir fugas. La operación puede aprovecharse para realizar la prueba de presión descrita más adelante.

Las operaciones de llenado se realizarán con la lentitud suficiente y de la parte más baja a la más alta, para eliminar las bolsas de aire que de

otra forma podrían quedar dentro del circuito dificultando el buen funcionamiento del mismo, y abriendo los purgadores hasta que el fluido inicie la salida, en cuyo momento se cerrarán.

Una vez terminada la operación de llenado se pondrá en marcha el sistema y se tendrá recirculando el fluido un cierto tiempo, para que sean arrastradas las partículas de las tuberías, después de lo cual se vaciará, se procederá a corregir las fugas, si las hubiere, y a continuación se procederá al relleno definitivo de la mezcla de agua y anticongelante si la instalación lo llevase, de la misma manera en que se hizo el primer llenado.

En cuanto al drenaje de la instalación por averías o cambios, hay que tener previsto en la misma un depósito auxiliar de recogida de la mezcla agua-anticongelante, cuyo volumen sea un poco mayor que el volumen de líquido de circuito cerrado, que dado su coste no se debe despreciar.

Los procesos de llenado se describen con más detalle en los puntos siguientes:

- Proceso detallado de llenado y purga del circuito primario en instalación conectada a red con vaso de expansión cerrado
  - a) En instalaciones presurizadas por la red de suministro el circuito primario o de colectores será protegido por un reductor de presión, debiendo tarar éste a la presión necesaria para mantener la presión mínima en el punto más alto de este circuito. Deberá estar provisto de un purgador automático de aire colocado en el punto más elevado, el cual permanecerá abierto hasta la evacuación total del aire contenido en el circuito primario. Para tarar la presión del reductor de presión se cerrará la llave situada inmediatamente detrás, abriendo a continuación el paso de red, y fijando después mediante el tornillo de regulación la presión deseada.
  - b) La válvula de seguridad se suele tarar a la presión máxima de trabajo de los colectores, que casi siempre es el elemento más débil del circuito primario.
  - c) La purga de la bomba de circulación se abrirá antes de arrancarla.
  - d) El vaso de expansión tendrá una presión en frío y en vacío, es decir, sin presión en el tramo que une a éste con la conducción principal, que normalmente será no inferior a 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, debiendo comprobarse dicho valor. El vaso de expansión se colocará en la aspiración de la bomba.

- e) Se comprobará que todas las llaves de paso se encuentran en su posición correcta de apertura o cierre.
- f) Una vez realizadas las operaciones anteriores se procederá a llenar y presurizar el circuito, realizándolo en frío para evitar los tapones de vapor originados por el recalentamiento en seco de los colectores.
- g) Una vez llenado y presurizado, cerrar las purgas de aire y seguir la línea comprobando que no hay fuga en ningún punto.

- Llenado con mezclas anticongelantes

En sistemas cerrados puede preverse una toma en la parte inferior del circuito para la introducción de la mezcla anticongelante, manteniendo durante la operación de llenado abierta la válvula de purga situada en la parte alta del circuito. Para acelerar el proceso, en instalaciones grandes el instalador puede equiparse con una pequeña bomba portátil.

- Comprobación eléctrica de la instalación
  - Poner en posición manual los interruptores de las bombas y resistencias. (Esta prueba puede realizarse cuando el sistema de control dispone de interruptores con tal posición).
  - Todas las bombas de circulación se arrancarán con el correspondiente interruptor de accionamiento en posición manual. Este arranque se efectuará independientemente para cada bomba, con probando el giro del motor y su tensión.
  - En caso de bombas trifásicas se comprobará que el sentido de giro del motor es el señalado por el fabricante.
  - En caso de bombas regulables, comprobar la posición del selector del caudal, de forma que éste sea máximo.
  - Las válvulas se comprobarán midiendo la tensión que les llega, mediante la actuación sobre el control que las gobierna de forma manual, asegurándose que su posición de montaje es correcta.
  - Comprobar que el fusible de protección de cada elemento es el adecuado.
  - Se colocarán todos los interruptores de accionamiento en posición automático.
  - Se arrancará cada una de las bombas, válvulas motorizadas y resistencias eléctricas, actuando sobre cada uno de los termostatos diferenciales o simples que las gobiernan.

- Para arrancar un elemento actuado por un termostato diferencial, se cortocircuitará la sonda que represente la mayor temperatura.
- Ajuste del caudal de los circuitos

En los sistemas por bombeo el caudal del circuito primario se ajustará por el procedimiento siguiente:

La instalación de la bomba deberá incluir un par de manómetros (o un manómetro diferencial) situados a la entrada y salida de la misma, con un rango similar a la presión generada por la bomba (usualmente 0-4 kp/cm<sup>2</sup>).

Para facilitar la regulación del caudal se utilizarán preferentemente bombas con varias posiciones de velocidad. Cuando se utilicen bombas sin esta posibilidad, se instalará un by-pass con una llave de regulación que permita desviar hacia la entrada de la bomba parte del caudal; sin embargo, en este caso, no es posible conocer con precisión el caudal en el circuito, excepto cuando la llave de by-pass está totalmente cerrada.

Cuando se utilizan bombas regulables y con la instalación en marcha en la posición de regulación de la bomba dando mínimo caudal, se tomará la indicación de los manómetros, y con la diferencia de ambos valores ( $P_2 - P_1$ ) se entrará en la curva de actuación de la bomba, proporcionada por el fabricante. Si el caudal es suficiente, el circuito está regulado, en caso contrario se pasará a la posición siguiente de regulación y se comprobará de nuevo el caudal. Siguiendo este procedimiento, se utilizará la posición de regulación de la bomba que proporcione el caudal más cercano al de diseño.

- Equilibrado de los circuitos

Al hacer el interconexionado de los colectores es necesario equilibrar la longitud de las tuberías de entrada y salida de los colectores, con el fin de que el recorrido del fluido sea el mismo para todos ellos y de esta manera funcionen en idénticas condiciones.

En la práctica, además de realizar la instalación de la forma que se ha indicado, suelen crearse a propósito pérdidas de carga adicionales con el fin de subsanar los errores de cálculo. Estas pérdidas de carga adicionales se crean por dos procedimientos:

- a) El primero de ellos consiste en disminuir la sección de los conductos de entrada de los colectores por medio de una arandela. Este procedimiento es aplicable a aquellos casos en los que la pérdida de carga propia del colector es muy pequeña. El propio fabricante de los colectores es quien debe determinar el tamaño de la arandela que debe instalarse.
- b) El segundo procedimiento consiste en instalar llaves de paso en la entrada y salida de las baterías de colectores y regular el paso del fluido hasta que la pérdida de carga medida en cada batería sea la misma para todas ellas.

Este segundo procedimiento tiene el inconveniente de ser más caro y laborioso que el primero, pero en cambio tiene la ventaja de que las mediciones se realizan sobre la propia instalación, consiguiéndose un mejor funcionamiento de ésta.

### 5.3. Pruebas de recepción

- Prueba de estanqueidad

Con el fin de comprobar su estanqueidad, todas las tuberías y accesorios, deben probarse bajo una presión hidrostática no inferior a 1.5 veces la presión nominal del circuito.

El proceso de prueba se ajustará a la norma UNE 100.151 "Pruebas de estanqueidad en redes de tuberías".

La prueba se realizará en cualquier caso antes de aislar las tuberías y antes de que éstas queden ocultas por obras de albañilería.

Durante la prueba de presión estática, para conocer y establecer las presiones a que se ensaya cada componente, es necesario tener en cuenta las diferencias de presión debidas a la altura relativa de cada uno de ellos. Con sistemas grandes en edificios altos, con colectores en cubierta y el depósito en el sótano, estas diferencias pueden ser de gran importancia.



En todo caso la prueba se dirige fundamentalmente a la comprobación del montaje de tuberías, toda vez que los componentes vienen ensayados de fábrica. La presión de prueba debe ser inferior a la presión de tarado de la válvula de seguridad, si bien en ocasiones, a efectos de pruebas parciales, parte del sistema puede ser aislado cerrando válvulas de corte, como en el caso de grandes instalaciones.

Para la prueba lo normal es usar una bomba hidráulica de fontanería.

- Prueba de funcionamiento o calentamiento

No existe una prueba simplificada universalmente aceptada. A falta de una normalización con más fundamento, puede bastar como prueba de calentamiento verificar que en un día claro, sin efectuar consumos de agua, las bombas arrancan por la mañana, en un tiempo prudencial, y paran al caer la tarde, obteniéndose una elevación correcta de la temperatura en el depósito.

La prueba puede acortarse reduciéndola a las tres o cuatro horas centrales del día, partiendo con agua fría en el tanque, debiéndose detectar un incremento de la temperatura en un día claro no inferior a 20° C.

- Prueba de circulación del fluido

La prueba consiste en alimentar eléctricamente las bombas, bien directamente o bien con accionamiento manual cuando éste existe, comprobando que entran en funcionamiento y que el incremento de presión indicado por los manómetros es el que corresponde, según la curva de actuación de la bomba, al caudal de diseño del circuito.

- Pruebas de accesorios

Conviene comprobar que las válvulas de seguridad funcionan y que sus tuberías de conexión a la atmósfera no están obstruidas. El proceso se realizará durante la prueba de presión del circuito, incrementando la presión delante de la válvula de seguridad hasta

alcanzar un valor de 1.1 veces la presión de tarado, comprobando que la válvula abre.

Debe comprobarse que las válvulas de corte, llenado, vaciado y purga de la instalación actúan correctamente.

## **6. Aislamiento de la instalación**

Solamente después de finalizadas todas las pruebas y corregidas las posibles deficiencias se procederá al aislamiento de la instalación. Hay que tener en cuenta que una vez efectuado éste, si se observan fugas o cualquier otra anomalía que obligue a desmontar algunas piezas, esto exigiría también el levantamiento del aislante, con la consiguiente pérdida de tiempo. Así pues, es necesario dejar la operación del aislamiento para el final.

Algunas reglas básicas que han de aplicarse escrupulosamente si se desea que la ejecución del trabajo sea perfecta son:

- Utilizar herramientas en perfecto estado, especialmente cuchillos bien afilados y buenas brochas.
- El adhesivo ha de estar fresco.
- Las coquillas que muestran forma ovalada han de rajarse siempre por el lado más plano.
- Limpiar el material de posibles restos de aceite o agua, así como del polvo que ensucie su superficie.
- Aplicar medidas exactas.
- Las juntas a pegar entre coquillas deben estar siempre sometidas a presión, nunca a tracción.
- No se instalará jamás el aislamiento en elementos que estén en servicio. Realizado el aislamiento, no poner en servicio la instalación antes de haber transcurrido 36 horas, a fin de permitir el endurecimiento total del pegamento.
- El aislamiento flexible instalado a la intemperie se protegerá inmediatamente.

En cuanto a los productos que hay que preparar antes de proceder a la ejecución del aislamiento citaremos los siguientes:

- Adhesivo especialmente indicado por el fabricante del material aislante.
- Disolvente especial para el adhesivo, a fin de limpiar las superficies a pegar y las herramientas.

- Pintura protectora elástica. Es imprescindible en la intemperie y, al existir en diversos colores, juega también un papel decorativo.
- Pintura de protección anticorrosiva de cromato de zinc (para acero negro).
- Detergente para las pinturas protectoras.

Los adhesivos contienen soluciones agresivas. No se adhieren sobre asfalto, bitumen o minio, sino que tienden a disolverlos. Ha de emplearse alternativamente como antioxidante la imprimación de cromato de zinc.

El detergente debe ser compatible químicamente con el adhesivo, por lo que deberá usarse siempre las marcas recomendadas por el fabricante del aislamiento.

## **7. Entrega de la instalación**

Las últimas fases de la instalación, tras completar el aislamiento, suelen ser las de protección de las tuberías y accesorios expuestos a la intemperie con recubrimientos y pinturas especiales, o mejor aún con envolturas rígidas de aluminio, PVC o algún otro material apropiado.

El recubrimiento del aislamiento se ejecutará dejando amplio solapes para evitar el paso de la humedad. Las juntas se sellarán de forma que el conjunto quede impermeable e inalterable a la intemperie.

Aquellos tramos en que la tubería no precise aislamiento, como los ramales de suministro o distribución del agua fría, pueden dejarse acabados de diversas formas.

El cobre admite bien la pintura formando una superficie lisa. También se pueden dejar las tuberías pulidas, niqueladas o cromadas, aunque tales operaciones exigen su desmontado después de colocarlas, por lo que será necesario ensamblarlas con accesorios desmontables.

Si las tuberías van a quedar pulidas, han de ser desengrasadas con gasolina una vez finalizada la operación de pulido y revestidas, a pistola o pincel, con un barniz acrílico incoloro que garantice su conservación.

Una vez finalizadas todas estas operaciones, el instalador procederá a una última revisión final con la instalación en marcha, inspeccionando todas sus partes y comprobando su correcto funcionamiento.

Si todo funciona perfectamente, la instalación puede ser ya entregada a su titular o al contratista de la obra, quien firmará la correspondiente conformidad. Previamente deberán haberse cumplido todos los trámites y requisitos legales que pudieran existir y realizado las pruebas que el director de obra considerase pertinentes a entera satisfacción del mismo.

Antes de realizar el acto de recepción se efectuará una completa y cuidadosa limpieza de toda la instalación, retirando los restos de materiales que hayan quedado en los alrededores de la obra.

En el momento de la entrega de la instalación, el director de la obra hará también entrega al titular de la misma del Proyecto de Ejecución, en el que se relacionarán todos los equipos empleados indicando su marca, modelo, características y fabricante, con planos y esquemas. Además, el instalador habrá confeccionado un completo Manual de Instrucciones, que como mínimo deberá contener:

- Un esquema de la instalación en el que cada aparato sea fácilmente identificado.
- Instrucciones concretas de manejo y seguridad.
- Instrucciones sobre las operaciones de conservación y mantenimiento.
- Frecuencia y formas de limpiar los aparatos.
- Límites de dureza tolerados para el agua de alimentación de la instalación e instrucciones sobre el equipo de tratamiento del agua, cuando éste exista.

El Manual de Instrucciones deberá contener cuantas recomendaciones, consejos, límites de uso, etc. Sean convenientes para reconocimiento del usuario o del futuro encargado de la instalación.

En las instalaciones de cierta importancia debe dejarse una placa en la que, de forma indeleble, figure un esquema del funcionamiento de la instalación.

Una vez realizado el acto de recepción, la responsabilidad sobre el uso y mantenimiento de la instalación recae sobre la propiedad de la misma, sin perjuicio de las responsabilidades contractuales que, en concepto de garantía, hayan sido pactadas y que obliguen a la empresa instaladora.

En cualquier caso es una norma recomendable que el instalador, transcurridas una o dos semanas de uso pleno de la instalación, vuelva a realizar una inspección de la misma, para comprobar su correcto funcionamiento. En este plazo de tiempo el usuario o encargado de la instalación procurará recoger y anotar todos los datos posibles sobre su rendimiento, observando los valores indicados por los aparatos de medida,

con el propósito de ayudar al instalador en la evaluación de los resultados de la instalación.

## **8. Mantenimiento preventivo**

Un mantenimiento adecuado es tan importante como un montaje correcto para la duración de una instalación solar y para obtener un adecuado servicio. Sin embargo, en una instalación bien diseñada son pocos los aspectos que tienen una influencia vital en las actuaciones o la vida del sistema. Por el contrario, las instalaciones mal diseñadas o mal instaladas, o con componentes defectuosos, serán una fuente continua de problemas.

La correcta actuación de una instalación bien diseñada, depende fundamentalmente de que esté bien llena de agua y bien purgada. Si la instalación es por bombeo, el sistema de control debe estar bien calibrado, si bien es más difícil que falle el control que el que la instalación coja aire o pierda agua. Finalmente, si la instalación está situada en un lugar frío, con fuertes heladas, habrá que vigilar cuidadosamente el estado del anticongelante si la instalación tiene este sistema para prevenir la congelación del agua. No podemos olvidar que es un sistema poco seguro y que ha sido la causa de muchos problemas.

Otro aspecto es la duración del sistema y la previsión anticipada de averías a largo plazo, que un mantenimiento preventivo y sobre todo una inspección visual pueden aumentar y evitar, según el caso.

Por estas razones, vamos a dividir el mantenimiento del sistema en dos niveles:

- Mantenimiento u operaciones a realizar por el usuario.
- Mantenimiento a realizar anualmente por el instalador.

Finalmente y a modo de tercer nivel, podrían comentarse determinadas operaciones de mantenimiento o control, que un usuario interesado podría hacer con beneficio para la instalación, en cuanto a la actuación o la duración, pero que no pueden considerarse imprescindibles en absoluto.

El problema de la corrosión, y los medios para tratar de evitarla o al menos de reducirla en lo posible, será objeto de un estudio separado.

## 8.1. Mantenimiento u operaciones a realizar por el usuario

El usuario debe, imprescindiblemente, realizar dos operaciones de control y mantenimiento periódico.

- Comprobar periódicamente la presión del circuito, indicada por un manómetro situado en la parte baja del circuito, preferiblemente antes de la bomba.  
La comprobación puede realizarse en frío, esto es, preferiblemente por la mañana temprano. Cuando la presión baja del valor establecido por el fabricante, que normalmente es de 1.5 kp/cm<sup>2</sup>, en sistemas cerrados el usuario debe rellenar el circuito abriendo la llave de conexión a red. En sistemas con vaso de expansión abierto debe inmediatamente averiguarse la causa del fallo del sistema de relleno.
- Purgar periódicamente el sistema, eliminando la posible presencia del aire en los botellines de desaireación.  
Es difícil establecer el período idóneo de revisión, pero, en todo caso, no parece que éste deba ser superior a un mes.

Por otro lado, el usuario debe conocer las operaciones mínimas necesarias para la actuación del sistema. En este sentido tenemos:

- a) Arranque y parada del sistema
- b) Operación de los termostatos de control de temperatura, cuando el sistema incluye energía auxiliar, calentamiento de espacios, piscinas o control de la temperatura de salida del agua.

## 8.2. Mantenimiento a realizar por personal especializado

El mantenimiento se ha programado para realizarse anualmente, al principio del invierno. Las instalaciones solares funcionan por ciclos anuales, con las mayores temperaturas en verano y el peligro de congelación en invierno. El período de un año parece suficiente para una instalación bien diseñada.

- Operaciones imprescindibles de mantenimiento

- a) Control anual del anticongelante

El mantenimiento implica las operaciones de control de la proporción de anticongelante residual en el sistema y el relleno en caso necesario.

El control de la proporción de anticongelante puede efectuarse por dos procedimientos:

- Control de la densidad

El sistema se basa en medir la densidad de una muestra de anticongelante tomada, por ejemplo, abriendo un momento la válvula de seguridad y llenando un vaso de los normales de agua. Se comprobará que no existe una variación superior al 20% respecto a la medida tomada con una muestra de la mezcla anticongelante en las proporciones correctas. La variación se medirá respecto a las indicaciones del densímetro en agua limpia y en agua con la proporción correcta de anticongelante.

- Control visual

Se basa en la comparación entre el color de la mezcla correcta de anticongelante y agua y el color de la mezcla tomada en el momento en que se desea controlar el estado del anticongelante. Lógicamente el procedimiento se fía en la apreciación del observador y está sujeto a mayores errores. Sin embargo puede ser suficientemente exacto si se compara con muestras del anticongelante en diversas proporciones.

La adición de anticongelante puede realizarse vaciando una parte del agua del circuito, rellenando con anticongelante puro en la proporción adecuada, y completando con agua del circuito. Conviene accionar manualmente las bombas para lograr un mezclado adecuado.

Es aconsejable realizar la operación al principio del invierno, en previsión de las heladas y considerando que el verano es la época de mayores pérdidas de agua en los sistemas.

b) Comprobación de la presión y el llenado del circuito

La operación, ya descrita, se realizará al término del llenado con anticongelante, o como una operación independiente y de gran importancia en los sistemas sin anticongelante. En equipos pequeños, como los compactos unifamiliares, esta operación puede consistir en comprobar en frío que el sistema está lleno de agua.

c) Purgado del circuito

El purgado implica las operaciones:

- Comprobación de la presencia de aire en los botellines, actuando los purgadores manuales o automáticos. Es necesario comprobar que solo sale agua por el purgador.
- Cebado de las bombas. Esta operación se realiza con la bomba en marcha, desatornillado el tapón existente en la parte posterior del cuerpo de la bomba circuladota, presionando el eje, dejando salir el aire y cerrando el tapón nuevamente. El cebado termina cuando la indicación del manómetro de la bomba es correcto y la aguja no vibra.

d) Comprobación de la presión del aire del vaso de expansión cerrado

Con un manómetro manual se comprobará la presión del aire en vasos de expansión cerrados. La medida se realizará con el circuito frío y las bombas paradas, procurando cerrar las llaves de corte del lado de las bombas y del circuito anterior al vaso, de forma que éste quede aislado y eliminando la presión del circuito.



La presión del aire no debe ser inferior a 1.5 kp/cm<sup>2</sup>, o la especificada por el instalador.

e) Calibración del sistema de control

Este es un punto de suma importancia en los sistemas por bombeo. Básicamente la calibración comprueba que el intervalo entre el punto de corte y activación del sistema de control por los sensores caliente y frío coincide con la diferencia prevista de temperaturas. El procedimiento concreto depende del tipo de sistema y se sale de los límites de este curso, debiendo ser indicado por el fabricante del control.

Se comprobará que los sensores están situados en su posición correcta y firmemente fijados.

f) Comprobación del funcionamiento automático de las bombas de la instalación

Se colocarán todos los interruptores de accionamiento en posición automático.

Se arrancará cada una de las bombas, válvulas motorizadas y resistencias eléctricas, actuando sobre cada uno de los termostatos diferenciales o simples que las gobiernan.

Para arrancar un elemento actuado por un termostato diferencial, se cortocircuitará la resistencia que represente la mayor temperatura.

- Inspecciones visuales y comprobaciones

El mantenimiento preventivo debe incluir los siguientes aspectos:

a) Comprobación del aislamiento; especialmente de las tuberías y accesorios situados a la intemperie. Debe repararse cualquier rotura del aislamiento o su protección que deje al descubierto la tubería o permita la entrada de agua de lluvia. La pintura

protectora de los aislamientos, tipo espuma de foam, debe cubrir correctamente el material.

- b) Inspección visual detallada de los colectores, siendo especialmente importante los siguientes aspectos:
- Comprobación de la estanqueidad del colector al agua de lluvia. La presencia de agua de lluvia debe ser controlada y evitada, ya que constituye el mayor peligro para la vida del colector.
  - Rotura de la junta del cristal del colector. El deterioro de las juntas normalmente implica materiales inadecuados.
  - Juntas de las salidas de las conexiones del colector y el cofre en mal estado.
  - Caja del colector deformada; las deformaciones de la caja del colector conducen a la rotura del cristal.
  - Deformación del aislamiento interior; normalmente implica la entrada de agua en el colector.
- c) Se actuará sobre todas las válvulas manuales, de corte, llenado, vaciado y purga, comprobando su funcionamiento.
- d) Se comprobará que las válvulas manuales de seguridad funcionan y que las tuberías no están obturadas y en conexión con la atmósfera.
- e) Se comprobará que el ruido de las bombas es normal.
- f) Se comprobarán los filtros de la instalación.

### 8.3. Operaciones de limpieza o mantenimiento no regulares

Determinados aspectos, como el polvo o suciedad sobre el colector, pueden tener una importancia relativa según, por ejemplo, el lugar. En el caso de la suciedad no suele afectar al rendimiento en más de un 5%, y basta con las lluvias para reducir su efecto, pero puede ser aconsejable su limpieza periódica. En cualquier caso no debe incluirse este aspecto, y otros similares, en el mantenimiento periódico, y dejarlo al buen entender del usuario. Es

aconsejable, sin embargo, especificar el procedimiento, porque un lavado a presión del cristal del colector puede ser mucho más peligroso que el polvo.

Algunas operaciones de este tipo son:

- El propietario o usuario se asegurará que el colector y el acumulador están siempre correctamente llenos de agua.
- Durante los períodos en que el sistema solar de agua caliente no está en funcionamiento y cuando no haya otra alternativa para limitar la temperatura del agua incorporada, deberá cubrirse el colector con el fin de minimizar la corrosión y la formación de sales en los tubos del absorbedor. Cubrir el colector es también recomendable durante los largos períodos en que el consumo de agua es mínimo.
- En áreas extremadamente sucias, tales como ciudades mineras, áreas sujetas a lluvia de polvo, o lugares adyacentes a fábricas que producen polvo, la cubierta transparente del colector deberá ser lavada con agua limpia al menos cada tres meses, si durante este período no ha llovido. Cubiertas deterioradas o rotas deberán ser sustituidas inmediatamente por el servicio de mantenimiento.
- Las sombras producidas por arbustos y árboles deberán ser comprobadas anualmente en verano e invierno, y si fueses preciso se recomienda una acción correctiva, por ejemplo, podando o cortando. La sombra proyectada por edificios de nueva construcción deberá ser tomada en cuenta, y si afectara a algunos colectores, sería necesario colocarlos en otro lugar.
- Es conveniente una rutinaria inspección de las juntas en la cubierta de cristal del colector, así como una inspección general de las demás juntas, para asegurar la estanqueidad de la instalación.
- Es aconsejable una rutinaria inspección ocular de la superficie del absorbedor. En el caso de un deterioro significativo de dicha superficie, el propietario o usuario acordará con el instalador, fabricante o sus agentes, hacer la necesaria reparación.
- Comprobar que las ventilaciones de las líneas de descarga y de drenaje de la instalación están limpias de obstrucciones y libres para operar en todo momento.
- Las válvulas de descarga equipadas con mando serán accionadas como rutina, un cierto número de veces y por breves instantes. El máximo período recomendado sin ser accionadas es de tres meses en lugares de aguas blandas. Estas operaciones serán más frecuentes

en áreas donde los depósitos producidos por el agua sean considerados problemáticos.

- Comprobar los controles de temperatura del agua en el sistema de calentamiento suplementario.
- Asegurar los colectores contra daños y contra ciclones o heladas.

## **9. Localización y reparación de averías**

### **9.1. Conceptos generales**

Para el estudio del tema establecemos una diferencia entre averías del sistema, entendiendo por tal a los fallos capaces de impedir el funcionamiento del mismo o reducir de forma importante su rendimiento, y deterioros o degradaciones de la instalación, que si de forma inmediata no impiden el funcionamiento del sistema ni afectan a su rendimiento, en breve plazo pueden inutilizar la instalación, caso de no ser reparados.

### **9.2. Averías más frecuentes en los sistemas solares de bajas temperaturas**

La presencia de averías en el sistema es normalmente detectada con rapidez por el usuario a través de los siguientes síntomas:

- a) El rendimiento de la instalación baja apreciablemente o desaparece, esto es, con días soleados la temperatura del depósito solar sube poco o no sube, y el sistema de energía auxiliar, si lo hay, funciona excesivo tiempo.
- b) Aparecen fugas de agua en el circuito.
- c) El sistema de energía auxiliar no arranca y en días sin sol la instalación no calienta.
- d) Los recibos de energía auxiliar son excesivos.
- e) La instalación genera ruidos anormales; bien porque alguna de las bombas se hace demasiado ruidosa, bien porque se oye hervir el agua de los colectores.

Estos fallos de funcionamiento son la consecuencia de alguna de las siguientes averías:

- Las bombas no funcionan

Cuando con días soleados la temperatura del depósito solar no sube, debe comprobarse el funcionamiento de las bombas, accionándolas manualmente, si el sistema lleva esta posibilidad, o alimentándolas directamente. Es necesario entonces comprobar los siguientes puntos:

- Si alguna bomba no arranca en manual, deben realizarse las siguientes comprobaciones:
  - a) Comprobar si el suministro de la red es correcto.
  - b) Comprobar los fusibles de la bomba en el cuadro eléctrico.
  - c) Comprobar que la bomba no está atascada.
  - d) Comprobar los contactos eléctricos y el campo eléctrico.

Si la bomba continúa sin funcionar debe ser sustituida.

- Si las bombas arrancan en manual y dan presión, el sistema de control no funciona y deben hacerse las siguientes comprobaciones:
  - a) Comprobar que las sondas no están sueltas en sus respectivos alojamientos.
  - b) Comprobar los fusibles del sistema de control.
  - c) Asegurar que ningún terminal está suelto.
  - d) Comprobar la calibración del conjunto de control y las sondas. Si el control sigue sin hacer actuar las bombas, debe sustituirse la unidad de control y las sondas si fuera necesario.

- Baja presión en el circuito estando frío y parado

Una causa frecuente del bajo rendimiento de una instalación es la falta de agua en el sistema, bien por fugas en el circuito, bien por una falta de mantenimiento. La presión debe comprobarse estando fría el agua del circuito, por ejemplo al principio de la mañana, y con las bombas paradas. Si el manómetro situado en la parte baja del circuito señala presiones inferiores a las mínimas definidas en el diseño

(normalmente 1.5 kp/cm<sup>2</sup> más la altura manométrica del sistema), es necesario realizar las siguientes comprobaciones:

- a) Comprobar el grupo de llenado cuando está en automático. Estos grupos y la válvula anti-retorno fallan con gran facilidad.  
En todo caso, y aunque el grupo funcione, es preferible dejar aislada la red del circuito primario mediante una válvula de corte y comprobar periódicamente la presión del sistema, rellenando con agua si fuera preciso.
  - b) Si el circuito tiene vaso de expansión abierto y se observa baja presión, debe comprobarse el nivel en el vaso. Si es normal, debe mirarse si la tubería de unión al circuito está obturada. Si no hay agua en el vaso, comprobar la válvula de flotador.
  - c) Llenar y purgar el circuito. Observar si hay fugas de líquido. Comprobar la presión del aire en el vaso de expansión si es cerrado.
- Las bombas funcionan pero el caudal y la presión son insuficientes

Cuando se dan las siguientes condiciones:

- En días soleados el sistema no calienta suficientemente el depósito.
- Con el sistema parado y frío, el manómetro da una indicación normal de la presión del circuito.
- La bomba arranca en manual y automático.
- La presión proporcionada por las bombas no es suficiente y los manómetros fluctúan.

Deberán realizarse las siguientes comprobaciones:

- a) Comprobar que la posición del selector de velocidades de la bomba es la correcta.
- b) Purgar la bomba, comprobando una posible bolsa de aire en la misma.
- c) Determinar que la bomba funciona correctamente.

En caso necesario se sustituiría la bomba.

- Las bombas funcionan dando presiones altas y caudales bajos

Cuando se dan las siguientes condiciones:

- En días soleados el sistema no calienta suficientemente el depósito.
- Con el sistema parado y frío, el manómetro da una indicación normal de la presión del circuito.
- La bomba arranca en manual y automático.
- La presión proporcionada por la bomba del circuito primario o secundario es más alta de lo previsto, y consecuentemente, el caudal es más bajo.

Deberán realizarse las siguientes comprobaciones:

- a) Determinar el punto de funcionamiento de la bomba, pues esto nos indicará si el caudal se ha reducido a cero o en un cierto porcentaje.
- b) Si el caudal del primario o secundario se ha reducido a cero, existe una obstrucción al flujo en las tuberías, los colectores o el cambiador; debe abrirse el circuito y proceder a su limpieza.
- c) Si el caudal se ha reducido en el circuito primario, existe una obstrucción parcial en las tuberías, los colectores o el cambiador. Algunos indicios pueden ayudar a saber en qué caso estamos:
  - Tocando la superficie de los colectores, la presencia de altas temperaturas son indicios de bajos flujos de agua en algún colector.
  - Si la temperatura del cambiador de calor es igual a la entrada y a la salida, no está transmitiendo calor y estará sucio u obstruido en el otro circuito.

En caso necesario se procederá a efectuar una limpieza del circuito, de acuerdo con las especificaciones del fabricante de los colectores y cambiadores de calor.

- Fugas de líquido en el circuito

La existencia de fugas en el circuito no inducen necesariamente a una reducción del rendimiento, si el sistema de rellenado funciona correctamente. En todo caso es necesario repasar de forma inmediata

las fugas, especialmente en el primario, donde normalmente suponen una pérdida de anticongelante e inhibidores.

- Funcionamiento excesivo de la válvula de seguridad

Cuando se detecta que la válvula de seguridad actúa con frecuencia e incluso permanece continuamente abierta, dejando fluir un pequeño caudal, deberán realizarse las siguientes comprobaciones:

- a) Comprobar la presión del aire del vaso de expansión cerrado.
- b) Comprobar si la válvula se queda abierta después de actuar. En caso necesario se procederá a sustituir la válvula en el vaso de expansión.

- El quemador auxiliar de gas o fuel no arranca

Esta situación puede deberse a dos causas:

- Falta de presión de agua en la red de suministro.
- Avería del quemador

Este problema debe resolverse de acuerdo con las especificaciones del fabricante del quemador.

- Rotura del cristal del colector

Se procederá a su reparación inmediata, por personal especializado y de acuerdo con las especificaciones del fabricante para el caso.

- Rotura de la junta de la cubierta del colector o de las jaulas de salida de los tubos del colector

Se procederá a su reparación inmediata. Debe recordarse que la entrada de agua al colector es un punto de extrema importancia para la vida del mismo.



Se utilizará personal especializado y las especificaciones del fabricante.

- Rotura del material aislante, dejando acceso a tuberías o componentes

Se procederá a su reparación en el menor tiempo posible.

- Ruidos anormales en la bomba

Se procederá a comprobar el cebado del circuito y, si el ruido persiste, se desmontará y revisará la bomba.

### 9.3. Deterioro y degradaciones de inmediata reparación

Deberá procederse lo antes posible a la reparación de los deterioros o degradaciones que a continuación se detallan, ya que estos problemas terminarían en breve plazo afectando gravemente al funcionamiento de la misma:

- a) Entrada de agua en el colector, entre el absorbente y el cristal, como consecuencia de una pérdida de la estanqueidad en la unión cobertura-carcasa o de las juntas de salida de tuberías. Este es quizás el más grave de los problemas.
- b) Rasgado, rotura o deterioro del aislamiento o su protección en la parte exterior del circuito.
- c) Deformación de la caja del colector por esfuerzos térmicos.
- d) Deformaciones de tendidos de tubería por tensiones térmicas.

### 9.4. Operaciones de revisión de componentes del circuito

- Desbloqueo de bombas
  - a) Quitar el tapón que cubre el final del eje en la parte posterior de la bomba.

- b) Hacer girar el rotor con la ayuda de un destornillador, introduciéndolo en la ranura que tiene el eje en su extremo, hasta que éste se suelte y la bomba gire.
- c) Volver a montar el tapón u obturador de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

En caso de no girar el eje de la bomba debe procederse a su sustitución.

- Purgado de la bomba  
La operación es la misma que la anterior, basta quitar el tapón de la parte posterior de la bomba, y con ésta en marcha dejar que salga el aire, cerrando el tapón cuando se observa que sale agua sin burbujas de aire y la indicación de los manómetros es correcta y sin pulsaciones.
  
- Determinación del caudal proporcionado por la bomba

Se seguirán los siguientes pasos:

- a) Con la bomba parada se anota la presión del circuito.
- b) Con la válvula de salida cerrada se arranca la bomba y se anota la presión de salida de la misma.
- c) La diferencia de las presiones determinadas en a) y b) corresponde a la altura manométrica de la bomba para caudal nulo.
- d) En la curva de actuación de la bomba se sitúa sobre el eje de ordenadas la presión calculada en c). Esta debe corresponder con la curva perteneciente a la posición seleccionada para la velocidad de rotación de la bomba. En caso contrario se traza por este punto una curva paralela a la de actuación prevista.
- e) Se abre la válvula de salida de la bomba y se anota la presión del manómetro.
- f) La diferencia de las presiones anotadas en a) y e) corresponde al punto de funcionamiento. Esta presión se sitúa en la curva indicada en d) y se determina el correspondiente valor del caudal real de la bomba.

- Calibración del control

El proceso depende del tipo de control y debe ajustarse a las especificaciones del fabricante. El instalador únicamente establece el valor del salto diferencial de temperatura entre el colector y depósito para el arranque y parada de las bombas. Este valor, a falta de datos más concretos proporcionados por el fabricante de los colectores, puede fijarse entre 4 y 6 °C.

- Limpieza del circuito

- a) Limpieza del cambiador de calor de placas

- Se abrirá el cambiador de acuerdo con las indicaciones del fabricante y procurando no deteriorar las juntas.
- Los depósitos formados sobre las placas se pueden limpiar con un cepillo y un chorro de agua caliente. No deben utilizarse cepillo de acero o estropajo de acero.
- Si la suciedad no desaparece, se tratará con una solución de sosa cáustica o una mezcla de agua y detergentes sintéticos. Después de la limpieza las placas se enjuagan cuidadosamente con agua fría.
- Los depósitos calcáreos pueden eliminarse golpeando suavemente la placa.
- Los depósitos que contienen silicatos cálcicos o magnésicos son difíciles de quitar. Pueden eliminarse tratando las placas frías durante 5-10 minutos por inmersión en una solución de ácido nítrico al 10%. Las placas se enjuagarán posteriormente. Finalmente, y para contrarrestar el ácido, las placas se lavarán con una disolución de carbonato sódico, solución de sosa y se enjuagarán con agua pura. Debe cuidarse especialmente que el ácido no actúe sobre las juntas.

- b) Limpieza de tuberías y colectores

- Se tratarán con agua a presión (inferior a la nominal del panel) y con disolventes normales para la limpieza de tuberías y accesorios de fontanería, cuidando de la compatibilidad del producto con las juntas y materiales del circuito.

## 9.5. Desmontaje de un colector

A veces, reemplazar el colector es la forma más práctica de resolver una avería, sobre todo si ésta afecta al elemento absorbedor, ya que su reparación in situ es difícil y no hay seguridad de que quede perfectamente después de la intervención.

En los casos en que los colectores estén soldados entre sí, hay que cortar con una sierra para metales, poniendo especial cuidado en no dañar las boquillas de unión de los colectores adyacentes al dañado. Si los colectores están unidos por una pieza de unión soldada, hay que calentar con la llama para quitar, una vez efectuado el corte, el trozo de la pieza de unión que quede en la boquilla del colector sano, utilizando un protector de calor para evitar dañar las piezas de material delicado que puedan existir en las cercanías del orificio de la boquilla.

Al manejar el soldador, téngase muy presente que los glicoles y otros fluidos pueden arder si quedan expuestos a la llama. Siempre hay que drenar totalmente los colectores antes de proceder a eliminar las soldaduras, quitando asimismo los tapones de los purgadores, con una súbita llamarada en el momento de la desunión.

Si los colectores están unidos mediante manguitos de unión especialmente suministrados por el fabricante, hay que procurar mantenerlos intactos para el caso de que, por no encontrar fácilmente dichas piezas, haya que volverlos a emplear en el montaje del nuevo colector.

Si, una vez desmontado el colector averiado, optamos finalmente por reparar el absorbedor en taller, es imprescindible que, antes de volver a montarlo, lo sometamos a una prueba de presión durante al menos una hora, mediante aire a una presión igual a la de la válvula de seguridad de la instalación.

Valladolid, Febrero de 2015

Fdo: Andrea Hernández Campillo

# **CÁLCULOS**

## 1. Pérdidas en los captadores

La orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites de la siguiente tabla. En todos los casos se han de cumplir tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores óptimos.

	<i>Orientación e inclinación (OI)</i>	<i>Sombras (S)</i>	<i>Total (OI+S)</i>
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

Se considerarán tres casos: general, superposición de captadores e integración arquitectónica. Se considera que existe integración arquitectónica cuando los captadores cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales. Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio.

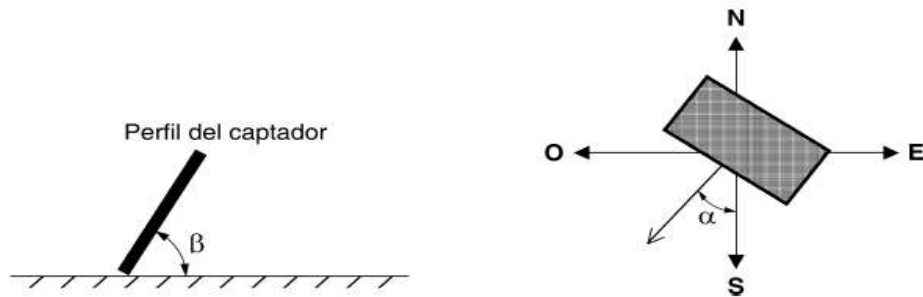
Este proyecto se trata de un **caso general**, ya que los captadores tendrán una inclinación diferente a la del tejado y no cumplen ninguna función arquitectónica.

### 1.1. Pérdidas por orientación e inclinación

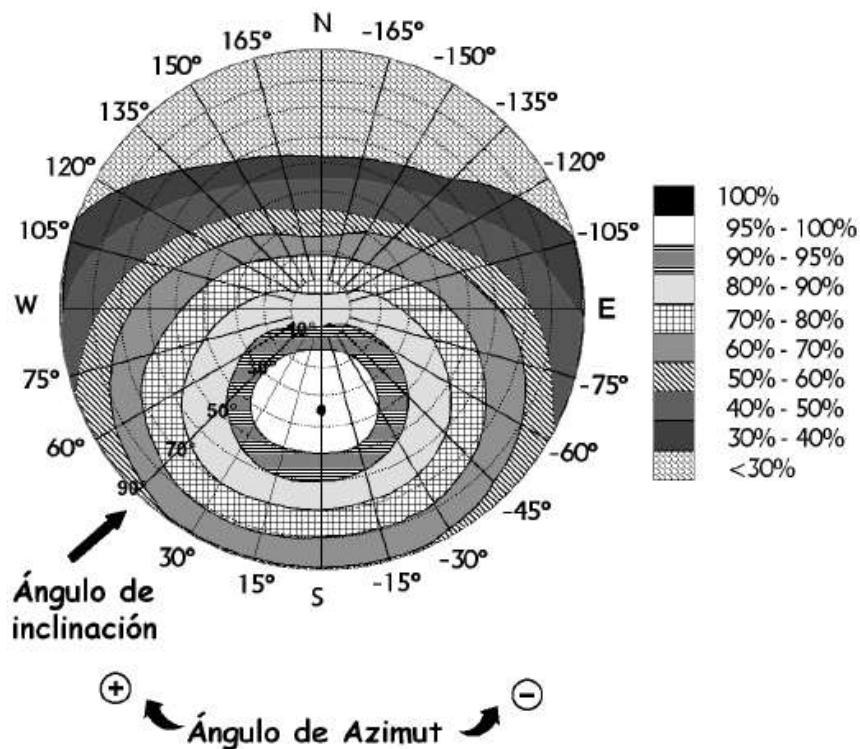
Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:

- Ángulo de inclinación,  $\beta$ , definido como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal. Su valor es  $0^\circ$  para captadores horizontales y  $90^\circ$  para verticales.

- Ángulo de azimut,  $\alpha$ , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar. Valores típicos son  $0^\circ$  para captadores orientados al Sur,  $-90^\circ$  para captadores orientados al Este y  $+90^\circ$  para captadores orientados al Oeste.



Habiendo determinado el ángulo de azimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida. Para ello se utilizará la siguiente figura:



Esta figura es válida para una la latitud ( $\Phi$ ) de  $41^\circ$ , y se utilizará de la siguiente forma:

- Conocido el azimut, determinamos en la figura los límites para la inclinación en el caso  $\Phi = 41^\circ$ . Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10 %, para superposición, del 20 % y para integración arquitectónica, del 40 %. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de azimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.
- Si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores para latitud  $\Phi = 41^\circ$  y se corrigen de acuerdo con lo que se cita a continuación.

Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de  $41^\circ$ , de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Inclinación máxima} &= \text{inclinación } (\Phi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}); \\ \text{Inclinación mínima} &= \text{inclinación } (\Phi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}); \text{ siendo } 0^\circ \text{ su valor mínimo.} \end{aligned}$$

En casos cerca del límite y como instrumento de verificación, se utilizará la siguiente fórmula:

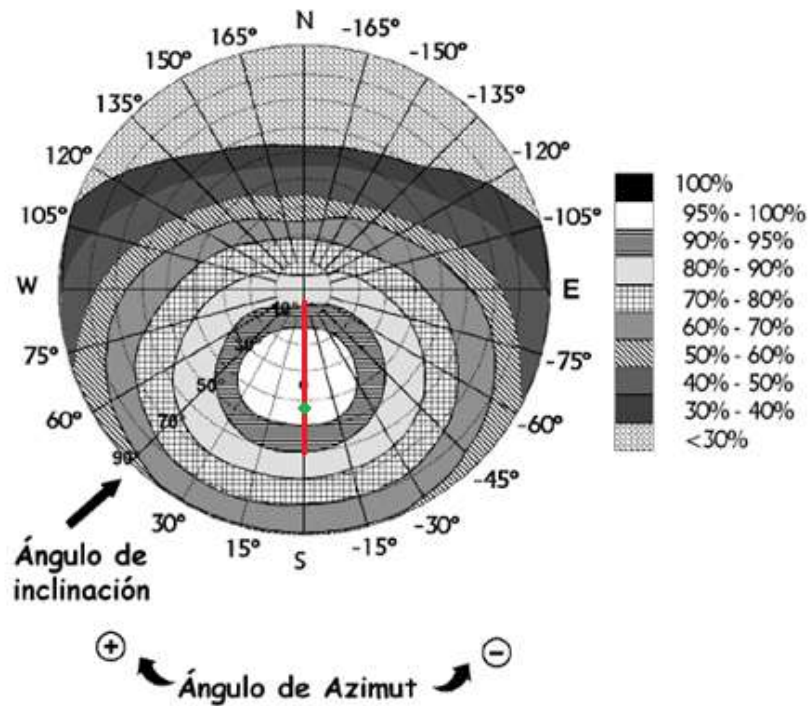
$$\begin{aligned} \text{Pérdidas (\%)} &= 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ \\ \text{Pérdidas (\%)} &= 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2] \quad \text{para } \beta \leq 15^\circ \end{aligned}$$

#### CÁLCULO:

Los captadores solares tendrán un ángulo de inclinación  $\beta$  de  $42^\circ$  y un ángulo de azimut  $\alpha$  de  $0^\circ$ . Al tratarse de pérdidas para un caso general, como mucho puede haber un 10% de pérdidas.

Determinamos en la figura los límites para la inclinación para el caso de  $\Phi = 41^\circ$ . Los puntos de intersección del límite de pérdidas del 10% (borde exterior de la región 90 % -95 %), máximo para el caso general, con la recta de azimut nos proporcionan los valores:





Tras hallar la recta de intersección (línea roja) se observa que, aproximadamente, el ángulo de inclinación máxima es de 60°, y el ángulo de inclinación mínima, 7°. Por lo tanto, la inclinación elegida ( $\beta=42^\circ$ ) está dentro del límite permitido.

Además, la inclinación elegida está dentro del rango de pérdidas del 95-100% (punto verde). Por lo tanto, se considerara que las pérdidas máximas por inclinación y orientación son del 5%.

## 1.2. Pérdidas por sombras

El único obstáculo que se puede considerar que proporciona sombras a la instalación es el Centro de Salud construido a la izquierda, el cual tiene dos plantas, una más que el centro Aspace. Para determinar el porcentaje de sombras que produce, se utilizará el método descrito a continuación.

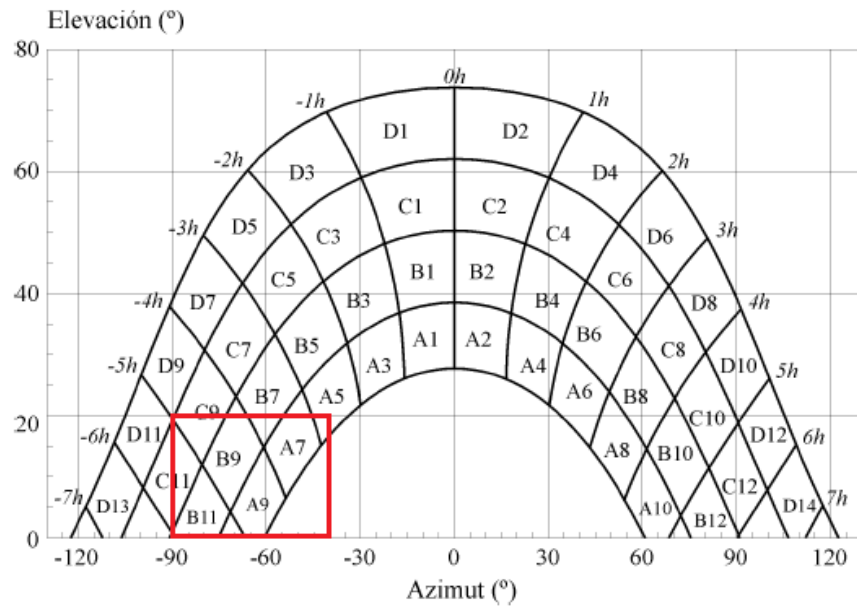
El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias aparentes del Sol. Lo primero que hay que hacer es hallar las coordenadas de azimut y elevación con respecto del centro Aspace. Para ello hallamos estos valores sobre un mapa:



La S indica la dirección Sur. Según las líneas amarillas, se puede afirmar, que el Centro de Salud produce sombras entre un grado de azimut de 40 y 90°, aproximadamente. Como elevación se tomará unos 20°, ya que hay bastantes metros de distancia con respecto del campo de colectores y el edificio estudiado no es mucho más alto que el del presente proyecto.

A continuación, se hace la representación del perfil de obstáculos en el diagrama de la figura siguiente, en el que se muestra la banda de trayectorias del Sol a lo largo de todo el año, válido para localidades de la Península Ibérica y Baleares (para las Islas Canarias el diagrama debe desplazarse 12° en sentido vertical ascendente). Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2,... D14).

## Cálculos



Se señala la zona afectada (porciones A5, A7, A9, B7, B9, B11, C9 y C11) y a continuación se elige la tabla más adecuada, dentro de las que ofrece el Pliego de Condiciones Técnicas, con respecto a la inclinación y orientación de los captadores solares. Los números que figuran en cada casilla se corresponden con el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.

Se ha elegido la tabla para un ángulo  $\beta$  de  $35^\circ$  y un ángulo  $\alpha$  de  $0^\circ$ .

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

Por último, se multiplica el número que aparece en cada porción por su factor de llenado más próximo, siendo éstos 0,25, 0,5, 0,75 ó 1.

$$0,25 * A5 + 0,75 * A7 + 1 * A9 + 0,25 * B7 + 0,75 * B9 + 1 * B11 \\ + 0,5 * C9 + 0,5 * C11$$

$$0,25 * 1,84 + 0,75 * 1 + 1 * 0,13 + 0,25 * 0,95 + 0,75 * 0,41 + 1 * 0,01 \\ + 0,5 * 0,62 + 0,5 * 0,12 = 2,2 \approx 2\%$$

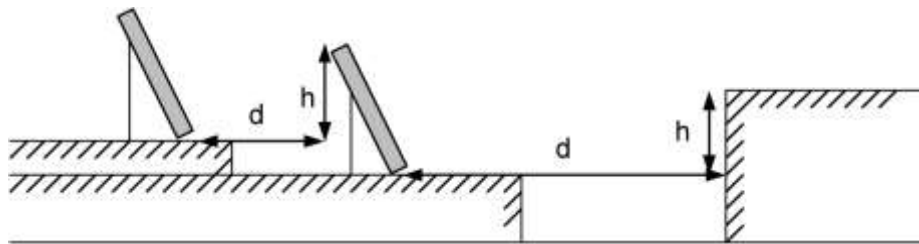
Las pérdidas por sombras serán en torno al 2%.

## 2. Distancia mínima entre filas de captadores

La distancia  $d$ , medida sobre la horizontal, entre una fila de captadores y un obstáculo de altura  $h$ , que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia  $d$  será superior al valor obtenido por la expresión:

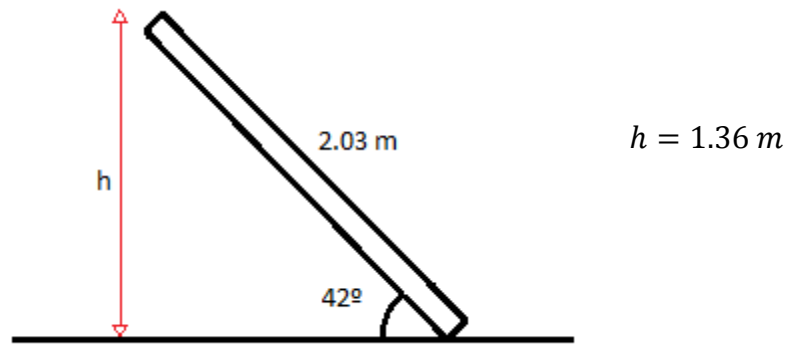
$$d = h / \tan (61^\circ - \text{latitud})$$

donde  $1 / \tan (61^\circ - \text{latitud})$  es un coeficiente adimensional denominado  $k$ .



La separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente no será inferior a la obtenida por la expresión anterior, aplicando  $h$  a la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la siguiente, efectuando todas las medidas de acuerdo con el plano que contiene a las bases de los captadores.

Dado que el captador solar elegido tiene una longitud de 2.03 metros, y la inclinación es de  $42^\circ$ , mediante relaciones trigonométricas se halla la altura  $h$ .



Y, por tanto, la distancia mínima entre filas de colectores será:

$$d = \frac{1,36}{\tan(61 - 42)} = 3,9 \text{ metros}$$

### 3. Peso del sistema de captación

Es importante asegurarse de que la estructura del edificio soporta los elementos de la instalación. Según los planos de obra facilitados por el arquitecto la cubierta está asentada sobre un forjado de losa maciza de hormigón armado, que posee una capacidad de sobrecarga en reposo de 3,5 kN/m<sup>2</sup>.

La carga máxima que se produce puede estimarse de la siguiente manera:

- Peso propio de los captadores

Según indica el fabricante, el peso de cada colector en funcionamiento es de 52,77 kg. Como hay 14 colectores, el peso total ejercido por estos elementos será de 738,89 kg, que equivale a unos 7,25 kN.

- Peso de la estructura soporte

Para cada captador, su estructura soporte, incluyendo todos los elementos de anclaje y los muretes de hormigón sobre los que irán apoyados, se estima en torno a unos 150 kg. En total serán unos 2100 kg, que equivale a unos 20,6 kN.

- Fuerzas producidas por el viento

Se calculan de la siguiente forma:

$$f = p * S * \text{sen } \alpha$$

Siendo

$f$ : fuerza ejercida por el viento

$p$ : presión frontal del viento, correspondiente aproximadamente a 1 kN/m<sup>2</sup>, para una velocidad de 150 km/h, según la tabla 7 del Anexo II.

$S$ : superficie total de colectores en m<sup>2</sup>

$\text{sen } \alpha$ : ángulo de inclinación de los captadores.

Por lo tanto, se obtiene una fuerza de:

$$f = 1 * 32,2 * \text{sen } 42 = 21,4 \text{ kN}$$

- Sobrecargas de nieve

Se calcula igual que para las rachas de viento. La carga máxima de nieve permitida puede ser de 1,25 kN/m<sup>2</sup>. Por tanto:

$$f = 1,25 * 32,2 * \text{sen } 42 = 26,9 \text{ kN}$$

La carga total, que es la suma de los cuatro puntos anteriores, será de unos 76,15 kN, y la superficie de captación es aproximadamente de 75 m<sup>2</sup>. Es decir, que la carga total máxima que puede llegar a ejercerse es de, más o menos, 1 kN/m<sup>2</sup>, inferior a la estructura de la cubierta. Con lo cual, se verifica la capacidad portante del suelo.

## 4. Sistema de acumulación

Se recomienda que el volumen del depósito de acumulación, en litros, sea aproximadamente la carga de consumo diaria. Dado que el consumo diario es de unos 3000 litros, se utilizará un acumulador de esta capacidad.

Además, el sistema de acumulación debe de cumplir la siguiente condición:

$$50 < V/A < 180$$

donde  $A$  será el área total de los captadores, expresada en m<sup>2</sup>, y  $V$  es el volumen del depósito de acumulación solar, expresado en litros.

Dado que el área total es de 32,2 m<sup>2</sup>, si elegimos un acumulador de 3000 litros:

$$\frac{V}{A} = \frac{3000}{32,2} = 93$$

Sí se cumple la condición.

## 5. Sistema de intercambio

Para intercambiadores integrados en el sistema de acumulación, la superficie útil del serpentín debe cumplir la siguiente condición:

$$S > 0,15 * A$$

Donde S es la superficie útil del serpentín y A es el área total de los captadores. Como el área total de captación es de 32,2 m<sup>2</sup>, la superficie del serpentín debe ser como mínimo de 4,8 m<sup>2</sup>.

## 6. Tuberías

La tubería tendrá una longitud total de unos 93 metros, medida sobre el plano. Una vez sabida la longitud, hay que hallar el diámetro de la misma y su pérdida de carga.

### 6.1. Diámetro de las tuberías

Una primera estimación del diámetro se hace a partir de la siguiente fórmula:

$$D = jC^{0,35}$$

Siendo:

D: diámetro en cm

C: caudal en m<sup>3</sup>/h

J: 2,2 para tuberías metálicas y 2,4 para tuberías plásticas

El caudal de las tuberías dependerá del caudal que circule por los captadores. Según el fabricante del captador solar elegido, el caudal es de 50 l/h·m<sup>2</sup>. Como el área total que captación es de 32,2 m<sup>2</sup> el caudal total será de 1610 l/h, ó 1,61 m<sup>3</sup>/h.

Ahora bien, el caudal no será el mismo en todo su recorrido, ya que en la conexión de los captadores, al estar las filas en paralelo, no circula el mismo caudal entre cada fila. Es decir, se pueden considerar tres tramos: el primero, que va de la salida de los captadores a la entrada de éstos; el segundo, que va de la primera fila de captadores a la segunda; y el tercero, que va de la segunda fila a la tercera.

Así, una primera estimación del diámetro de las tuberías sería:

➤ Primer tramo

El caudal que circula es el total, 1,61 m<sup>3</sup>/h. Por tanto:

$$D = 2,2 * 1,61^{0,35} = 2,6 \text{ cm} = 26 \text{ mm}$$

Se tomará el diámetro normalizado más próximo por exceso (de la tabla 8 del Anexo II), que es de 28 mm. Tiene un espesor de 1,5 mm, por tanto, el diámetro interior será de 25 mm.

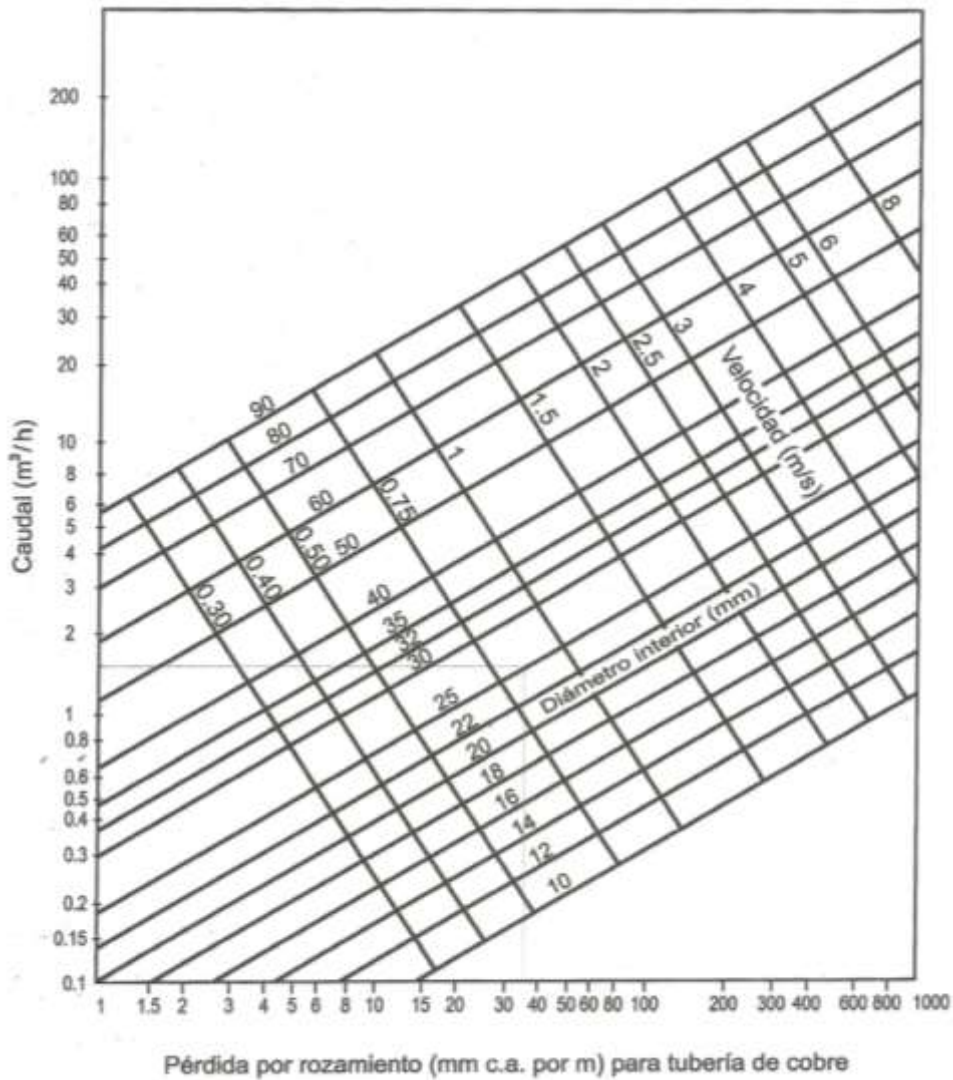
A continuación hay que comprobar que el diámetro elegido cumpla con las dos condiciones que exige el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE:

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

A partir de la siguiente gráfica se comprueba que el diámetro elegido cumple con los dos requisitos anteriores:



## Cálculos



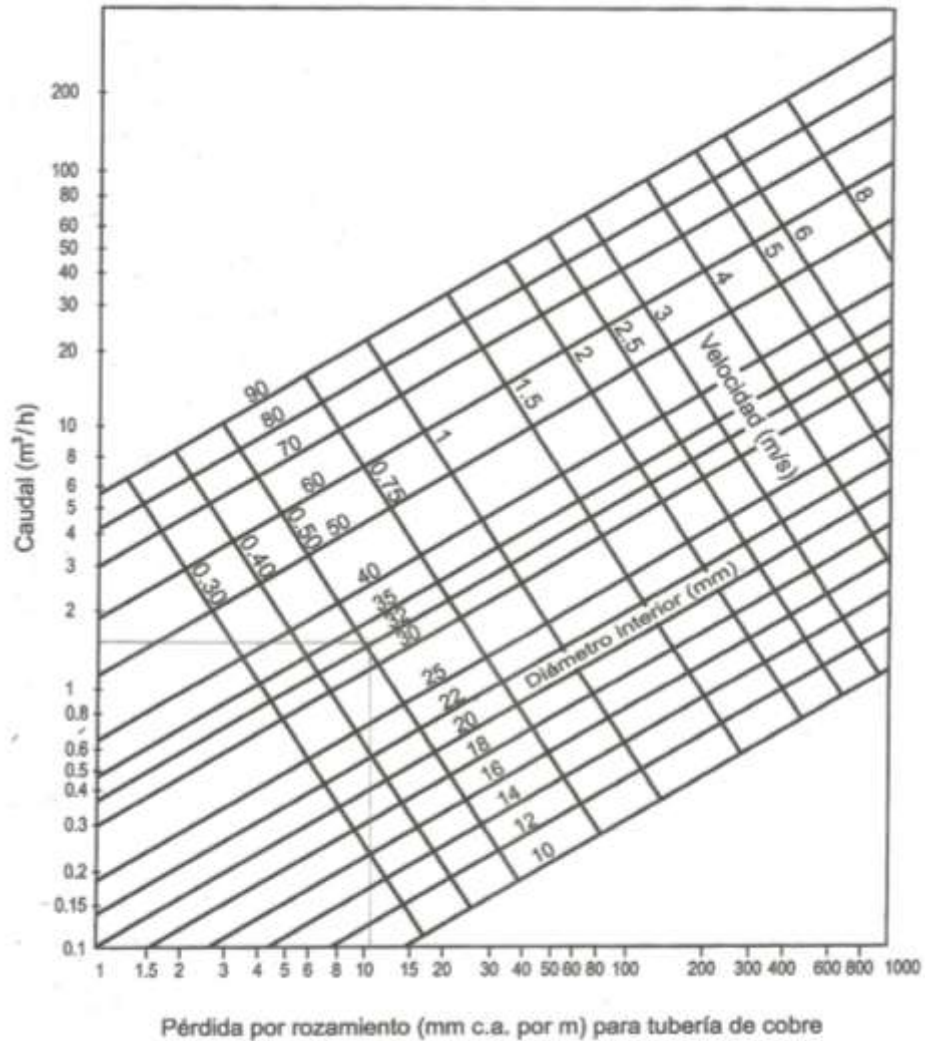
Se entra en el eje de ordenadas de la gráfica con un valor de 1,61 m<sup>3</sup>/h y se halla el punto de intersección con la recta de 25 mm de diámetro interior. Los datos obtenidos son una pérdida de carga por rozamiento de 38 mm de c.a. por m (menor que 40), y una velocidad de unos 0,85 m/s (menor que 2 m/s).

Pero, como el fluido no es sólo agua, hay que aplicar un factor de corrección igual a la raíz cuarta del cociente entre la viscosidad de la disolución y la del agua a la temperatura considerada (45°C). Estos valores se sacan de la tabla 15 del Anexo II.

$$f = \sqrt[4]{\frac{1,8}{0,57}} = 1,33$$

## Cálculos

Así, la pérdida de carga por rozamiento es de 50 mm de c.a. por m, superior a los 40 permitidos. Por lo tanto, este diámetro no es válido y hay que elegir el siguiente, que es de 35 mm de diámetro exterior, y 32 mm de diámetro interior.



Volvemos a repetir el mismo procedimiento de antes, pero buscando la intersección con la recta de 32 mm de diámetro. Se obtiene una pérdida de carga de 11 mm de c.a. por m que, multiplicado por el factor antes hallado, da una pérdida de carga final de 14,63 mm de c.a. por m.

La velocidad es de, aproximadamente, 0,5 m/s. Esta velocidad puede hallarse más exactamente mediante la siguiente fórmula:

### Cálculos

$$v = \frac{C}{\pi * \frac{D^2}{4}} = 0,55 \frac{m}{s}$$

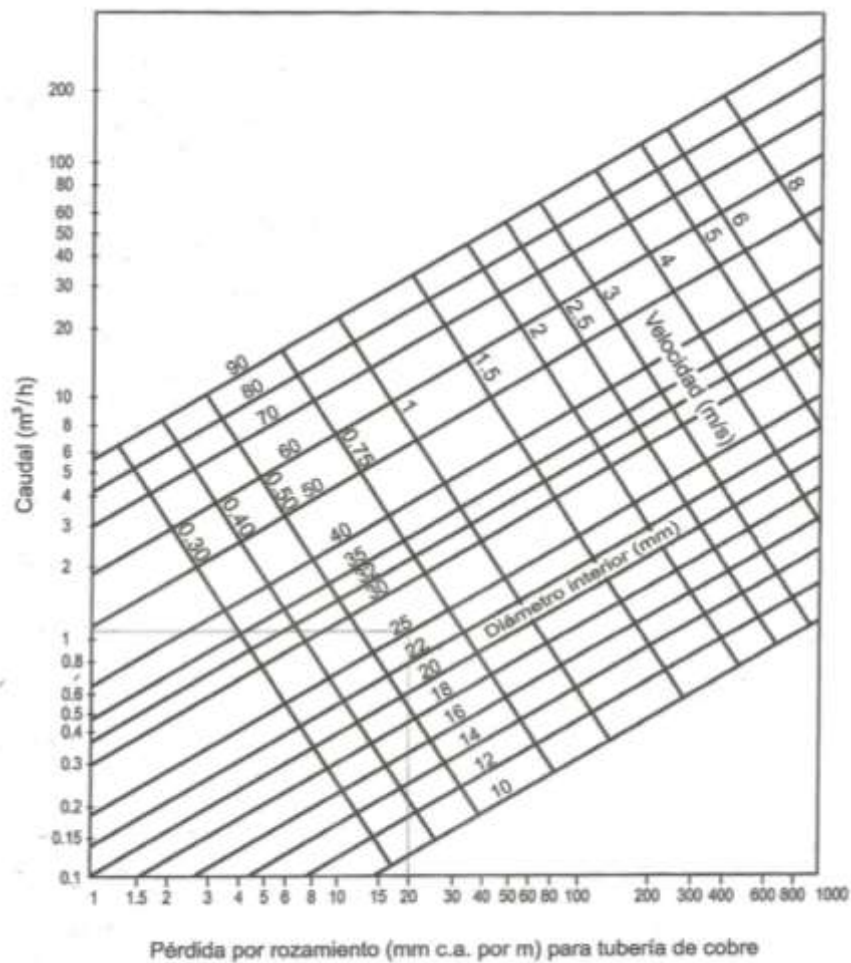
Por tanto, el diámetro elegido para este primer tramo de tubería es el de 35 mm.

#### ➤ Segundo tramo

Por este tramo ya se han dejado cuatro colectores atrás, con lo cual quedarán diez colectores con una superficie de 23 m<sup>2</sup> y un caudal de 1150 l/h, ó 1,15 m<sup>3</sup>/h. Por tanto el diámetro será:

$$D = 2,2 * 1,15^{0,35} = 2,3 \text{ cm} = 23 \text{ mm}$$

Tomamos como diámetro exterior el de 28 mm, con un diámetro interior de 25 mm, y repetimos el proceso anterior:



### Cálculos

Se obtiene una pérdida de carga de 20 mm de c.a. por metro, que, multiplicada por el factor, da una pérdida de carga de 26,6 mm de c.a. por metro, inferior a los 40 permitidos. La velocidad del fluido será:

$$v = \frac{C}{\pi * \frac{D^2}{4}} = 0,65 \frac{m}{s}$$

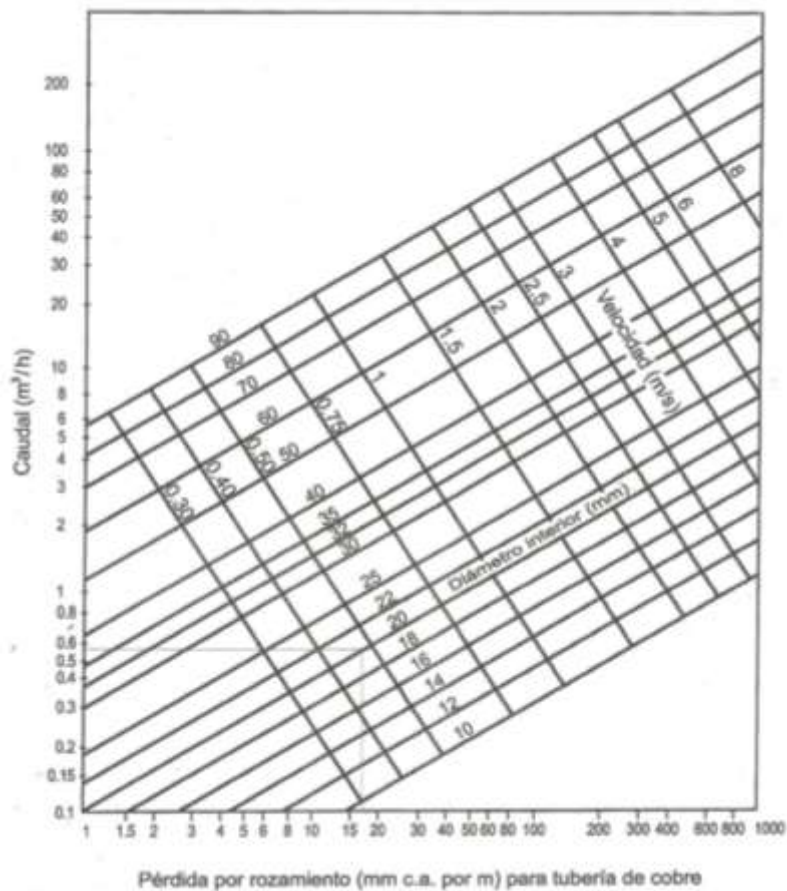
Por tanto, el diámetro elegido para el segundo tramo de tubería es el de 28 mm.

#### ➤ Tercer tramo

En este tramo solo quedan por recorrer cinco colectores, que tendrán una superficie total de 11,5 m<sup>2</sup> y pasará un caudal de 575 l/h, ó 0,575 m<sup>3</sup>/h. Por tanto el diámetro será:

$$D = 2,2 * 0,575^{0,35} = 1,8 \text{ cm} = 18 \text{ mm}$$

Tomamos como diámetro exterior el de 22 mm, con un diámetro interior de 20 mm, y volvemos a repetir el mismo proceso:



Se obtiene una pérdida de carga de 17 mm de c.a. por metro, que, multiplicada por el factor antes hallado, nos da una pérdida de carga de 22,6 mm de c.a. por metro, inferior a los 40 permitidos. Además, la velocidad del fluido será:

$$v = \frac{C}{\pi * \frac{D^2}{4}} = 0,5 \frac{m}{s}$$

Por tanto, el diámetro elegido para este tercer tramo de tubería es el de 22 mm.

## 6.2. Pérdida de carga en las tuberías

Una forma simplificada pero bastante exacta para hallar las pérdidas de carga locales es el método de la longitud equivalente. Este método consiste en que cada obstáculo (válvulas, estrechamientos, codos...) lleva asociado un valor  $K$  que corresponde a su pérdida de carga en metros. Este valor  $K$  puede ser suministrado por el fabricante o, sino se dispone de este dato, se tomarán unos valores recomendados en tablas.

Según el esquema de la instalación, a continuación se muestran los obstáculos y su longitud equivalente  $L_E$ .

Denominación del accesorio	Cantidad	$L_E$	Total
Codos de 90°	16	1.5	24
Codos de 45°	6	0.7	4.2
Contracciones bruscas 2:1	2	0.7	1.4
Ensanchamientos bruscos 1:2	2	1.1	2.2
Derivación en T	4	2.2	8.8
Válvula de esfera	7	1	7
Válvula de resorte	1	1	1
Válvula de asiento	4	5	20
Válvula de clapeta	1	10	10
		Total	78.6

La longitud virtual de la tubería será la suma de la longitud real más la longitud equivalente, es decir:

$$L = 93 + 78.6 = 171,6 \text{ metros}$$

Como pérdida de carga por metro tomamos la media de las tres halladas anteriormente para cada uno de los tramos, y se tiene una carga de 21 mm de c.a. por metro. Por tanto:

$$\Delta P = 21 * 171,6 = 3603,6 \text{ mm de c. a.} = 3,6 \text{ m de c. a.}$$

## 7. Bomba de recirculación

La potencia de la bomba puede calcularse a través de la siguiente ecuación:

$$W = \frac{C * \Delta P}{\rho * \eta}$$

Siendo:

$W$ : potencia de la bomba (W)

$C$ : caudal (kg/s)

$\Delta P$ : pérdida de carga total (Pa)

$\rho$ : densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$\eta$ : rendimiento

El caudal, como ya se ha calculado antes, es de 1,61 m<sup>3</sup>/h, que pasado a las unidades indicadas, es de 0,4472 kg/s.

La densidad a 45°C de la mezcla de agua con propilenglicol al 40% es de 1,016 g/cm<sup>3</sup>, o lo que es lo mismo, 1016 kg/m<sup>3</sup>, según la tabla 10 del Anexo II.

El rendimiento, para bombas en instalaciones de pequeña potencia, se puede estimar en torno a un 25%.

La pérdida de carga total se calcula sumando la pérdida de carga de la tubería, la de los colectores y la del interacumulador. A continuación se hallan cada una de esas pérdidas:

➤ Pérdidas en las tuberías

Como ya se ha calculado en el apartado 6.2., estas pérdidas son de 3,6 m de c.a.

➤ Pérdidas en los colectores

Esta pérdida de carga no es simple de calcular. De una forma bastante estimada se puede hallar utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta P_c = \frac{\Delta P * N * (N + 1)}{4}$$

Siendo:

$\Delta P_c$ : pérdida de carga del grupo de  $N$  colectores en paralelo.  
 $\Delta P$ : pérdida de carga por colector. Dado que el fabricante no nos da este dato, se puede obtener de otro fabricante, de un colector con la misma distribución interna de conductos y geoméricamente semejante. Elegimos una pérdida de carga de 25 mm de c.a.

Para los grupos de 5 colectores:

$$\Delta P_c = \frac{25 * 5 * (5 + 1)}{4} = 187,5 \text{ mm de c. a.}$$

Y para el grupo de 4 colectores:

$$\Delta P_c = \frac{25 * 4 * (4 + 1)}{4} = 125 \text{ mm de c. a.}$$

Como hay dos grupos de 5 colectores y un grupo de 4, la pérdida total de carga en los colectores será de 500 mm de c.a., es decir, 0,5 m de c.a.

➤ Pérdidas en el interacumulador

Estas pérdidas suelen ser muy pequeñas. A falta de datos del fabricante, asignaremos una pérdida total  $\Delta P_i$  de 1 m de c.a.

Por lo tanto, la pérdida de carga total será de:

$$\Delta P = \Delta P_t + \Delta P_c + \Delta P_i = 3,6 + 0,5 + 1 = 5,1 \text{ metros de c. a.}$$

Que equivale a 49980 Pascales (1 mca=9800 Pa).

Una recomendación que propone "CENSOLAR" es que, si la pérdida total fuera de más de 7 metros de c.a. habría que replantear las medidas de la instalación. Dado que las pérdidas en este caso son menores de 7 metros de c.a., se puede considerar que se ha diseñado la instalación de forma adecuada.

La potencia de la bomba será:

$$W = \frac{0,4472 * 49980}{1016 * 0,25} = 88 \text{ W}$$

## 8. Vaso de expansión

Para instalaciones de ACS resulta sencillo utilizar la siguiente fórmula que la práctica recomienda:

$$V = V_t(0,02 + 0,01h)$$

Siendo

V: volumen del vaso de expansión

V<sub>t</sub>: volumen total que circula por la instalación

h: diferencia de altura entre el punto más alto del campo de colectores y el depósito de expansión (m), que es de unos 6 metros.

El volumen total que circula por la instalación es:

- Volumen por los captadores

Según el fabricante, el contenido de cada colector es de 1,64 litros. Como hay 14 colectores, el volumen total será de 22,96 litros.

- Volumen por el serpentín

El fabricante nos dice que la superficie de intercambio es de 5 m<sup>2</sup>, y el diámetro del serpentín es de 2" (50,8 mm).



Teniendo en cuenta que:

$$Sintercambio = 2 * \pi * r * L = 5 \text{ m}^2 \rightarrow L = 31,33 \text{ metros}$$

Por tanto, el volumen será:

$$Vi = \pi * r^2 * L = 63,5 \text{ litros}$$

➤ Volumen por las tuberías

○ Primer tramo

Tiene una longitud de unos 55,2 metros, y un diámetro interior de 32 mm. Por lo tanto:

$$Vtub = \pi * r^2 * L = 44,4 \text{ litros}$$

○ Segundo tramo

Tiene una longitud de unos 15 metros, y un diámetro interior de 25 mm. Por lo tanto:

$$Vtub = \pi * r^2 * L = 7,4 \text{ litros}$$

○ Tercer tramo

Tiene una longitud de unos 22,8 metros, y un diámetro interior de 20 mm. Por lo tanto:

$$Vtub = \pi * r^2 * L = 7,2 \text{ litros}$$

El volumen total que circula por la instalación es la suma de todos los volúmenes anteriores, y es de 145,46 litros.

Por lo tanto, el volumen mínimo del vaso de expansión será:

$$V = Vt(0,02 + 0,01h) = 11,6 \text{ litros}$$

## 9. Aislamiento

En cuanto al espesor del aislamiento de tuberías y depósito acumulador hay que seguir una serie de normas marcadas por el RITE:

➤ Depósito acumulador

No debe ser inferior a 35 mm. El depósito interacumulador elegido tiene un espesor de aislamiento de 70 mm, con lo cual se cumple la normativa.

➤ Tuberías

Para tuberías que discurran por el interior, el espesor será como mínimo el que se indica en la tabla siguiente, en función del diámetro de la tubería y de la temperatura del fluido caloportador:

Fluido interior caliente			
Diámetro exterior (mm) (*)	Temperatura del fluido (°C) (**)		
	40 a 60	61 a 100	101 a 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 de la tubería sin aislar.

(\*\*) Se escoge la temperatura máxima de red.

Para tuberías que discurran por el exterior, el espesor del aislamiento se incrementará en 10 mm como mínimo respecto a los valores de la tabla anterior.

Para materiales con conductividad térmica  $\lambda$ , en W/(m·K), distinta de 0,04, el espesor mínimo  $e$  (en mm) que debe usarse se determinará, en función del espesor de referencia  $e_{ref}$  (en mm) de la tabla anterior, aplicando las siguientes fórmulas:

- Aislamiento de superficies planas:

$$e = e_{ref} \frac{\lambda}{\lambda_{ref}}$$

- Aislamiento de superficies cilíndricas:

$$e = \frac{Di}{2} \left[ \exp \left( \frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \ln \frac{Di + 2e_{ref}}{Di} \right) - 1 \right]$$

donde  $e$  es el espesor del aislamiento buscado,  $e_{ref}$  es el espesor de referencia,  $Di$  es el diámetro interior de la sección circular, “exp” es la función exponencial (exp), y  $\lambda$  y  $\lambda_{ref}$  son las conductividades térmicas respectivas.  $\lambda_{ref}$  tiene como valor 0,04.

Para las tuberías se utilizará el aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR HT de la compañía “Salvador Escoda”. Dicho aislamiento tiene un coeficiente de conductividad  $\lambda$  de 0,039 W/m·K.

Las tuberías, como ya se ha hallado, tendrán un diámetro exterior de 35, 28 y 22 mm, todos menores o iguales que 35 mm. El fluido tendrá una temperatura de 45°C. Con estos datos y según la tabla anterior, el espesor para las tuberías interiores debe ser como mínimo de 25 mm, y para las exteriores, 35 mm. Pero, como el material empleado tiene una conductividad térmica distinta de 0,04 W/m·K, según la fórmula anterior el espesor debe ser:

$$\begin{aligned} \text{Tuberías interiores: } e &= \frac{25}{2} \left[ \exp \left( \frac{0,039}{0,04} \ln \frac{25 + 2 * 25}{25} \right) - 1 \right] \\ &= 23,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tuberías exteriores: } e &= \frac{25}{2} \left[ \exp \left( \frac{0,039}{0,04} \ln \frac{25 + 2 * 35}{25} \right) - 1 \right] \\ &= 33,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

Por lo tanto, de las posibilidades que nos ofrece el fabricante, elegiremos el tubo de espesor 30 mm y diámetro 35 mm para el tramo de tubería interior, y el tubo de 40 mm de espesor para el tramo exterior, con un diámetro de 35, 28 y 22 mm, para cada tramo de tubería.

Valladolid, Febrero de 2015

Fdo: Andrea Hernández Campillo

# **PRESUPUESTO**

## 1. Coste total

### PARTIDA 1: MATERIAL SOLAR

Concepto	Cantidad	Precio unitario €	Precio TOTAL €
Captador solar OPS-V250	14	616	8624
Estructura soporte para dos paneles de inclinación regulable con accesorios de fijación y anclaje	6	260	1560
Estructura soporte para un panel de inclinación regulable con accesorios de fijación y anclaje	2	165	330
Bases de hormigón para el soporte	2 m <sup>3</sup>	60	120

TOTAL: 10634 €

### PARTIDA 2: MATERIAL HIDRÁULICO

Concepto	Cantidad	Precio unitario €	Precio TOTAL €
Interacumulador Vitroflex de 3000 litros y serpentín extraíble (termómetro incluido)	1	3050	3050
Bomba Wilo-Stratos-Z	1	446,50	446,50
Vaso de expansión 12 litros	1	53	53
Tubería de cobre de 32/35 mm	56 m	5,02	281,12
Tubería de cobre de 25/28 mm	15 m	3,70	55,5

Presupuesto

Tubería de cobre de 20/22 mm	23 m	2,82	64,86
Purgador automático de 200 cm <sup>3</sup>	1	65	65
Válvula de llenado y vaciado de 1 ¼"	1	50	50
Válvula de corte de 1 ¼"	10	14,76	147,6
Válvula antirretorno de 1 ¼"	1	22,50	22,50
Válvula de seguridad de 1 ¼"	1	60	60
Válvula de equilibrado de 1 ¼"	1	58	58
Válvula de equilibrado de ¾"	3	42	126
Manómetro	1	9,40	9,40
Anticongelante Tyfocor (Garrafas de 20 litros)	8	86	688

TOTAL: 5177,48 €

PARTIDA 3: MATERIAL ELÉCTRICO

Concepto	Cantidad	Precio unitario €	Precio TOTAL €
Termostato diferencial digital	1	17,40	17,40
Central de regulación SERI 800 equipado con 7 sondas PT1000	1	480	480

TOTAL: 497,40 €

Presupuesto

PARTIDA 4: MATERIAL AISLANTE

Concepto	Cantidad	Precio unitario €	Precio TOTAL €
Aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR HT de 30 mm de espesor y 35 mm de diámetro	16 m	2,75	44
Aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR HT de 40 mm de espesor y 35 mm de diámetro	40 m	6,08	243,2
Aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR HT de 40 mm de espesor y 28 mm de diámetro	15 m	4,76	71,4
Aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR HT de 40 mm de espesor y 22 mm de diámetro	23 m	3,14	72,22
Bote de pintura para aislamiento	1	21,07	21,07

TOTAL: 451,89 €

PARTIDA 5: TRANSPORTE, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

Concepto	Cantidad	Precio unitario €	Precio TOTAL €
Transporte del material		240	240
Instalación, prueba y puesta en marcha		960	960

TOTAL: 1200 €



RESUMEN:

Partida	Descripción	Precio €
1	MATERIAL SOLAR	10634
2	MATERIAL HIDRÁULICO	5177,48
3	MATERIAL ELÉCTRICO	497,40
4	MATERIAL AISLANTE	451,89
5	TRANSPORTE, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA	1200

Precio total (IVA no incluido): 17960,77 €

IVA 21%: 3771,76 €

**Precio total (IVA incluido): 21732,53 €**

## 2. Estudio económico

El objeto de este apartado es calcular la rentabilidad económica de la instalación, con el objetivo de asegurar que la inversión se va a amortizar en unos años.

Para la realización de este estudio se han recogido datos directamente de las facturas de Gas Natural Fenosa del último año, proporcionadas por los responsables del centro Aspace. Según estas facturas, los factores que hay que aplicar son los siguientes:

- Término variable: 0,048655 €/kWh
- Impuesto especial sobre hidrocarburos: 0,00234 €/kWh
- Descuento consumo gas: 2%
- Término fijo: 2,662027 €/día
- IVA: 21%

*Presupuesto*

➤ Estudio económico sin instalación solar

Si no existiese instalación solar, el consumo de gas natural sería de 45873 kWh al año. Por lo tanto, aplicando los factores anteriormente descritos como si de una factura se tratara, se estima el precio a pagar cada año:

	Consumo (kWh)	Término variable (€)	Impuesto (€)	Descuento del 2% (€)	Término fijo (€)	Total (€)	Total con IVA (€)
Enero	4361	212,18	10,20	4,24	82,52	300,67	363,81
Febrero	3841	186,88	8,99	3,74	74,54	266,67	322,67
Marzo	4034	196,27	9,44	3,93	82,52	284,31	344,02
Abril	3693	179,68	8,64	3,59	79,86	264,59	320,16
Mayo	3707	180,36	8,67	3,61	82,52	267,95	324,22
Junio	3482	169,42	8,15	3,39	79,86	254,04	307,38
Julio	3489	169,76	8,16	3,40	82,52	257,05	311,03
Agosto	3598	175,06	8,42	3,50	82,52	262,50	317,63
Septiembre	3587	174,53	8,39	3,49	79,86	259,29	313,74
Octubre	3816	185,67	8,93	3,71	82,52	273,41	330,82
Noviembre	3904	189,95	9,14	3,80	79,86	275,15	332,93
Diciembre	4361	212,18	10,20	4,24	82,52	300,67	363,81
Total año	45873						3952,22

Es decir, al año se gastan unos 3952,22 € en gas natural.

*Presupuesto*

➤ Estudio económico con instalación solar

Ahora se va a realizar el mismo estudio que el anterior pero teniendo en cuenta que el gas utilizado es bastante menor. En este caso el gas natural consumido es de 15682,80 kWh al año.

	Consumo (kWh)	Término variable (€)	Impuesto (€)	Descuento del 2% (€)	Término fijo (€)	Total (€)	Total con IVA (€)
Enero	2956,24	143,84	6,92	2,88	82,52	230,40	278,78
Febrero	2045,12	99,51	4,79	1,99	74,54	176,84	213,97
Marzo	1377,88	67,04	3,22	1,34	82,52	151,45	183,25
Abril	950,88	46,27	2,23	0,93	79,86	127,43	154,19
Mayo	768,32	37,38	1,80	0,75	82,52	120,96	146,36
Junio	477,4	23,23	1,12	0,46	79,86	103,74	125,53
Julio	80,36	3,91	0,19	0,08	82,52	86,54	104,72
Agosto	105,28	5,12	0,25	0,10	82,52	87,79	106,22
Septiembre	379,96	18,49	0,89	0,37	79,86	98,87	119,63
Octubre	1238,72	60,27	2,90	1,21	82,52	144,49	174,83
Noviembre	2114	102,86	4,95	2,06	79,86	185,61	224,58
Diciembre	3188,64	155,14	7,46	3,10	82,52	242,02	292,85
Total año	15682,8						2124,91

Con la instalación solar se gastarían unos 2124,91 € de gas al año, que es un poco más de la mitad de lo que se gastaría sin la instalación solar.

➤ Amortización

Con los dos estudios económicos anteriores se obtiene que el ahorro anual es de:

$$\text{Ahorro económico anual: } 3952,22 - 2124,91 = 1827,31 \text{ €}$$

Es decir, con la instalación solar se ahorra un 46%.

Dado que la inversión inicial es de 21732,53 €, se puede estimar un período de amortización de:

$$\text{Período de amortización: } \frac{21732,53 \text{ €}}{1827,31 \text{ €/año}} = 11,89 \text{ años}$$

La instalación solar se amortizará en unos 12 años. Hay que puntualizar que este estudio es una aproximación, ya que no se han tenido en cuenta distintos aspectos, como el coste del mantenimiento de la instalación. Pero, por otra parte, también hay que tener en cuenta la constante inflación del precio del combustible, lo que adelantaría este período de amortización.

En conclusión, la instalación solar es una buena inversión, ya que su vida útil está en torno a los 25 años y se amortizará en unos 12 años. A partir de ese año se ahorrará en combustible, aproximadamente, la mitad.

Valladolid, Febrero de 2015

Fdo: Andrea Hernández Campillo

**ESTUDIO BÁSICO**  
**DE SEGURIDAD Y**  
**SALUD**

## **1. Objeto del presente estudio básico**

### **1.1. Objeto del presente estudio básico de seguridad y salud**

El presente Estudio Básico de Seguridad y Salud tiene como objetivo servir de base para que las empresas contratistas y cualquier otra que participe en la ejecución de las obras a que hace referencia el presente proyecto, las lleven a cabo en las mejores condiciones que puedan alcanzarse respecto a garantizar el mantenimiento de la salud, la integridad física y la vida de los trabajadores de las mismas, cumpliendo de esta forma lo que ordena en su articulado el R.D. 1627/97 de 24 de octubre (B.O.E. de 25/10/97).

### **1.2. Establecimiento posterior de un plan de seguridad y salud en la obra**

El presente Estudio Básico de Seguridad y Salud debe servir también de base para que las empresas constructoras, contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos que participen en las obras antes del comienzo de las actividades en las mismas, puedan elaborar un Plan de Seguridad y Salud, tal y como indica el articulado del Real Decreto citado anteriormente.

## **2. Identificación de la obra**

### **2.1. Tipo de obra**

La obra objeto del presente proyecto consiste en la ejecución de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria.

## 2.2. Suministro de energía eléctrica

El suministro de energía eléctrica provisional de obra será facilitado por la empresa constructora proporcionando los puntos de enganche necesarios en el lugar del emplazamiento de la obra.

## 2.3. Suministro de agua potable

En caso de que el suministro de agua potable no pueda realizarse a través de las conducciones habituales, se dispondrán los medios necesarios para contar con la misma desde el principio de la obra.

## 2.4. Servicios higiénicos

Se dispondrá de servicios higiénicos suficientes y reglamentarios. Si es posible, las aguas fecales se conectarán a la red de alcantarillado existente en el lugar de las obras o en las inmediaciones.

## 2.5. Interferencias y servicios afectados

No se prevé interferencias en los trabajos puesto que si bien la obra civil y el montaje pueden ejecutarse por empresas diferentes, no existe coincidencia en el tiempo. No obstante si existe más de una empresa en la ejecución del proyecto, deberá nombrarse un Coordinador de Seguridad y Salud integrado en la Dirección facultativa, que será quien resuelva en las mismas desde el punto de vista de Seguridad y Salud en el trabajo. La designación de este Coordinador habrá de ser sometida a la aprobación del Promotor.

En obras de ampliación y/o remodelación de instalaciones en servicio, deberá existir un coordinador de Seguridad y Salud que habrá de reunir las características descritas en el párrafo anterior, quien resolverá las interferencias, adoptando las medidas oportunas que puedan derivarse.

### **3. Identificación preventiva**

Las medidas preventivas a aplicar por la empresa, deberán cumplir los siguientes principios generales:

- Identificar y evitar los riesgos.
- Identificar y evaluar los riesgos que no se puedan evitar.
- Combatir los riesgos en su origen.
- Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos y los métodos de trabajo y de producción, con miras, en particular, a atenuar el trabajo monótono y repetitivo y a reducir los efectos del mismo en la salud.
- Tener en cuenta la evolución de la técnica.
- Sustituir todo elemento peligroso por otro que entrañe poco o ningún peligro.
- Planificar la prevención, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo.
- Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.
- Garantizar que solo los trabajadores que hayan recibido información y formación suficiente y adecuada puedan acceder a las zonas de riesgo grave y específico.



- Los trabajadores deben recibir toda la información necesaria sobre los riesgos a los que están expuestos, así como de las medidas de protección y prevención para estos riesgos.
- Se consultará y permitirá a los trabajadores su participación en todo lo relacionado con la prevención de riesgos, previo a la adopción de cualquier decisión relativa a:
  - Planificación y organización del trabajo.
  - Introducción de nuevas tecnologías.
  - Organización y desarrollo de las actividades de prevención y protección.
  - Designación de los trabajadores encargados de las medidas de emergencia.
  - Proyecto y organización de la formación en materia preventiva.
  - Cualquier acción que tenga efectos sustanciales sobre la seguridad de la salud de los trabajadores.

Los trabajadores, siempre en relación con sus posibilidades, y con arreglo a su formación y siguiendo instrucciones del empresario deberán:

- Usar adecuadamente, de acuerdo con su naturaleza y los riesgos previsibles, las máquinas, aparatos, herramientas, sustancias peligrosas y, en general, cualquier otro medio con el que desarrollen su actividad.
- Utilizar correctamente los medios y equipos de protección facilitados por el empresario, de acuerdo con las instrucciones recibidas por éste.
- Informar de inmediato a su superior jerárquico directo, acerca de cualquier situación que, a su juicio, entrañe riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores.
- Cooperar con el empresario para que este pueda garantizar unas condiciones de trabajo seguras.

## 4. Riesgos y medidas de prevención

Para el análisis de riesgos y medidas de prevención a adoptar, se dividen los trabajos por unidades constructivas, dentro de los apartados de Obra civil y Montaje.

### 4.1. Obra civil

#### 4.1.1. Movimiento de tierras y cimentaciones

##### a) Riesgos más frecuentes

- Caídas a las zanjas.
- Desprendimientos de los bordes de los taludes de las rampas.
- Atropellos causados por la maquinaria.
- Caídas del personal, vehículos, maquinaria o materiales al fondo de la excavación.

##### b) Medidas de preventivas

- Controlar el avance de la excavación, eliminando bolos y viseras inestables, previniendo de la posibilidad de lluvias o heladas.
- Prohibir la permanencia de personal en la proximidad de las máquinas en movimiento.
- Señalizar adecuadamente el movimiento de transporte pesado y maquinaria de obra.
- Dictar normas de actuación a los operadores de la maquinaria utilizada.
- Las cargas de los camiones no sobrepasarán los límites establecidos y reglamentarios.
- Establecer un mantenimiento correcto de la maquinaria.
- Prohibir el paso a toda persona ajena a la obra.

- Balizar, señalizar y vallar el perímetro de la obra, así como los puntos singulares en el interior de la misma.
- Establecer zonas de paso y acceso a la obra.
- Dotar de la adecuada protección personal y velar por su utilización.
- Establecer las estribaciones en las zonas que sean necesarias.

#### 4.1.2. Estructura

##### a) Riesgos más frecuentes

- Caídas de personas a distinto nivel, en las fases de encofrado, desencofrado, puesta en obra del hormigón y montaje de piezas prefabricadas.
- Cortes en las manos.
- Pinchazos producidos por alambre de atar, hierros de espera, eslingas en mal estado, puntas en el encofrado, etc.
- Caídas de objetos a distinto nivel (martillos, árido, etc.).
- Golpes en las manos, pies y cabeza.
- Electrocuaciones por contacto indirecto.
- Caídas al mismo nivel.
- Quemaduras químicas producidas por el cemento.
- Sobreesfuerzos.

##### b) Medidas preventivas

- Emplear bolsas porta-herramientas.
- Desencofrar con los útiles adecuados y procedimiento preestablecido.
- Suprimir las puntas de la madera conforme es retirada.
- Prohibir el trepado por los encofrados o permanecer en equilibrio sobre los mismos, o bien por las armaduras.

- Vigilar el izado de las cargas para que sea estable, siguiendo su trayectoria.
- Controlar el vertido del hormigón suministrado con el auxilio de la grúa, verificando el correcto cierre del cubo.
- Prohibir la circulación del personal por debajo de las cargas suspendidas.
- El vertido del hormigón en soportes se hará siempre desde plataformas móviles correctamente protegidas.
- Prever si procede la adecuada situación de las redes de protección, verificándose antes de iniciar los diversos trabajos de estructura.
- Las herramientas eléctricas portátiles serán de doble aislamiento y su conexión se efectuará mediante clavijas adecuadas a un cuadro eléctrico dotado con interruptor diferencial de alta sensibilidad.
- Dotar de la adecuada protección personal y velar por su utilización.

#### 4.1.3. Cerramientos

##### a) Riesgos más frecuentes.

- Caídas de altura.
- Desprendimiento de cargas-suspendidas.
- Golpes y cortes en las extremidades por objetos y herramientas.
- Los derivados del uso de medios auxiliares (andamios, escaleras, etc.).

##### b) Medidas de prevención

- Señalizar las zonas de trabajo.
- Utilizar una plataforma de trabajo adecuada.

- Delimitar la zona señalizándola y evitando en lo posible el paso del personal por la vertical de los trabajos.
- Dotar de la adecuada protección personal y velar por su utilización.

#### 4.1.4. Albañilería

##### a) Riesgos más frecuentes

- Caídas al mismo nivel.
- Caídas a distinto nivel.
- Proyección de partículas al cortar ladrillos con la paleta.
- Proyección de partículas en el uso de punteros y cortafríos.
- Cortes y heridas.
- Riesgos derivados de la utilización de máquinas eléctricas de mano.

##### b) Medidas de prevención

- Vigilar el orden y limpieza de cada uno de los tajos, estando las vías de tránsito libres de obstáculos (herramientas, materiales, escombros, etc.).
- Las zonas de trabajo tendrán una adecuada iluminación.
- Dotar de la adecuada protección personal y velar por su utilización.
- Utilizar plataformas de trabajo adecuadas.
- Las herramientas eléctricas portátiles serán de doble aislamiento y su conexión se efectuará a un cuadro eléctrico dotado con interruptor diferencial de alta sensibilidad.

## 4.2. Montaje

### 4.2.1. Colocación de soportes y embarrados

#### a) Riesgos más frecuentes

- Caídas al distinto nivel.
- Choques o golpes.
- Proyección de partículas.
- Contacto eléctrico indirecto.

#### b) Medidas de prevención

- Verificar que las plataformas de trabajo son las adecuadas y que dispongan de superficies de apoyo en condiciones.
- Verificar que las escaleras portátiles disponen de elementos antideslizantes.
- Disponer de iluminación suficiente.
- Dotar de las herramientas y útiles adecuados.
- Dotar de la adecuada protección personal para trabajos mecánicos y velar por su utilización.
- Las herramientas eléctricas portátiles serán de doble aislamiento y su conexión se efectuará a un cuadro eléctrico dotado con interruptor diferencial de alta sensibilidad.

### 4.2.2. Operaciones de puesta en tensión

#### a) Riesgos más frecuentes

- Contacto eléctrico en A.T. y B.T.
- Arco eléctrico en A.T. y B.T.
- Elementos candentes.

c) Medidas de prevención

- Coordinar con la Empresa Suministradora definiendo las maniobras eléctricas necesarias.
- Abrir con corte visible o efectivo las posibles fuentes de tensión.
- Comprobar en el punto de trabajo la ausencia de tensión.
- Enclavar los aparatos de maniobra.
- Señalizar la zona de trabajo a todos los componentes del grupo de la situación en que se encuentran los puntos en tensión más cercanos
- Dotar de la adecuada protección personal y velar por su utilización.

4.2.3. Medios auxiliares

Escaleras y andamios

a) Riesgos más frecuentes

- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Contactos eléctricos directos a través de la escalera.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

b) Medidas de prevención

- Todas las escaleras y andamios tendrán la base antideslizante.
- En el caso de colocar las escaleras en superficies no niveladas, se emplearán calzos de total seguridad para la nivelación de las mismas.

- En el caso de que las dimensiones de las escaleras lo recomienden, éstas serán manipuladas por varios operarios.
- Cuando los andamios deban ser trasladados de una parte a otra de la obra constarán de ruedas con sus correspondientes frenos homologados. Para su traslado no podrá encontrarse en ellos ningún trabajador.
- Será obligatorio el uso de casco en toda la obra.

#### 4.2.4. Herramientas

Herramientas eléctricas: Taladradora, radial, sierra, etc.

##### a) Riesgos más frecuentes

- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Ambiente pulvígeno.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

##### b) Medidas de prevención

- Siempre que se emplee cualquiera de estas herramientas, así como cualquier otra similar, se emplearán gafas de seguridad
- También se emplearán guantes, botas, casco y ropa de seguridad.
- Cuando se prevea la producción de polvo será de obligatorio emplear mascarillas para evitar su inhalación.



Herramientas de mano: Martillos de golpeo, mallas, pelacables, tijeras, etc.

a) Riesgos más frecuentes

- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

b) Medidas de prevención

- Será obligatorio el uso de casco, gafas, guantes, ropa y botas de seguridad en toda la obra.

## **5. Protecciones frente a los riesgos**

### **5.1. Protecciones colectivas**

#### Señalización

El Real Decreto 485/1997, de 14 de abril por el que se establecen las disposiciones mínimas de carácter general relativas a la señalización de seguridad y salud en el trabajo, indica que deberá utilizarse una señalización de seguridad y salud a fin de:

- Llamar la atención de los trabajadores sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones u obligaciones.
- Alertar a los trabajadores cuando se produzca una determinada situación de emergencia que requiera medidas urgentes de protección o evacuación.

Las señales podrán ser tanto visuales como sonoras. Se emplearán las señales normalizadas tanto en colores, como en tamaño, siendo las mismas de fácil comprensión para los trabajadores.

## 5.2. Equipos de protección individual (EPI)

Durante la obra todos los trabajadores dispondrán de los siguientes equipos de protección:

- Casco homologado clase E-AT con barbuquejo.
- Pantalla facial de policarbonato con atalaje de material aislante.
- Protectores anti ruido clase C.
- Gafas anti-impacto con ocular filtrante de color verde DIN-2, ópticamente neutro, en previsión de cebado del arco eléctrico.
- Gafas tipo cazoleta, de tipo totalmente estanco, para trabajar con esmeriladora portátil radial.
- Guantes "tipo americano", de piel flor y lona, de uso general.
- Guantes de precisión (taponero) con manguitos largos, en piel curtida al cromo.
- Guantes dieléctricos homologados clase II (1 000 V).
- Botas de seguridad dieléctrica, con refuerzo en puntera de "Akullón".
- Botas de seguridad sin refuerzos para trabajos en tensión.
- Cinturón de seguridad anti caída con arnés clase C y dispositivo de anclaje y retención.

La ropa de trabajo cubrirá la totalidad del cuerpo y como norma general cumplirá los requisitos mínimos siguientes:

- Será de tejido ligero y flexible, que permita una fácil limpieza y desinfección.

- Se ajustará bien al cuerpo sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos.
- Se eliminará en todo lo posible, los elementos adicionales como cordones, botones, partes vueltas hacia arriba, a fin de evitar que se acumule la suciedad y el peligro de enganches.
- Dado que los electricistas están sujetos al riesgo de contacto eléctrico su ropa de trabajo no debe tener ningún elemento metálico, ni se utilizarán anillos, relojes o pulseras.

## **MEDIDAS PREVENTIVAS DE TIPO GENERAL**

### DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y DE SALUD QUE DEBERAN APLICARSE EN LAS OBRAS

Se aplicaran siempre que lo exijan las características de la obra o de la actividad, las circunstancias o cualquier riesgo.

#### A. Ámbito de aplicación

Será de aplicación a la totalidad de la obra, incluidos los puestos de trabajo en las obras en el interior y en el exterior de los locales.

#### B. Vías y salidas de emergencia

- Las vías y salidas de emergencia deberán permanecer libres de obstáculos y desembocar lo más directamente posible en una zona de seguridad.
- En caso de peligro, todos los lugares de trabajo deberán poder evacuarse rápidamente y en condiciones de máxima seguridad para los trabajadores.

- El número, la distribución y las dimensiones de las vías y salidas de emergencia dependerán del uso de los equipos y de las dimensiones de la obra y de los locales, así como del número máximo de personas que puedan estar presente en ellos.
- Las vías y salidas específicas deberán señalizarse conforme al R.D. 485/97.
- Dicha señalización deberá fijarse en los lugares adecuados y tener la resistencia suficiente.
- En caso de avería del sistema de alumbrado las vías de salida y emergencia deberán disponer de iluminación de seguridad de la suficiente intensidad.

#### C. Detección y lucha contra incendios

Según las características de la obra y del número de personas trabajando, se dispondrá de un número suficiente de dispositivos contra incendios y, si fuere necesario, detectores y sistemas de alarma. Dichos dispositivos deberán revisarse y mantenerse con regularidad.

#### D. Primeros auxilios

- Será responsabilidad del empresario garantizar que los primeros auxilios puedan prestarse en todo momento por personal con la suficiente formación para ello.
- Asimismo, deberán adoptarse medidas para garantizar la evacuación, a fin de recibir cuidados médicos, de los trabajadores accidentados o afectados por una indisposición repentina.

## **6. Vigilancia de la salud y primeros auxilios en la obra**

### **6.1. Vigilancia de la salud**

Indica la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (ley 31/95 de 8 de Noviembre), en su art. 22 que el Empresario deberá garantizar a los trabajadores a su servicio la vigilancia periódica de su estado de salud en función de los riesgos inherentes a su trabajo que solo podrá llevarse a efecto con el consentimiento del trabajador exceptuándose, previo informe de los representantes de los trabajadores, los supuestos en los que la realización de los reconocimientos sea imprescindible para evaluar los efectos de las condiciones de trabajo sobre la salud de los trabajadores o para verificar si el estado de la salud de un trabajador puede constituir un peligro para sí mismo, para los demás trabajadores o para otras personas relacionadas con la empresa o cuando esté establecido en una disposición legal en relación con la protección de riesgos específicos y actividades de especial peligrosidad.

En todo caso se optará por aquellas pruebas y reconocimientos que produzcan las mínimas molestias al trabajador y que sean proporcionadas al riesgo. Las medidas de vigilancia de la salud de los trabajadores se llevarán a cabo respetando siempre el derecho a la intimidad y a la dignidad de la persona del trabajador y la confidencialidad de toda la información relacionada con su estado de salud. Los resultados de tales reconocimientos serán puestos en conocimiento de los trabajadores afectados y nunca podrán ser utilizados con fines discriminatorios ni en perjuicio del trabajador.

El R.D. 39/97 de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, establece en su art. 37.3 que los servicios que desarrollen funciones de vigilancia y control de la salud de los trabajadores deberán contar con un médico especialista en Medicina del Trabajo o

Medicina de Empresa y un ATS/DUE de empresa, sin perjuicio de la participación de otros profesionales sanitarios con competencia técnica, formación y capacidad acreditada.

## **7. Obligaciones del empresario en materia formativa antes de iniciar las obras**

El artículo 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/95 de 8 de Noviembre) exige que el empresario, en cumplimiento del deber de protección, deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación teórica y práctica, suficiente y adecuada, en materia preventiva, a la contratación, y cuando ocurran cambios en los equipos, tecnologías o funciones que desempeñe.

La formación referenciada deberá impartirse, siempre que sea posible, dentro de la jornada de trabajo, o en su defecto, en otras horas pero con descuento en aquella del tiempo invertido en la misma. Puede impartirla la empresa con sus medios propios o con otros concertados, pero su coste nunca recaerá en los trabajadores.

Valladolid, Febrero de 2015

Fdo: Andrea Hernández Campillo

# **ANEXO I**

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **Páginas web**

<http://www.aspacevalladolid.org/>  
<http://www.energias.bienescomunes.org/> (30-10-2014)  
<http://www.tsolar.com/> (30-10-2014)  
<http://www.atersa.com/> (30-10-2014)  
<http://erenovable.com/> (30-10-2014)  
<http://es.wikipedia.org/> (17-11-2014)  
<http://www.solarweb.net/> (17-11-2014)  
<http://www.energiasrenovables.ciemat.es/> (11-12-2014)  
<http://www.censolar.es/> (14-01-2015)  
<http://www.solar-instruments.es/> (14-01-2015)  
<http://gasnaturalfenosa.es/> (12-02-2015)

### **Libros**

- “Energía Solar Térmica”, de Pedro Rufes Martínez
- Curso CENSOLAR para el Projectista-Instalador de Energía Solar
  - Tomo II: “Energética Solar”
  - Tomo III: “Sistemas de Aprovechamiento Térmico I”
  - Tomo IV: “Sistemas de Aprovechamiento Térmico II”

### **Catálogos**

- “Ibersolar”
- “Salvador Escoda”
- “Wilo”

### **Normativa de aplicación**

- Código Técnico de la Edificación (CTE), y su Documento Básico HE-4
- Pliego de Condiciones Técnicas para instalaciones de baja temperatura del IDAE
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento de Equipos a Presión (REP) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias
- Real Decreto 865/2003, de 4 de Julio por el que se establecen los criterios higiénicos sanitarios para la prevención y control de la legionelosis



- Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT).
- Ley de Protección del Ambiente Atmosférico (LPAA).

**Normativa de consulta**

- UNE-EN 12975-1: Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12975-2: Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12976-1: Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares prefabricados. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12976-2: Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares prefabricados. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12977-1: Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares a medida. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12977-2: Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares a medida. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN ISO 9488: Energía solar. Vocabulario.

# **ANEXO II**

## Tablas

Tabla 1. Energía  $H$ , en MJ, que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	4.6	6.9	11.2	13	14.8	16.6	18.1	17.3	14.3	9.5	5.5	4.1	11.3
2 ALBACETE	6.7	10.5	15	19.2	21.2	25.1	26.7	23.2	18.8	12.4	8.4	6.4	16.1
3 ALICANTE	8.5	12	16.3	18.9	23.1	24.8	25.8	22.5	18.3	13.6	9.8	7.6	16.8
4 ALMERÍA	8.9	12.2	16.4	19.6	23.1	24.6	25.3	22.5	18.5	13.9	10	8	16.9
5 ASTURIAS	5.3	7.7	10.6	12.2	15	15.2	16.8	14.8	12.4	9.8	5.9	4.6	10.9
6 ÁVILA	6	9.1	13.5	17.7	19.4	22.3	26.3	25.3	18.8	11.2	6.9	5.2	15.1
7 BADAJOZ	6.5	10	13.6	18.7	21.8	24.6	25.9	23.8	17.9	12.3	8.2	6.2	15.8
8 BALEARES	7.2	10.7	14.4	16.2	21	22.7	24.2	20.6	16.4	12.1	8.5	6.5	15
9 BARCELONA	6.5	9.5	12.9	16.1	18.6	20.3	21.6	18.1	14.6	10.8	7.2	5.8	13.5
10 BURGOS	5.1	7.9	12.4	16	18.7	21.5	23	20.7	16.7	10.1	6.5	4.5	13.6
11 CÁCERES	6.8	10	14.7	19.6	22.1	25.1	28.1	25.4	19.7	12.7	8.9	6.6	16.6
12 CÁDIZ	8.1	11.5	15.7	18.5	22.2	23.8	25.9	23	18.1	14.2	10	7.4	16.5
13 CANTABRIA	5	7.4	11	13	16.1	17	18.4	15.5	13	9.5	5.8	4.5	11.3
14 CASTELLÓN	8	12.2	15.5	17.4	20.6	21.4	23.9	19.5	16.6	13.1	8.6	7.3	15.3
15 CEUTA	8.9	13.1	18.6	21	24.3	26.7	26.8	24.3	19.1	14.2	11	8.6	18.1
16 CIUDAD REAL	7	10.1	15	18.7	21.4	23.7	25.3	23.2	18.8	12.5	8.7	6.5	15.9
17 CÓRDOBA	7.2	10.1	15.1	18.5	21.8	25.9	28.5	25.1	19.9	12.6	8.6	6.9	16.7
18 LA CORUÑA	5.4	8	11.4	12.4	15.4	16.2	17.4	15.3	13.9	10.9	6.4	5.1	11.5
19 CUENCA	5.9	8.8	12.9	17.4	18.7	22	25.6	22.3	17.5	11.2	7.2	5.5	14.6
20 GERONA	7.1	10.5	14.2	15.9	18.7	19	22.3	18.5	14.9	11.7	7.8	6.6	13.9
21 GRANADA	7.8	10.8	15.2	18.5	21.9	24.8	26.7	23.6	18.8	12.9	9.6	7.1	16.5
22 GUADALAJARA	6.5	9.2	14	17.9	19.4	22.7	25	23.2	17.8	11.7	7.8	5.6	15.1
23 GUIPÚZCOA	5.5	7.7	11.3	11.7	14.6	16.2	16.1	13.6	12.7	10.3	6.2	5	10.9
24 HUELVA	7.6	11.3	16	19.5	24.1	25.6	28.7	25.6	21.2	14.5	9.2	7.5	17.6
25 HUESCA	6.1	9.6	14.3	18.7	20.3	22.1	23.1	20.9	16.9	11.3	7.2	5.1	14.6
26 JAÉN	6.7	10.1	14.4	18	20.3	24.4	26.7	24.1	19.2	11.9	8.1	6.5	15.9
27 LEÓN	5.8	8.7	13.8	17.2	19.5	22.1	24.2	20.9	17.2	10.4	7	4.8	14.3
28 LÉRIDA	6	9.9	18	18.8	20.9	22.6	23.8	21.3	16.8	12.1	7.2	4.8	15.2
29 LUGO	5.1	7.6	11.7	15.2	17.1	19.5	20.2	18.4	15	9.9	6.2	4.5	12.5
30 MADRID	6.7	10.6	13.6	18.8	20.9	23.5	26	23.1	16.9	11.4	7.5	5.9	15.4
31 MÁLAGA	8.3	12	15.5	18.5	23.2	24.5	26.5	23.2	19	13.6	9.3	8	16.8
32 MELILLA	9.4	12.6	17.2	20.3	23	24.8	24.8	22.6	18.3	14.2	10.9	8.7	17.2
33 MURCIA	10.1	14.8	16.6	20.4	24.2	25.6	27.7	23.5	18.6	13.9	9.8	8.1	17.8
34 NAVARRA	5	7.4	12.3	14.5	17.1	18.9	20.5	18.2	16.2	10.2	6	4.5	12.6
35 ORENSE	4.7	7.3	11.3	14	16.2	17.6	18.3	16.6	14.3	9.4	5.6	4.3	11.6
36 PALENCIA	5.3	9	13.2	17.5	19.7	21.8	24.1	21.6	17.1	10.9	6.6	4.6	14.3
37 LAS PALMAS	11.2	14.2	17.8	19.6	21.7	22.5	24.3	21.9	19.8	15.1	12.3	10.7	17.6
38 PONTEVEDRA	5.5	8.2	13	15.7	17.5	20.4	22	18.9	15.1	11.3	6.8	5.5	13.3
39 LA RIOJA	5.6	8.8	13.7	16.6	19.2	21.4	23.3	20.8	16.2	10.7	6.8	4.8	14
40 SALAMANCA	6.1	9.5	13.5	17.1	19.7	22.8	24.6	22.6	17.5	11.3	7.4	5.2	14.8
41 STA. C. TENERIFE	10.7	13.3	18.1	21.5	25.7	26.5	29.3	26.6	21.2	16.2	10.8	9.3	19.1
42 SEGOVIA	5.7	8.8	13.4	18.4	20.4	22.6	25.7	24.9	18.8	11.4	6.8	5.1	15.2
43 SEVILLA	7.3	10.9	14.4	19.2	22.4	24.3	24.9	23	17.9	12.3	8.8	6.9	16
44 SORIA	5.9	8.7	12.8	17.1	19.7	21.8	24.1	22.3	17.5	11.1	7.6	5.6	14.5
45 TARRAGONA	7.3	10.7	14.9	17.6	20.2	22.5	23.8	20.5	16.4	12.3	8.8	6.3	15.1
46 TERUEL	6.1	8.8	12.9	16.7	18.4	20.6	21.8	20.7	16.9	11	7.1	5.3	13.9
47 TOLEDO	6.2	9.5	14	19.3	21	24.4	27.2	24.5	18.1	11.9	7.6	5.6	15.8
48 VALENCIA	7.6	10.6	14.9	18.1	20.6	22.8	23.8	20.7	16.7	12	8.7	6.6	15.3
49 VALLADOLID	5.5	8.8	13.9	17.2	19.9	22.6	25.1	23	18.3	11.2	6.9	4.2	14.7
50 VIZCAYA	5	7.1	10.8	12.7	15.5	16.7	17.9	15.7	13.1	9.3	6	4.6	11.2
51 ZAMORA	5.4	8.9	13.2	17.3	22.2	21.6	23.5	22	17.2	11.1	6.7	4.6	14.5
52 ZARAGOZA	6.3	9.8	15.2	18.3	21.8	24.2	25.1	23.4	18.3	12.1	7.4	5.7	15.6

Tabla 2. Intensidad media útil, I, en W/m<sup>2</sup>, sobre horizontal, en un día medio de cada mes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	151	200	326	357	406	457	498	476	414	275	179	142	323.4
2 ALBACETE	220	306	434	528	584	690	733	639	545	360	274	221	461.2
3 ALICANTE	277	349	472	519	635	680	710	620	530	394	321	265	481
4 ALMERÍA	291	354	477	539	636	675	696	618	536	404	328	279	486.1
5 ASTURIAS	174	222	307	334	414	419	462	407	361	283	192	162	311.4
6 ÁVILA	197	265	391	485	533	612	721	695	546	326	226	181	431.5
7 BADAJOZ	213	289	395	514	600	676	711	653	520	355	269	217	451
8 BALEARES	235	311	418	446	577	623	666	566	474	350	276	226	430.7
9 BARCELONA	211	276	375	441	511	559	593	497	422	313	236	202	386.3
10 BURGOS	165	228	361	440	514	592	631	568	484	292	213	157	387.1
11 CÁCERES	223	291	427	538	606	689	772	698	573	367	290	229	475.3
12 CÁDIZ	263	332	456	510	609	653	713	631	525	411	326	257	473.8
13 CANTABRIA	163	216	318	358	443	466	505	427	376	276	188	157	324.4
14 CASTELLÓN	261	355	450	479	567	588	657	537	483	380	282	256	441.3
15 CEUTA	292	381	539	577	669	735	738	668	555	412	359	298	518.6
16 CIUDAD REAL	230	292	434	514	588	652	696	636	547	362	283	226	455
17 CÓRDOBA	234	292	438	509	599	711	783	691	578	367	279	239	476.7
18 LA CORUÑA	178	231	330	340	422	446	477	420	402	315	209	179	329.1
19 CUENCA	194	257	375	477	515	604	703	613	509	324	234	192	416.4
20 GERONA	232	304	412	438	513	523	614	507	432	340	255	230	400
21 GRANADA	255	314	441	508	603	682	733	649	546	375	313	246	472.1
22 GUADALAJARA	212	266	406	491	532	624	686	636	515	339	255	193	429.6
23 GUIPÚZCOA	179	222	328	322	402	447	444	375	370	299	202	175	313.8
24 HUELVA	249	328	464	537	662	704	789	702	615	420	300	263	502.8
25 HUESCA	199	280	416	514	558	606	635	573	491	327	236	178	417.8
26 JAÉN	218	294	419	494	559	671	735	663	556	345	265	227	453.8
27 LEÓN	189	253	401	473	537	607	665	574	499	302	227	169	408
28 LÉRIDA	195	286	522	516	573	621	654	586	487	350	236	166	432.7
29 LUGO	165	220	339	417	470	536	554	505	436	288	201	156	357.3
30 MADRID	220	307	394	516	574	645	714	636	491	330	245	206	439.8
31 MÁLAGA	272	347	449	509	639	673	728	638	551	396	303	277	481.8
32 MELILLA	308	365	499	559	633	681	681	621	531	413	357	304	496
33 MURCIA	328	430	482	559	666	702	761	645	539	402	319	282	509.6
34 NAVARRA	162	215	357	399	469	519	564	501	469	297	197	157	358.8
35 ORENSE	154	211	327	385	446	484	502	455	415	274	183	150	332.2
36 PALENCIA	174	261	382	481	540	599	664	593	495	317	216	160	406.8
37 LAS PALMAS	366	413	515	540	597	618	667	603	574	439	401	373	508.8
38 PONTEVEDRA	178	237	378	432	482	561	604	520	438	328	223	193	381.2
39 LA RIOJA	184	255	397	456	529	589	641	570	470	311	222	169	399.4
40 SALAMANCA	200	276	392	469	541	625	677	621	508	328	242	181	421.7
41 STA. C. TENERIFE	350	385	525	590	707	728	805	731	616	469	352	324	548.5
42 SEGOVIA	185	255	389	506	561	621	707	684	545	330	221	177	431.8
43 SEVILLA	238	315	419	526	617	667	684	633	520	356	286	240	458.4
44 SORIA	193	253	370	471	541	599	663	612	507	322	247	195	414.4
45 TARRAGONA	240	310	433	485	555	617	655	564	476	358	287	220	433.3
46 TERUEL	199	255	374	458	504	566	600	568	492	320	233	183	396
47 TOLEDO	202	275	407	530	576	670	748	673	525	346	248	194	449.5
48 VALENCIA	248	308	433	497	565	626	655	568	484	349	284	230	437.3
49 VALLADOLID	178	254	402	472	548	621	690	632	530	324	226	147	418.7
50 VIZCAYA	164	207	313	349	426	460	492	431	381	269	196	162	320.8
51 ZAMORA	175	259	383	474	609	593	645	605	500	321	219	160	411.9
52 ZARAGOZA	206	286	441	502	598	665	689	644	531	352	243	198	446.3

Tabla 3. Temperatura ambiente media durante las horas de sol, en °C.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	7	7	11	12	15	19	21	21	19	15	10	7	13.7
2 ALBACETE	6	8	11	13	17	22	26	26	22	16	11	7	15.4
3 ALICANTE	13	14	16	18	21	25	28	28	26	21	17	14	20.1
4 ALMERÍA	15	15	16	18	21	24	27	28	26	22	18	16	20.5
5 ASTURIAS	9	10	11	12	15	18	20	20	19	16	12	10	14.3
6 ÁVILA	4	5	8	11	14	18	22	22	18	13	8	5	12.3
7 BADAJOZ	11	12	15	17	20	25	28	28	25	20	15	11	18.9
8 BALEARES	12	13	14	17	19	23	26	27	25	20	16	14	18.8
9 BARCELONA	11	12	14	17	20	24	26	26	24	20	16	12	18.5
10 BURGOS	5	6	9	11	14	18	21	21	18	13	9	5	12.5
11 CÁCERES	10	11	14	16	19	25	28	28	25	19	14	10	18.3
12 CÁDIZ	13	15	17	19	21	24	27	27	25	22	18	15	20.3
13 CANTABRIA	11	11	14	14	16	19	21	21	20	17	14	12	15.8
14 CASTELLÓN	13	13	15	17	20	24	26	27	25	21	16	13	19.2
15 CEUTA	15	15	16	17	19	23	25	26	24	21	18	16	19.6
16 CIUDAD REAL	7	9	12	15	18	23	28	27	20	17	11	8	16.3
17 CÓRDOBA	11	13	16	18	21	26	30	30	26	21	16	12	20
18 LA CORUÑA	12	12	14	14	16	19	20	21	20	17	14	12	15.9
19 CUENCA	5	6	9	12	15	20	24	23	20	14	9	6	13.6
20 GERONA	9	10	13	15	19	23	26	25	23	18	13	10	17
21 GRANADA	9	10	13	16	18	24	27	27	24	18	13	9	17.3
22 GUADALAJARA	7	8	12	14	18	22	26	26	22	16	10	8	15.8
23 GUIPÚZCOA	10	10	13	14	16	19	21	21	20	17	13	10	15.3
24 HUELVA	13	14	16	20	21	24	27	27	25	21	17	14	19.9
25 HUESCA	7	8	12	15	18	22	25	25	21	16	11	7	15.6
26 JAÉN	11	11	14	17	21	26	30	29	25	19	15	10	19
27 LEÓN	5	6	10	12	15	19	22	22	19	14	9	6	13.3
28 LÉRIDA	7	10	14	15	21	24	27	27	23	18	11	8	17.1
29 LUGO	8	9	11	13	15	18	20	21	19	15	11	8	14
30 MADRID	6	8	11	13	18	23	28	26	21	15	11	7	15.6
31 MÁLAGA	15	15	17	19	21	25	27	28	26	22	18	15	20.7
32 MELILLA	15	15	16	18	21	25	27	28	26	22	18	16	20.6
33 MURCIA	12	12	15	17	21	25	28	28	25	20	16	12	19.3
34 NAVARRA	7	7	11	13	16	20	22	23	20	15	10	8	14.3
35 ORENSE	9	9	13	15	18	21	24	23	21	16	12	9	15.8
36 PALENCIA	5	7	10	13	16	20	23	23	20	14	9	6	13.8
37 LAS PALMAS	20	20	21	22	23	24	25	20	26	25	23	21	22.5
38 PONTEVEDRA	11	12	14	16	18	20	22	23	20	17	14	12	16.6
39 LA RIOJA	7	9	12	14	17	21	24	24	21	16	11	8	15.3
40 SALAMANCA	6	7	10	13	16	20	24	23	20	14	9	6	14
41 STA. C. TENERIFE	19	20	20	21	22	24	26	27	26	25	23	20	22.8
42 SEGOVIA	4	6	10	12	15	20	24	23	20	14	9	5	13.5
43 SEVILLA	11	13	14	17	21	25	29	29	24	20	16	12	19.3
44 SORIA	4	6	9	11	14	19	22	22	18	13	8	5	12.6
45 TARRAGONA	11	12	14	16	19	22	25	26	23	20	15	12	17.9
46 TERUEL	5	6	9	12	16	20	23	24	19	14	9	6	13.6
47 TOLEDO	8	9	13	15	19	24	28	27	23	17	12	8	16.9
48 VALENCIA	12	13	15	17	20	23	26	27	24	20	16	13	18.8
49 VALLADOLID	4	6	9	12	17	21	24	23	18	13	8	4	13.3
50 VIZCAYA	10	11	12	13	16	20	22	22	20	16	13	10	15.4
51 ZAMORA	6	7	11	13	16	21	24	23	20	15	10	6	14.3
52 ZARAGOZA	8	10	13	16	19	23	26	26	23	17	12	9	16.8

Tabla 4. Temperatura media del agua de la red general, en °C.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
2 ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
3 ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
4 ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
5 ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
6 ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
7 BADAJOZ	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
8 BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
9 BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
10 BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
11 CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
12 CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
13 CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
14 CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
15 CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11.3
16 CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
17 CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
18 LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
19 CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
20 GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
21 GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
22 GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
23 GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
24 HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
25 HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
26 JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12.3
27 LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
28 LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
29 LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
30 MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
31 MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
32 MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
33 MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
34 NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
35 ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.2
36 PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
37 LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
38 PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
39 LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
40 SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
41 STA. C. TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
42 SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
43 SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
44 SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
45 TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
46 TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
47 TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
48 VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
49 VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
50 VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
51 ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
52 ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3

Anexo II: Tablas

Tabla 5. Factor de corrección  $k$  para superficies inclinadas. Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal.

LATITUD = 42°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.08	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02	1.02	1.04	1.06	1.08	1.09	1.09
10	1.15	1.12	1.09	1.06	1.04	1.03	1.04	1.06	1.11	1.15	1.18	1.17
15	1.21	1.17	1.13	1.08	1.04	1.03	1.04	1.09	1.15	1.22	1.26	1.25
20	1.27	1.21	1.15	1.09	1.04	1.03	1.05	1.1	1.18	1.28	1.34	1.32
25	1.32	1.25	1.17	1.09	1.04	1.01	1.04	1.1	1.21	1.33	1.4	1.38
30	1.36	1.28	1.19	1.09	1.02	1	1.02	1.1	1.23	1.37	1.46	1.44
35	1.39	1.3	1.19	1.08	1	0.97	1	1.09	1.23	1.4	1.51	1.48
40	1.42	1.31	1.19	1.06	0.97	0.94	0.97	1.08	1.24	1.42	1.54	1.52
45	1.43	1.32	1.18	1.04	0.94	0.9	0.94	1.05	1.23	1.43	1.57	1.54
50	1.44	1.31	1.16	1	0.89	0.86	0.9	1.02	1.21	1.44	1.59	1.56
55	1.44	1.3	1.13	0.97	0.85	0.8	0.85	0.98	1.19	1.43	1.59	1.57
60	1.43	1.28	1.1	0.92	0.79	0.75	0.8	0.93	1.15	1.41	1.59	1.57
65	1.41	1.25	1.06	0.87	0.74	0.69	0.74	0.88	1.11	1.39	1.57	1.55
70	1.38	1.21	1.01	0.81	0.67	0.62	0.67	0.82	1.07	1.35	1.55	1.53
75	1.35	1.17	0.96	0.75	0.6	0.55	0.6	0.76	1.01	1.31	1.52	1.5
80	1.3	1.12	0.9	0.68	0.53	0.48	0.53	0.69	0.95	1.25	1.47	1.46
85	1.25	1.06	0.83	0.61	0.46	0.4	0.46	0.62	0.88	1.19	1.42	1.41
90	1.19	1	0.76	0.54	0.38	0.32	0.38	0.54	0.81	1.12	1.36	1.35

Tabla 6. Altitud, latitud, longitud (E=Este, W=Oeste) y temperatura mínima histórica (la más baja que se haya medido desde el primer año del que se conservan registros de datos).

PROVINCIA	ALTITUD (m) (de la capital)	LATITUD (°) (de la capital)	LONGITUD (°) (de la capital)	TEMP. MÍNIMA HISTÓRICA (°C)
1 ÁLAVA	542	42.9	2.7 W	-18
2 ALBACETE	686	39.0	1.8 W	-23
3 ALICANTE	7	38.4	0.5 W	-5
4 ALMERÍA	65	36.9	2.4 W	-1
5 ASTURIAS	232	43.4	5.8 W	-11
6 ÁVILA	1126	40.7	4.9 W	-21
7 BADAJOZ	186	38.9	7.0 W	-6
8 BALEARES	28	39.6	2.6 E	-4
9 BARCELONA	95	41.4	2.2 E	-7
10 BURGOS	929	42.3	3.7 W	-18
11 CÁCERES	459	39.5	6.4 W	-6
12 CÁDIZ	28	36.5	6.3 W	-2
13 CANTABRIA	69	43.5	3.8 W	-4
14 CASTELLÓN	27	40.0	0	-8
15 CEUTA	206	35.9	5.3 W	-1
16 CIUDAD REAL	628	39.0	3.9 W	-10
17 CÓRDOBA	128	37.9	4.8 W	-6
18 LA CORUÑA	54	43.4	8.4 W	-9
19 CUENCA	949	40.1	2.1 W	-21
20 GERONA	95	42.0	2.7 E	-11
21 GRANADA	775	37.2	3.7 W	-13
22 GUADALAJARA	685	40.6	3.2 W	-14
23 GUIPÚZCOA	181	43.3	2.0 W	-12
24 HUELVA	4	37.3	6.9 W	-6
25 HUESCA	488	42.1	0.4 W	-14
26 JAÉN	586	37.8	3.8 W	-8
27 LEÓN	908	42.6	5.6 W	-18
28 LÉRIDA	323	41.7	1.2 E	-11
29 LUGO	465	43.0	7.6 W	-8
30 MADRID	667	40.4	3.7 W	-16
31 MÁLAGA	40	36.7	4.4 W	-4
32 MELILLA	47	35.3	3.0 W	-1
33 MURCIA	42	38,0	1.1 W	-5
34 NAVARRA	449	42.8	1.6 W	-16
35 ORENSE	139	42.3	7.8 W	-8
36 PALENCIA	734	42.0	4.5 W	-14
37 LAS PALMAS	6	28.2	15.4 W	+6
38 PONTEVEDRA	19	42.4	8.6 W	-4
39 LA RIOJA	380	42.5	2.4 W	-12
40 SALAMANCA	803	41.0	5.6 W	-16
41 STA. CRUZ DE TENERIFE	37	28.5	16.2 W	+3
42 SEGOVIA	1002	41.0	4.1 W	-17
43 SEVILLA	30	37.4	6.0 W	-6
44 SORIA	1063	41.8	2.5 W	-16
45 TARRAGONA	60	41.1	1.2 E	-7
46 TERUEL	915	40.4	1.1 W	-14
47 TOLEDO	540	39.9	4.0 W	-9
48 VALENCIA	10	39.5	0.4 W	-8
49 VALLADOLID	694	41.7	4.7 W	-16
50 VIZCAYA	32	43.3	3.0 W	-8
51 ZAMORA	649	41.5	5.7 W	-14
52 ZARAGOZA	200	41.7	0.9 W	-11



Tabla 7. Presión frontal del viento en función de su velocidad.

$v$ (m/s)	$v$ (km/h)	$p$ (N/m <sup>2</sup> )	$p$ (kp/m <sup>2</sup> )
5	18	15	1.6
6	21.6	22	2.2
7	25.2	30	3.1
8	28.8	39	4
9	32.4	50	5.1
10	36	61	6.2
11	39.6	74	7.5
12	43.2	88	9
13	46.8	103	10.5
14	50.4	120	12.2
15	54	138	14
16	57.6	157	16
17	61.2	177	18
18	64.8	198	20.2
19	68.4	221	22.5
20	72	245	25
21	75.6	270	27.5
22	79.2	296	30.2
23	82.8	323	33
24	86.4	352	35.9
25	90	382	39
26	93.6	413	42.2
27	97.2	446	45.5
28	100.8	479	48.9
29	104.4	514	52.5
30	108	550	56.1
31	111.6	588	60
32	115.2	626	63.9
33	118.8	666	67.9
34	122.4	707	72.1
35	126	749	76.4
36	129.6	792	80.9
37	133.2	837	85.4
38	136.8	883	90.1
39	140.4	930	94.9
40	144	978	99.8
41	147.6	1028	104.9
42	151.2	1078	110
43	154.8	1130	115.4
44	158.4	1184	120.8
45	162	1238	126.3
46	165.6	1294	132
47	169.2	1351	137.8
48	172.8	1409	143.7
49	176.4	1468	149.8
50	180	1528	156
51	183.6	1590	162.3
52	187.2	1653	168.7
53	190.8	1717	175.2
54	194.4	1783	181.9
55	198	1849	188.7
56	201.6	1917	195.6
57	205.2	1986	202.7
58	208.8	2057	209.9
59	212.4	2128	217.2
60	216	2201	224.6
61	219.6	2275	232.1
62	223.2	2350	239.8
63	226.8	2427	247.6
64	230.4	2504	255.5
65	234	2583	263.6
66	237.6	2663	271.8
67	241.2	2744	280
68	244.8	2827	288.5
69	248.4	2911	297
70	252	2996	305.7
71	255.6	3082	314.5
72	259.2	3169	323.4

Tabla 8. Características de los tubos de cobre comprendidos en la normal UNE 37.141-76.

Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)	Peso lineal (kg/m)	Superficie pared exterior (cm <sup>2</sup> /m)	Sección interior (mm <sup>2</sup> )	Capacidad (l/m)	Resistencia (recocido)	
							Útil (kp/cm <sup>2</sup> )	Rotura (kp/cm <sup>2</sup> )
6	0.75	4.5	0.110	188	16	0.016	147	733
	1	4	0.140		13	0.013	220	1100
8	0.75	6.5	0.152	251	33	0.033	102	510
	1	6	0.196		28	0.028	147	733
10	0.75	8.5	0.194	314	57	0.057	78	388
	1	8	0.252		50	0.050	110	550
12	0.75	10.5	0.236	377	87	0.087	63	314
	1	10	0.308		78	0.078	88	440
15	0.75	13.5	0.299	471	143	0.143	49	244
	1	13	0.391		133	0.133	68	338
18	0.75	16.5	0.362	565	214	0.214	40	199
	1	16	0.475		201	0.201	55	275
22	1	20	0.587	691	314	0.314	44	220
	1.2	19.6	0.698		302	0.302	54	269
	1.5	19	0.860		284	0.284	69	347
28	1	26	0.753	880	531	0.531	34	169
	1.2	25.6	0.899		515	0.515	41	206
	1.5	25	1.111		491	0.491	53	264
35	1	33	0.951	1100	855	0.855	27	133
	1.2	32.6	1.134		835	0.835	32	162
	1.5	32	1.405		804	0.804	41	206
42	1	40	1.146	1319	1257	1.257	22	110
	1.2	39.6	1.369		1232	1.232	27	133
	1.5	39	1.699		1195	1.195	34	169
54	1.2	51.6	1.172	1696	2091	2.091	20	102
	1.5	51	2.202		2043	2.043	26	129
63	1.5	60	2.579	1979	2827	2.827	22	110
	2	59	3.411		2734	2.734	30	149
80	1.5	77	3.292	2513	4657	4.657	17	86
	2	76	4.362		4536	4.536	23	116
100	2	96	5.840	3142	7238	7.238	18	92
	2.5	95	6.815		7088	7.088	23	116

Tabla 9. Valores recomendados de la longitud equivalente. Son resultados aceptables para unos diámetros medios de 20 mm a 40 mm.

<i>Denominación del accesorio o singularidad</i>	$L_E$
Codos de 45°	0.7
Codos de 90°, radio pequeño	1.5
Codos de 90°, radio grande	0.8
Contador a turbina	5
Contracciones bruscas de 4:1	0.9
Contracciones bruscas de 2:1	0.7
Contracciones bruscas de 4:3	0.5
Curva de 90°	0.4
Ensanchamiento brusco de 1:4	1.6
Ensanchamiento brusco de 1:2	1.1
Ensanchamiento brusco de 3:4	0.5
Entrada a depósito	1.5
Derivación en T	2.2
Reducción cónica suave	0.5
Válvula de compuerta abierta	1
Válvula de bola abierta	1
Válvula de mariposa abierta	1
Válvula de asiento abierta	5
Válvula de retención de clapeta oscilante	10
Válvula de retención de muelle y obús o bola	50
Uniones lisas	0.1
Uniones diversas	0.8

Tabla 10. Densidad de una disolución de propilenglicol en función de la temperatura. Nota: la escala de la parte derecha del gráfico se utiliza cuando la concentración supera el 70%.

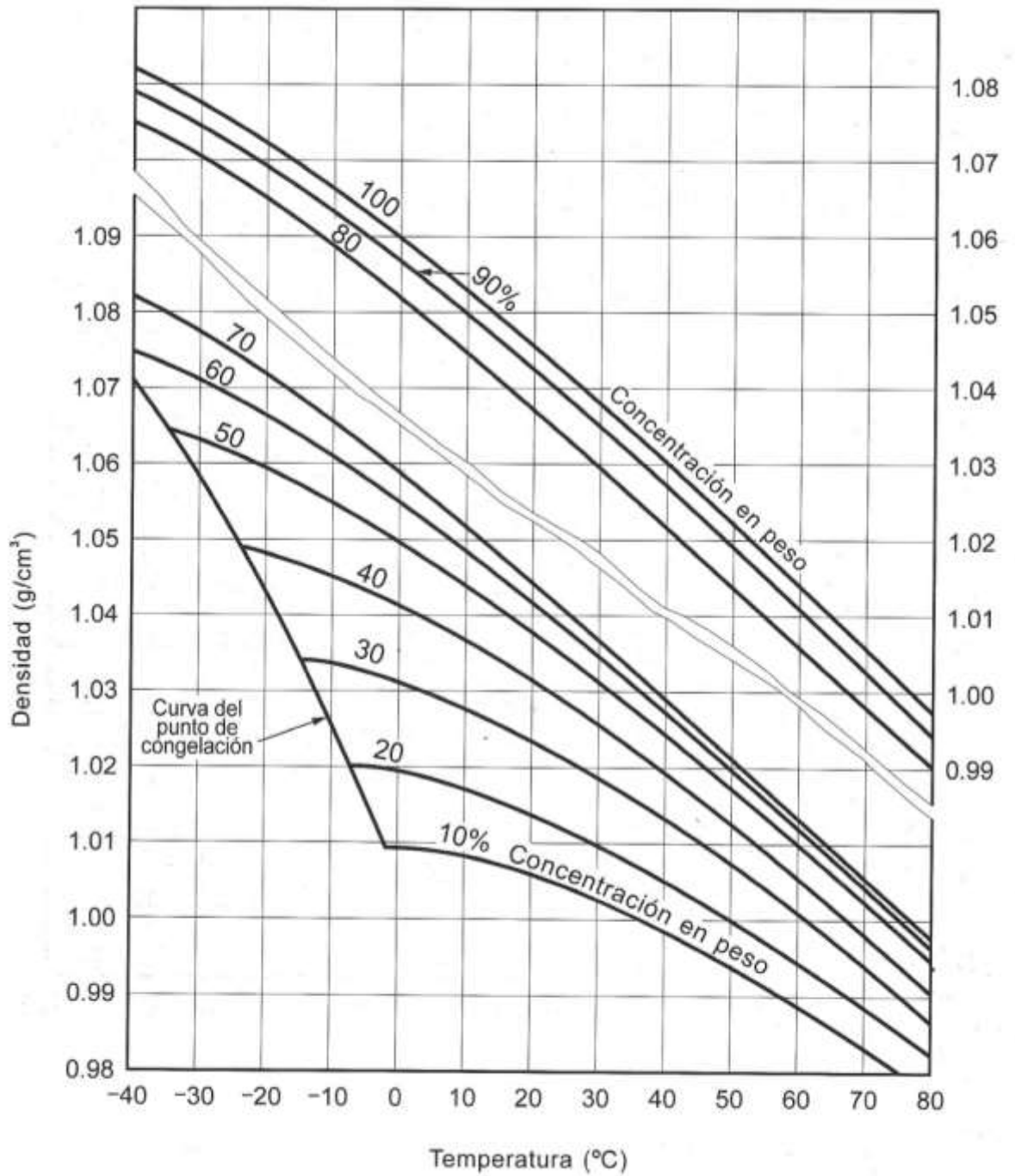


Tabla 11. Calor específico de una disolución de propilenglicol en función de la temperatura.

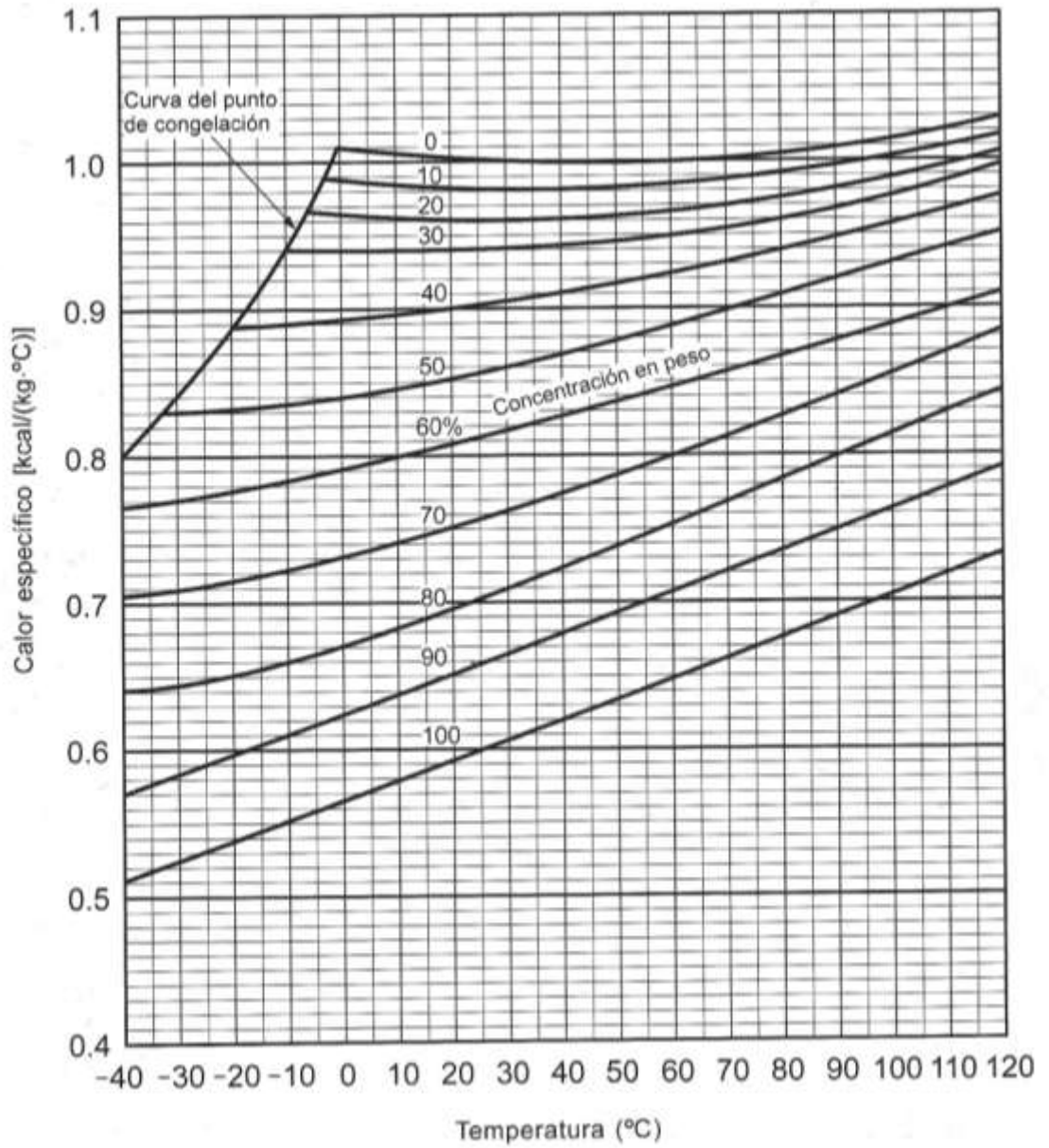


Tabla 12. Conductividad térmica de una disolución de propilenglicol en función de la temperatura.

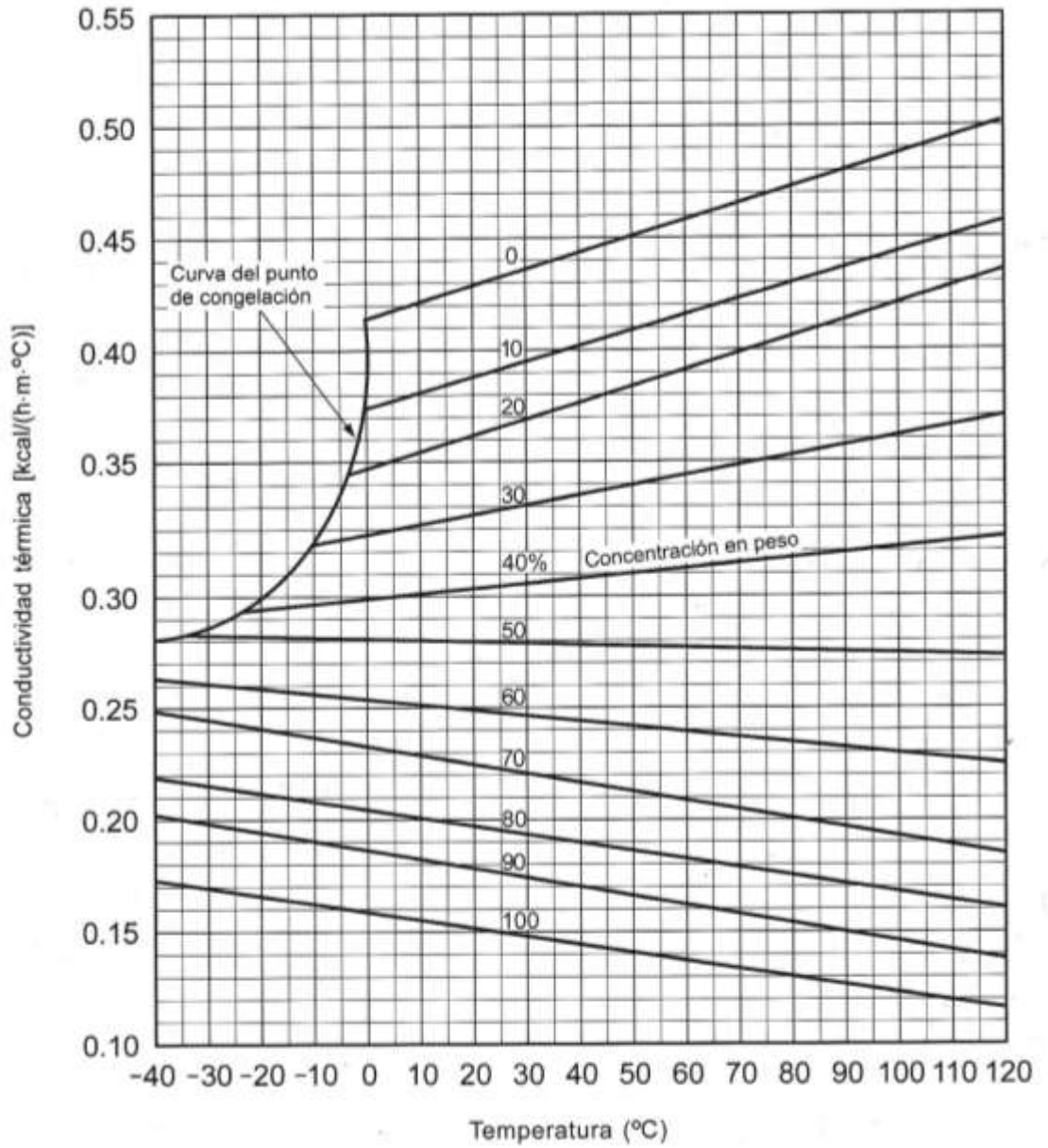


Tabla 13. Punto de ebullición de una disolución de propilenglicol en función de la concentración.

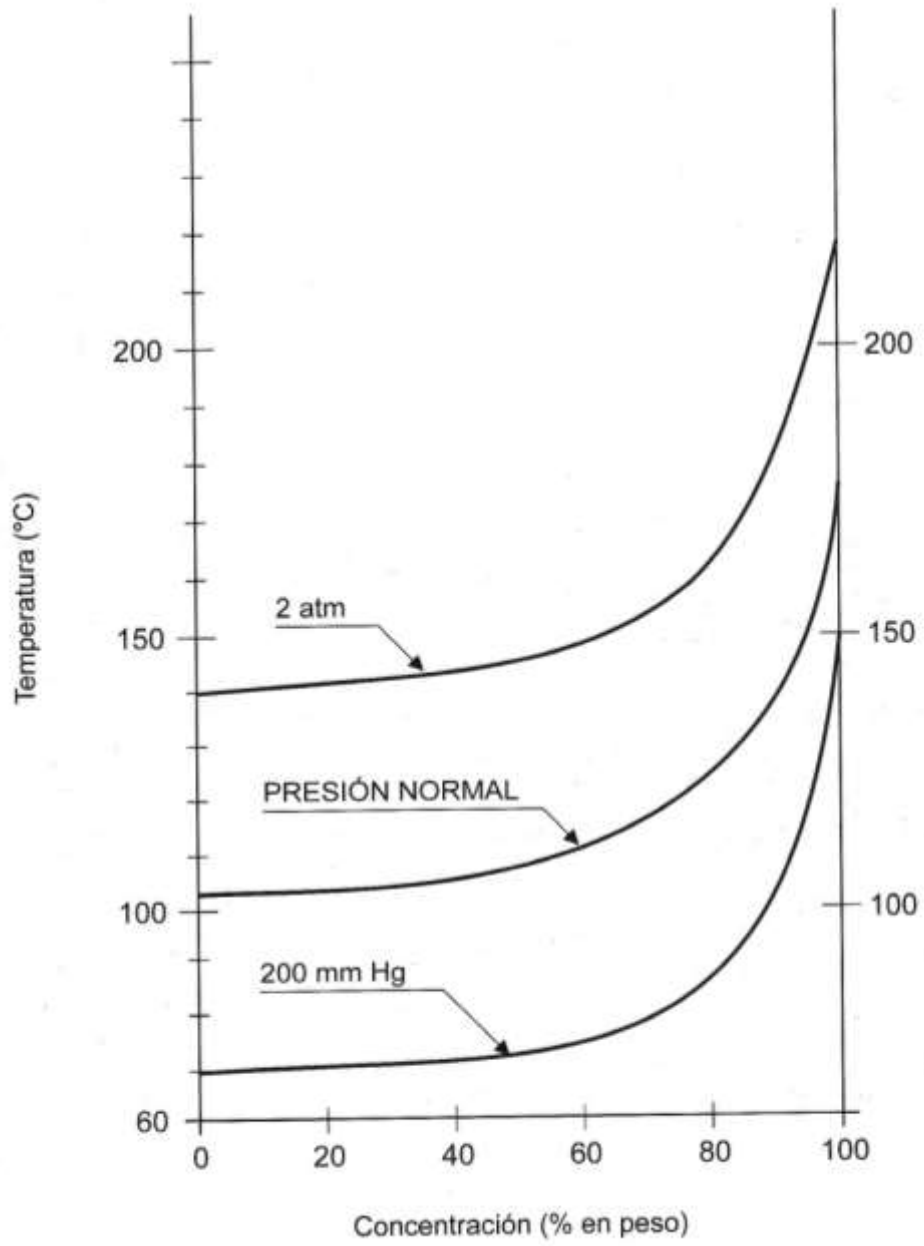


Tabla 14. Curvas de congelación de dos preparados comerciales a base de etilenglicol y propilenglicol respectivamente, con algunos otros aditivos, en función de la concentración.

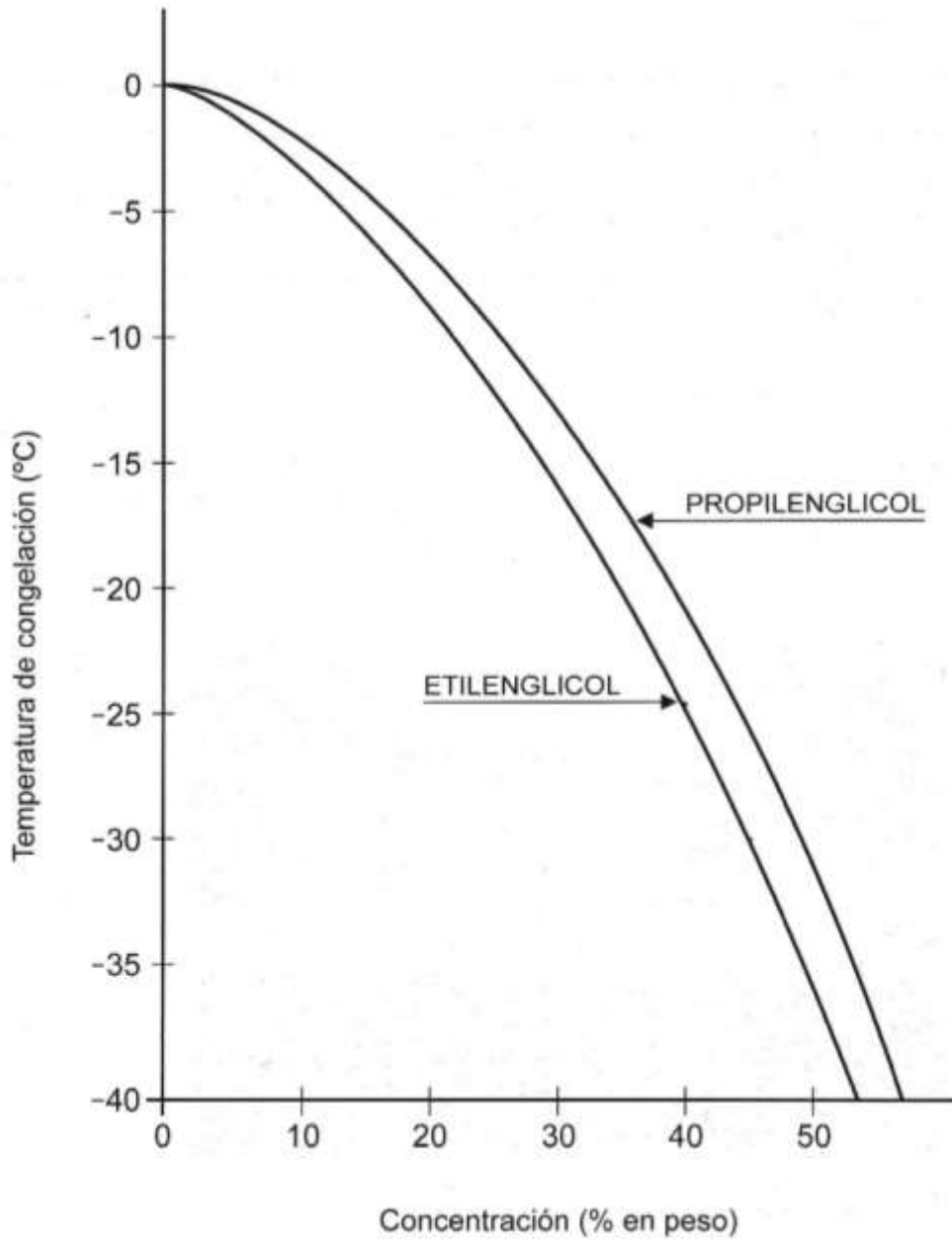
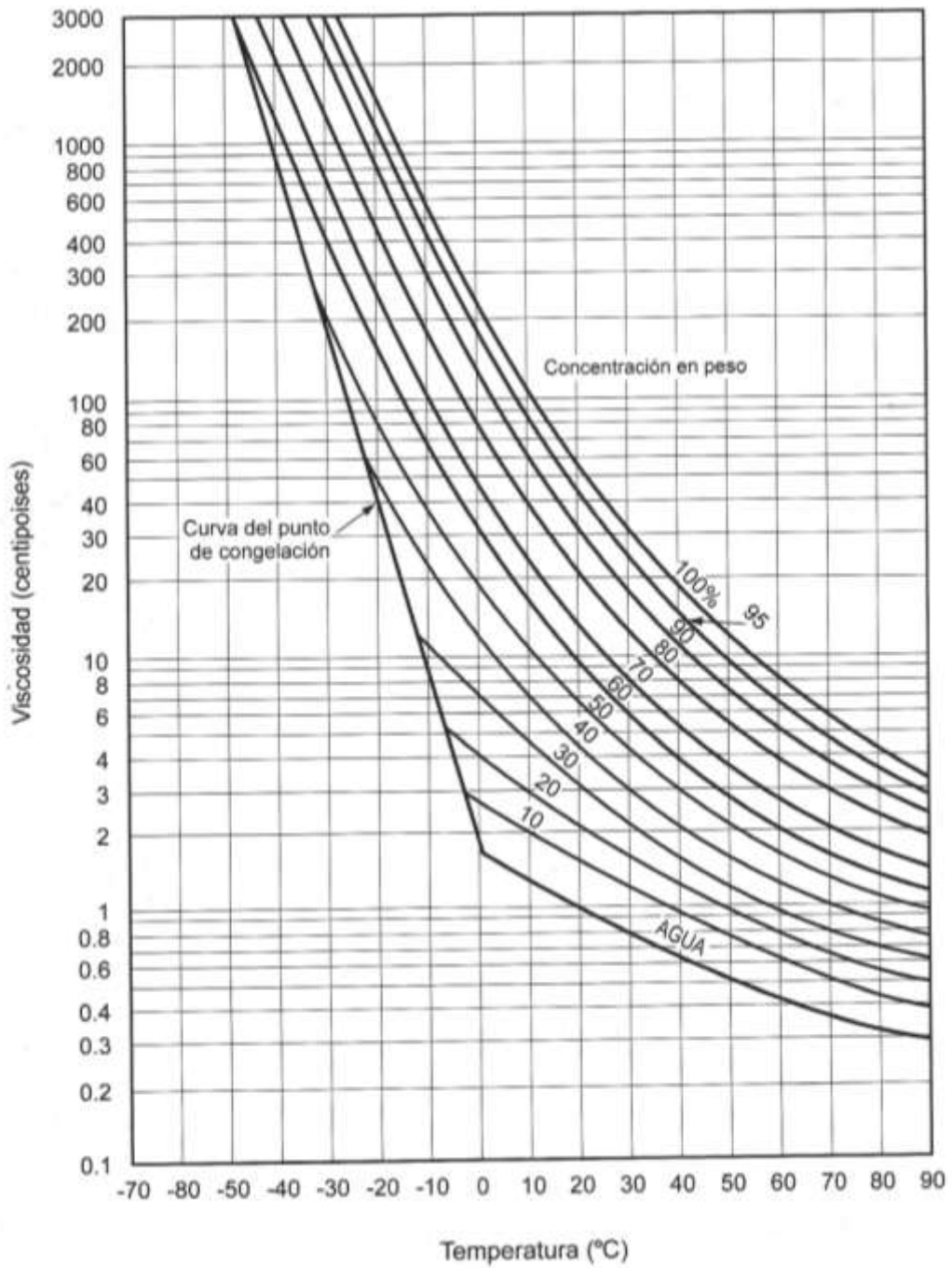




Tabla 15. Viscosidad de una disolución de propilenglicol en función de la temperatura. (La unidad de viscosidad en el SI es el pascal-segundo, que equivale a 1000centipoises).



# **ANEXO III**

## Datos técnicos de componentes

## CONCLUSIONES

Este Trabajo de Fin de Grado ha consistido en diseñar una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en el centro Aspace de Valladolid, cumpliendo con la normativa vigente.

Además de poder plasmar mis conocimientos aprendidos durante la carrera, con la realización de este proyecto he aprendido a desenvolverme mejor con el uso de los distintos reglamentos, así como de intentar buscar la mejor solución comparando catálogos, dos cosas que probablemente van a ser bastante útiles en mi futura vida laboral.

Además, para mí este proyecto ha sido bastante interesante, ya que trata sobre el tema de las energías renovables, en concreto la energía solar, la cual está en auge en España desde hace unos años, y sigue creciendo constantemente, siendo una importante solución para el futuro.

Por último, dar las gracias a mi tutor y a otras personas que, de una forma u otra, me han aportado información necesaria y me han ayudado a buscar la mejor solución para cada problema planteado.