

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

TRABAJO FIN DE GRADO

**OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS TÉRMICOS SOLARES PARA  
VIVIENDAS UNIFAMILIARES AISLADAS.**

**ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA DE LA CASA  
SOLAR DE LA ETSAV Y PROPUESTA DE MEJORAS.**

SEPTIEMBRE 2015

PALABRAS CLAVE

INSTALACION SOLAR TÉRMICA

SOLAR THERMAL INSTALLATION

ENERGIA SOLAR

SOLAR ENERGY

VIVIENDA EFICIENTE

EFFICIENT HOUSING

AHORRO ENERGÉTICO

ENERGETIC SAVING

CONTRIBUCIÓN SOLAR

SOLAR CONTRIBUTION

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado en primer lugar pretende analizar y estudiar de manera general las **instalaciones solares térmicas** para obtener agua caliente sanitaria. Posteriormente se centra en los sistemas de viviendas unifamiliares aisladas, tomando como ejemplo la Casa Solar de la ETSAV.

La Casa Solar, también llamada Urcomante, tiene la peculiaridad de ser una **vivienda eficiente**, funcionando principalmente con **energía solar**. Esto permite conseguir un gran **ahorro energético**, ya que apenas se recurre a las energías no renovables.

El estudio de la instalación está enfocado a la **contribución solar** que se consigue. Al tratarse de una vivienda eficiente energéticamente, se pretende obtener el máximo aporte solar posible, realizando para ello algunas mejoras en la instalación existente.

ABSTRACT

This work firstly tries to analyze and study in a general way the **solar thermal installation** to obtain warm sanitary water. Later the work focuses on the systems of one-family isolated housings, taking the Solar House of the ETSAV as an example.

The Solar House, also called Urcomante, has the peculiarity of being an **efficient housing**, working principally with **solar energy**. This allows to obtain a great energetic saving, due to the fact that hardly it resort to not renewable energies.

The study of the installation is focused on the **solar contribution** that is obtained. Being an Efficient housing, it is tried to obtain the maximum solar contribution, realizing for it some improvements in the existing installation.

## INDICE

<b>1.- OBJETO DEL TRABAJO</b> .....	<b>5</b>
<b>2.- ESPECIFICACIONES BÁSICAS</b> .....	<b>6</b>
<b>3.- ENERGIA SOLAR TÉRMICA</b> .....	<b>8</b>
3.1.- El sistema energético actual.....	8
3.2.- Las energías renovables .....	9
3.3.- Radiación solar.....	10
3.4.- Energía solar térmica.....	12
<b>4.- INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA ACS. DISEÑO Y ELEMENTOS</b> .....	<b>16</b>
4.1.- Descripción de una instalación solar térmica.....	16
4.2.- Sistemas de una instalación solar térmica .....	17
4.3.- Elementos de una instalación solar térmica.....	18
4.3.1.- Captadores solares.....	18
4.3.2.- Acumuladores.....	23
4.3.3.- Intercambiadores de calor .....	23
4.3.4.- Bombas de circulación.....	24
4.3.5.- Tuberías.....	24
4.3.6.- Válvulas .....	25
4.3.7.- Vasos de expansión.....	25
4.3.8.- Sistema de control .....	25
4.4.- Otros aspectos de la instalación.....	26
<b>5.- CLASIFICACIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS</b> ....	<b>29</b>
5.1.- Clasificación de las instalaciones solares térmicas .....	29
5.1.1.- Principio de circulación.....	29
5.1.2.- Sistema de intercambio de calor.....	30
5.1.3.- Sistema de apoyo .....	31
5.1.4.- Forma de acoplamiento.....	32
5.2.- Tipos de instalaciones de energía solar térmica .....	33
<b>6.- INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES AISLADAS</b> ..	<b>34</b>
<b>7.-EMPLAZAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO</b> .....	<b>35</b>
<b>8.- ESTADO ACTUAL DE LA INSTALACIÓN</b> .....	<b>38</b>
8.1.- Esquema general de la instalación.....	38

8.2.- Elementos de la instalación.....	41
8.2.1.- Distribuidor general.....	41
8.2.2.- Sistema de captación .....	41
8.2.3.- Sistema de control .....	43
8.2.4.- Sistema de intercambio y acumulación .....	43
8.2.5.- Sistema auxiliar.....	43
8.2.6.- Circuito hidráulico.....	44
<b>9.- ESTUDIO DEL SOLEAMIENTO .....</b>	<b>45</b>
<b>10.- CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN ACTUAL.....</b>	<b>48</b>
10.1.- Datos de partida .....	48
10.2.- Cálculo de la contribución solar: Método F-Chart .....	51
10.3.- Cálculo del sistema de acumulación e intercambio.....	58
10.4.- Cálculo del circuito hidráulico .....	59
<b>11.- PROPUESTA DE MEJORAS.....</b>	<b>63</b>
11.1.- Conclusiones del estado actual de la instalación .....	63
11.2.- Contribución total en invierno.....	64
11.3.- Disipador de calor en verano.....	65
11.4.- Posible sustitución de elementos.....	67
11.4.1.- Captadores solares.....	67
11.4.2.- Sistema de bombeo.....	68
11.4.3.- Electrodomésticos.....	68
11.5.- Mantenimiento de la instalación.....	68
11.6.- Resumen de mejoras.....	69
<b>12.- CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN CON MEJORAS .....</b>	<b>70</b>
12.1.- Datos de partida .....	70
12.2.- Cálculo de la contribución solar: Método F-Chart .....	70
12.3.- Cálculo del sistema de acumulación e intercambio.....	72
12.4.- Cálculo del circuito hidráulico .....	73
<b>13.- RESUMEN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO.- FICHAS TÉCNICAS.....</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>87</b>

## **1.- OBJETO DEL TRABAJO**

El objeto del trabajo es el estudio de la instalación solar térmica para abastecer agua caliente sanitaria a la Casa Solar de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, así como la propuesta de mejoras de la misma para su óptimo funcionamiento.

Comienza con una breve explicación de la normativa vigente y de las energías renovables en general, detallando a continuación lo referente a la radiación, la energía solar y sus aplicaciones.

Posteriormente se procede a la descripción de las instalaciones solares térmicas para agua caliente sanitaria, estudiando los diferentes sistemas y elementos que la componen, así como su clasificación y tipología. En concreto el trabajo se centrará en los sistemas para viviendas unifamiliares aisladas, tomando como ejemplo la instalación existente en la Casa Solar de la ETSAV.

Con el correspondiente estudio del soleamiento mediante el programa ECOTECT, el cálculo del aporte solar de la instalación existente empleando el método F-Chart y el análisis de los actuales sistemas térmicos que se encuentran en el mercado, se proponen una serie de mejoras y cambios en la instalación.

Por último se realizará un nuevo cálculo, incorporando las mejoras propuestas, para la comprobación de su óptimo funcionamiento.

## 2.- ESPECIFICACIONES BÁSICAS

Las especificaciones del presente trabajo están definidas por la normativa vigente en el ámbito de las instalaciones solares térmicas en edificios:

**Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE - Ahorro de energía.** *Ministerio de Fomento.*

Este Documento Básico tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las Exigencias básicas de Ahorro de Energía, destinadas a conseguir un uso racional de la energía, es decir, reducir a límites sostenibles su consumo así como conseguir que una parte de este provenga de fuentes de energía renovable gracias a las características del proyecto, construcción, uso y mantenimiento. Para ello, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán siguiendo las indicaciones que establecen dichas exigencias básicas.

Para la realización del presente trabajo se tendrá en cuenta la Exigencia Básica HE-4: Contribución Solar Mínima de ACS citada a continuación:

*"En los edificios, con previsión de demanda de agua caliente sanitaria o de climatización de piscina cubierta, en los que así se establezca en este CTE, una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirá mediante la incorporación en los mismos de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura, adecuada a la radiación solar global de su emplazamiento y a la demanda de agua caliente del edificio. Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial."*

Esta exigencia se aplica a los edificios de nueva construcción y rehabilitación de los existentes en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria y/o climatización de piscina cubierta, independientemente de su uso.

**Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus instrucciones Técnicas.** *Real Decreto 1027/2007, del 20 de julio de 2007.*

El RITE, o Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios, y que están presentes durante el diseño y dimensionado, así como en la ejecución, mantenimiento y uso de la instalación térmica, para lo que se dividen en exigencias de bienestar e higiene, eficacia energética, y seguridad.

### 3.- ENERGIA SOLAR TÉRMICA

#### 3.1.- El sistema energético actual

La energía es el motor de todas las actividades de los seres vivos del planeta, incluidas las de los seres humanos. Esta energía puede obtenerse a través de los recursos existentes en la naturaleza, son las llamadas fuentes de energía, que pueden clasificarse, en función de las reservas disponibles y de su capacidad de regeneración, en energías renovables y energías no renovables. Se denominan renovables cuando se puede recurrir a ellas de forma permanente porque son inagotables, por ejemplo: el sol, el agua o el viento. Por otro lado, las no renovables, son aquellas fuentes de energía cuyas reservas son limitadas y, por tanto, pueden agotarse, por ejemplo: el petróleo o el carbón. A medida que las reservas son menores, es más difícil su extracción y aumenta su coste.

La energía que se obtiene de la naturaleza se denomina energía primaria. Para poder utilizarla son necesarias sucesivas operaciones de transformación y transporte. La energía utilizada en los puntos de consumo se denomina energía final, por ejemplo: la electricidad y el gas natural consumidos en las viviendas.

El **rendimiento** del sistema energético actual, es decir, la relación entre la energía final consumida y la energía primaria empleada, es muy bajo: del orden del 2,5%. (Rufes Martínez, 2010). Este hecho, junto con los que se citan a continuación, son los principales **problemas** del actual sistema:

1. Agotamiento de los combustibles fósiles
2. Efecto invernadero y cambio climático
3. Impacto ambiental y lluvia acida
4. Desequilibrio y tensiones sociales

### 3.2.- Las energías renovables

Las fuentes de energía renovables han sido aprovechadas por el hombre desde hace mucho tiempo, y su empleo continuó durante toda la historia hasta la llegada de la Revolución Industrial, en la que apareció el carbón, y posteriormente el petróleo y el gas natural, dejando de un lado estas fuentes renovables.

Durante los últimos años se está produciendo un renacer de las energías renovables, pensando en el futuro agotamiento de estas fuentes de energía fósiles, en la dependencia exterior de muchos países de éstas, en el progresivo incremento de su coste y en los problemas medioambientales derivados de su explotación, transporte y consumo.

Las **energías renovables** son aquellas que se producen de manera continua, sin que se agote la fuente de energía de la que provienen, debido a la inmensa cantidad de energía que contienen o a que tienen un ritmo de generación natural muy superior al del consumo.

En cambio, las **energías no renovables** son aquellas que provienen de fuentes de energía que están disponibles en cantidades limitadas, o que tienen un consumo muy superior al ritmo de regeneración.

Por ejemplo, las energías fósiles se crearon mediante un proceso que duró miles de años, mientras que la energía obtenida por ellas se consumirá en solo unos cientos. Por el contrario, las energías renovables son parte de la energía que el Sol aporta a la Tierra en cada momento, por lo que son inagotables.

Con las energías renovables podemos obtener las dos formas de energía más utilizadas actualmente, **el calor y la electricidad**, siendo respetuosas con el medio ambiente, ya que no emiten gases contaminantes ni generan residuos peligrosos, mientras que el impacto medioambiental de las energías convencionales en la generación de calor y electricidad es más de treinta veces superior al de las energías renovables.

Las energías renovables más desarrolladas actualmente son:

Energía de la biomasa, eólica, geotérmica, hidráulica, y **energía solar**.

### 3.3.- Radiación solar

El **Sol** es una estrella en cuyo núcleo tienen lugar una serie de reacciones nucleares de fusión que generan energía que se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar.

La radiación emitida por el Sol que incide sobre la atmosfera terrestre en un plano perpendicular a la dirección de esta radiación es la llamada constante solar, ya que a esa distancia Sol-Tierra de  $149,6 \times 10^6$  Km la radiación es casi constante. El valor de esta **constante solar** es de  $1.353 \text{ W/m}^2$ , variable durante el año un  $\pm 3\%$  (Méndez Muñiz, 2008) a causa de la elipticidad de la órbita terrestre.

Esta energía emitida por el Sol llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas que se desplazan por el espacio en todas las direcciones, un fenómeno que se conoce como radiación. El Sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético, sin embargo, para el aprovechamiento de su energía sólo es importante la llamada **radiación térmica**, que incluye el ultravioleta (UV), la radiación visible y la infrarroja (IR).

La **figura 3.1** muestra la distribución espectral de la radiación solar, donde se destaca la zona de radiación térmica.

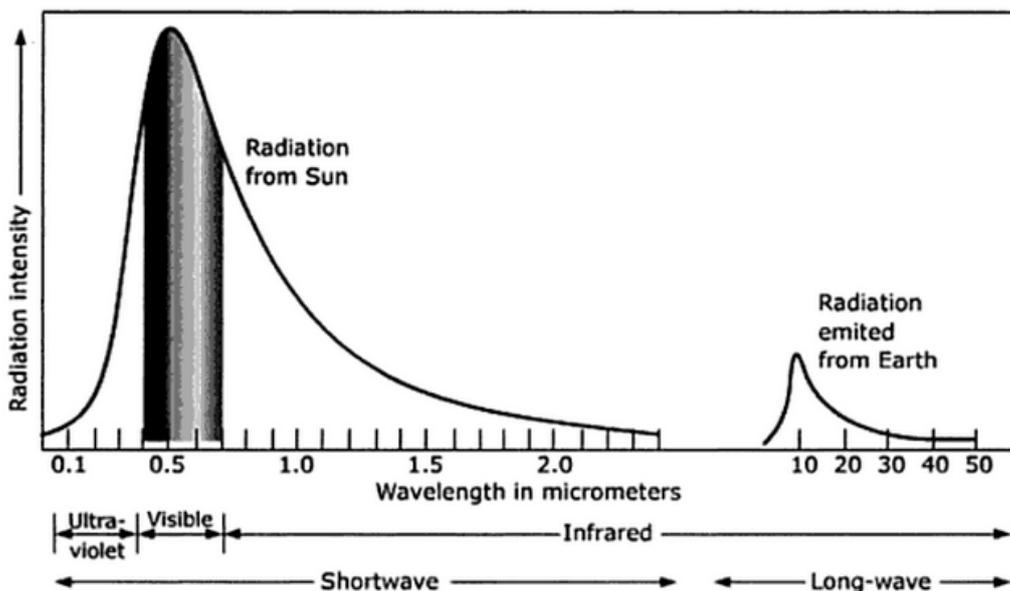


Imagen 3.1 Espectro de la radiación solar

Fuente: Méndez Muñiz, 2008

A la Tierra solo llega una parte de la energía total interceptada por la atmósfera, ya que en el momento de atravesarla, la radiación solar experimenta diversos fenómenos de reflexión, absorción y difusión que disminuyen la intensidad final. En función de cómo inciden los rayos en una superficie terrestre se distinguen **tres componentes de la radiación solar**:

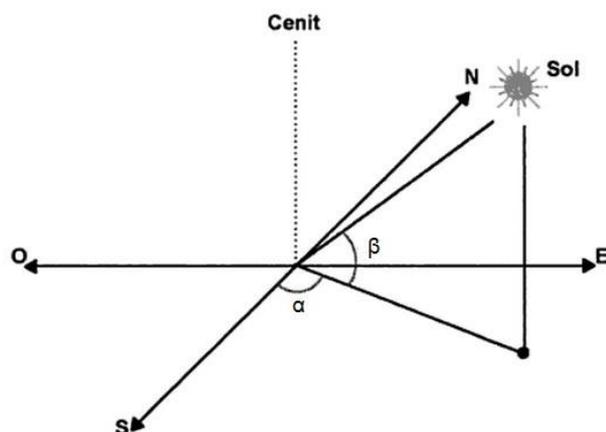
- **Directa:** Llega directamente del Sol sin cambios de dirección en su paso por la atmósfera.
- **Difusa:** Sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.
- **Reflejada:** Procede de las componentes directa y difusa, reflejadas en el suelo o superficies próximas.

Las proporciones de radiación de estos tres componentes que recibe una superficie dependen de las condiciones meteorológicas, la inclinación de la superficie respecto el plano horizontal y la presencia de superficies reflectantes. Aun así, la radiación directa es la mayor y la que más interesa en el presente trabajo, despreciándose la reflejada.

La radiación directa no puede incidir sobre una superficie cuando hay obstáculos por medio, por eso es necesario el estudio del **movimiento del Sol** para observar como varían las sombras generadas por dichos obstáculos, ya que son diferentes en una estación u otra. Para conocer el movimiento del sol se utilizará un sistema de coordenadas con dos ángulos:

**Azimut solar ( $\alpha$ ):** Ángulo horizontal formado por la posición del Sol y la dirección del verdadero sur.

**Altura solar, elevación ( $\beta$ ):** Ángulo formado por la posición aparente del Sol con el plano horizontal.



### 3.4.- Energía solar térmica

Como se explica en el apartado anterior, la energía solar directa es aquella que se obtiene directamente del sol, sin transformar, y que se emplea para iluminar y calentar. Con la incorporación de acristalamientos y elementos constructivos con alta capacidad de absorción se consigue la denominada **energía solar térmica pasiva**.

Por otro lado, esta energía solar procedente directamente del sol se puede **transformar** para el mejor aprovechamiento de la radiación. Para ello, necesita sistemas de captación y almacenamiento. Con estos sistemas, la radiación solar puede aprovecharse de dos maneras diferentes:

- Transformación de la radiación solar en **calor**:

Cuando la radiación que proviene del Sol se aprovecha para **calentar fluidos** que circulan por el interior de captadores solares térmicos, se denomina **energía solar térmica**. Este calor puede utilizarse para producir agua caliente destinada al consumo doméstico, es decir, agua caliente sanitaria, calefacción, calentamiento de piscinas, etc.

- Transformación de la radiación solar en **electricidad**:

Cuando la radiación que proviene del Sol se transforma en electricidad por medio de los elementos semiconductores que integran los paneles solares fotovoltaicos, se denomina **energía solar fotovoltaica**. Esta electricidad obtenida puede ser utilizada de diferentes maneras, como puede ser de forma directa, almacenándola en baterías para usarla en otro momento, o incluso pudiéndose introducir en la red de distribución eléctrica.

La **energía solar térmica** es una de las formas más rentables de aprovechar la radiación solar. Tiene numerosas aplicaciones como pueden ser climatización de piscinas, producción de ACS, apoyo a sistemas de calefacción e incluso procesos industriales. Es decir, se emplea en todos aquellos casos en los que se necesite elevar la temperatura de un fluido. En el presente trabajo el estudio se centrará en la **producción de agua caliente sanitaria (ACS)** para viviendas unifamiliares aisladas.

La producción de agua caliente sanitaria es la aplicación más extendida de cuantas ofrece la energía solar térmica actualmente. Además, obtener ACS a partir de la energía solar térmica es una de las mejores soluciones, ya que es la que mejor se adapta a las exigencias y características de una instalación de agua caliente. Las principales razones son:

- Los niveles de temperatura que se precisan alcanzar en la instalación de ACS, entre 40°C y 60°C, coinciden con los más adecuados para el correcto funcionamiento y eficacia de los captadores disponibles en el mercado.
- La demanda de ACS es una necesidad que está presente durante todo el año, a diferencia de la calefacción o el calentamiento de piscinas, que son estivales. Por lo tanto la inversión en la instalación solar para ACS se rentabilizará más rápidamente que en los otros casos.

Con los sistemas actuales de energía solar térmica se puede llegar a cubrir entre el 50% y el 80% de la demanda anual de ACS, aunque esto varía en función de la localización. En la mayoría de los casos, el principal objetivo de una instalación solar térmica es conseguir el máximo ahorro de energía convencional, y por lo tanto, un ahorro económico. Para satisfacer la mayor parte de la demanda, será necesario estudiar cada caso en su propio contexto. Por ejemplo, en las viviendas unifamiliares en las que se instale este sistema, cada vez más común, no se puede permitir un diseño demasiado sofisticado, ya que los costes de instalación y mantenimiento no serían compensados con el ahorro de combustible, haciendo completamente antieconómica la instalación.

La eficiencia global de la instalación depende tanto del buen diseño de la misma, como de su correcta instalación, la calidad de todos los componentes del sistema y su interrelación, y la correcta supervisión y mantenimiento del conjunto.

Para conseguir una **eficiencia** adecuada se han definido **cuatro principios** generales (Méndez Muñiz, 2008), independientes entre sí, que han de cumplirse en una instalación solar térmica:

- **Principio 1: Captar el máximo posible de energía solar.**

Para ello será necesaria una buena orientación e inclinación de la superficie de captación así como un correcto dimensionado en función de la demanda energética necesaria y de la energía solar disponible en el emplazamiento, sin olvidar la importancia de la regulación de la captación de dicha energía.

- **Principio 2: Consumo prioritario de la energía solar.**

Teniendo en cuenta que la energía convencional no es gratuita, lo ideal sería que todo el consumo se consiguiese a partir de energía solar, adaptando los periodos de consumo a los de captación. Pero esto en la mayoría de los casos es imposible, siendo necesario el empleo del sistema auxiliar cuando se agota la energía de origen solar.

Por lo tanto, el diseño del sistema de acumulación debe favorecer un uso prioritario de la energía solar frente a la auxiliar, por lo que resulta imprescindible separar la acumulación solar de la convencional.

- **Principio 3: Asegurar la correcta complementariedad entre energía solar y convencional.**

Normalmente la temperatura obtenida mediante la captación de energía solar es inferior a la de consumo, por lo que se empleará la mínima energía auxiliar para obtener una temperatura aceptable de uso.

Esta complementariedad se puede obtener de varias formas, como por ejemplo mediante un equipo modulante instantáneo conectado en serie con la acumulación solar, o con otro depósito de acumulación calentado por energía auxiliar para aportar la energía térmica necesaria cuando el sistema solar no sea suficiente. Ésta última solución es la más común actualmente.

- **Principio 4: No calentar la acumulación solar con el sistema auxiliar.**

En la instalación se deben disponer dos depósitos separados, uno para la acumulación solar y otro para la convencional. Además, según la HE4, no está permitido conectar un sistema de generación auxiliar en el

acumulador solar para evitar que disminuyan las prestaciones energéticas de la instalación solar.

Con el cumplimiento de estos principios se garantiza el correcto funcionamiento de la instalación, con un elevado rendimiento de conversión solar. Además se evitan los problemas más frecuentes en los sistemas de obtención de ACS por energía solar, como son:

- La falta o mala concepción del sistema de regulación en el diseño de la instalación, que hace trabajar indebidamente al sistema auxiliar y conlleva a un bajísimo rendimiento económico.
- La falta de un control o mantenimiento adecuados, provocando que la instalación solar deje de funcionar, recayendo todo el trabajo en el sistema auxiliar. Esto puede llevar al agotamiento del depósito de combustible o al aumento considerable de la factura.

## 4.- INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA ACS. DISEÑO Y ELEMENTOS

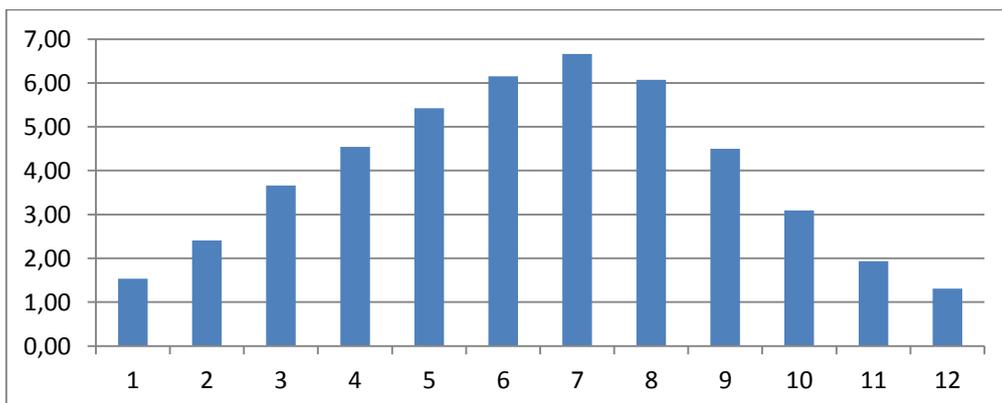
### 4.1.- Descripción de una instalación solar térmica

“Una instalación solar térmica, es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que permite captar la energía solar disponible y transformarla en calor de forma que se pueda utilizar en diferentes necesidades.” (Méndez Muñiz, 2008).

El **rendimiento** o eficacia global de la instalación está condicionado no solo por el propio diseño de cada uno de sus componentes, sino también por la interrelación de éstos entre sí.

El principal objetivo de estas instalaciones es conseguir el máximo **ahorro de energía convencional**, intentando aprovechar la mayor cantidad de energía solar posible. Esto depende de varios factores, algunos controlables como la orientación, inclinación y posición de los captadores, y otros que no lo son como la localización geográfica o las condiciones meteorológicas del lugar.

Con el fin de optimizar, las instalaciones solares se diseñan para que produzcan la energía necesaria en los meses de verano, ya que es la época de mayor radiación solar. Por lo tanto, para cubrir las necesidades en invierno, es necesario el sistema de producción auxiliar. En la **gráfica 4.1** se puede ver como se reparte la energía solar en los diferentes meses del año en la ciudad de Valladolid.



Gráfica 4.1 Radiación solar Valladolid kWh/m<sup>2</sup> día

Se trata de un sistema solar de baja temperatura ya que la temperatura de trabajo es menor de 100°C. Esta instalación, de forma general, requiere el acoplamiento de varios sistemas, que se detallan a continuación.

#### 4.2.- Sistemas de una instalación solar térmica

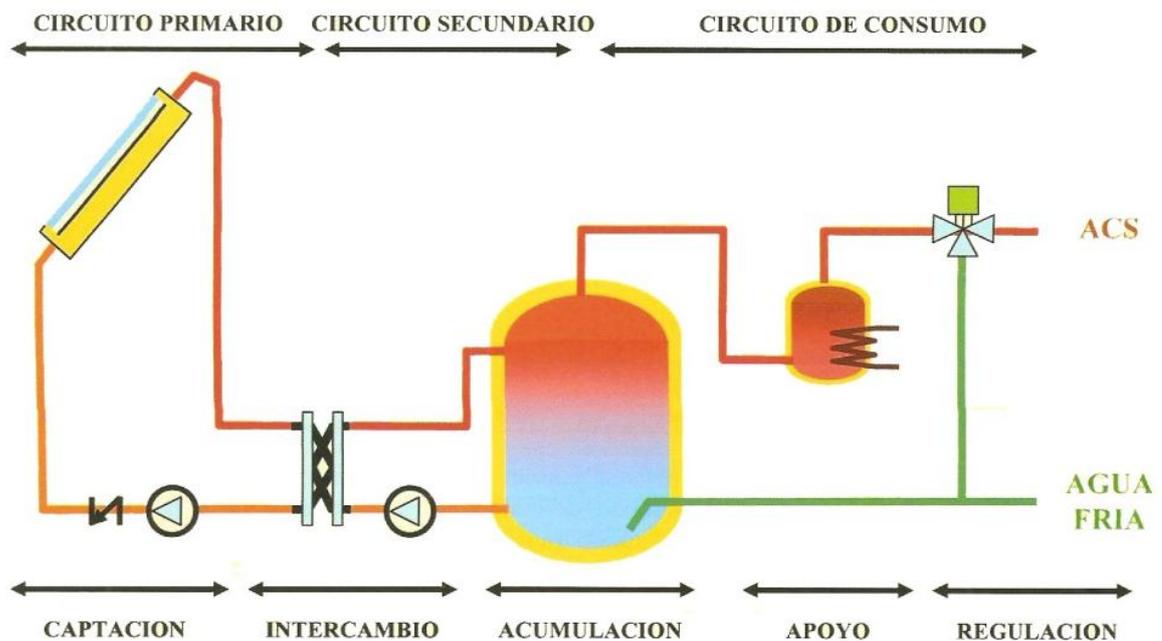


Imagen 4.2 Esquema general instalación solar térmica

Fuente: DTIE 8.04

En la **imagen 4.2** se muestra un esquema de funcionamiento básico de una instalación solar térmica, que consta de los siguientes sistemas:

- **Sistema de captación:** Encargado de captar la radiación solar incidente y transformarla en energía térmica aumentando la temperatura del fluido de trabajo.
- **Sistema de intercambio:** Transfiere el calor del fluido de trabajo que circula por el circuito primario al agua que circula por el circuito secundario.
- **Sistema de acumulación:** Almacena la energía térmica producida en forma de agua caliente hasta que se precise su uso debido a que la demanda exceda la capacidad de producción.

- **Sistema hidráulico:** Hace circular el fluido de trabajo y el agua de consumo por los correspondientes circuitos de la instalación.
- **Sistema de control:** Encargado de asegurar el correcto funcionamiento de la instalación para proporcionar un buen servicio y aprovechar la máxima energía solar térmica posible.
- **Sistema de energía de apoyo:** También llamado sistema auxiliar, que complementa el aporte solar suministrando la energía adicional necesaria para cubrir la demanda prevista.

Estos sistemas, a su vez se encuentran agrupados dentro de tres circuitos hidráulicos:

- **Circuito primario:** Está formado por los captadores y las tuberías que los unen y que transportan el fluido de trabajo hasta el sistema de intercambio.
- **Circuito secundario:** Es el que recoge la energía procedente del circuito primario a través del sistema de intercambio y posteriormente la trasfiere al sistema de acumulación.
- **Circuito de consumo:** Es aquel por el que circula el agua de consumo. Parte de la red de alimentación de agua fría y llega a los puntos de consumo, pasando por los elementos de regulación necesarios para adecuar la temperatura a las necesidades de uso.

### 4.3.- Elementos de una instalación solar térmica

Toda instalación solar térmica debe incluir una serie de componentes necesarios para el correcto funcionamiento de la misma. Por un lado están los elementos de seguridad, que son obligatorios en cualquier caso, y por otro lado aquellos que permiten mejorar el rendimiento y mantenimiento de la instalación. A continuación se describen los principales elementos que forman una instalación solar térmica.

#### 4.3.1.- Captadores solares

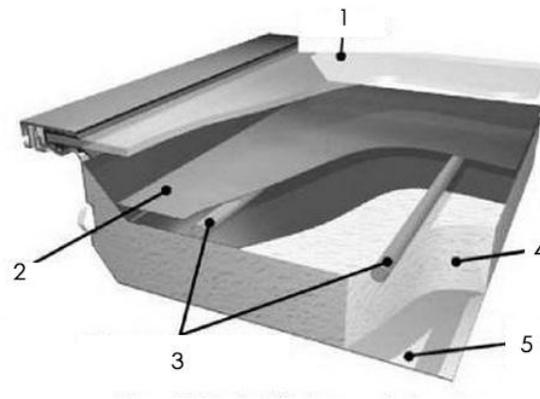
El captador o colector solar es el componente más importante de cualquier sistema solar térmico. Se encarga de captar la energía solar

incidente, convertirla en energía térmica y cederla al fluido caloportador que circula a través de él.

Básicamente pueden distinguirse **cuatro tipos de captadores** solares térmicos: captadores planos, de tubos de vacío, planos de concentración (CPC) y los cilindro-parabólicos.

En el presente trabajo solo se hablará de los captadores planos y de los tubos de vacío, haciendo posteriormente una comparativa entre ellos en cuanto al rendimiento.

El **captador plano** o captador de placa plana está formado por los siguientes componentes, señalados en la **imagen 4.3**.



**Imagen 4.3 Detalle de un captador plano**

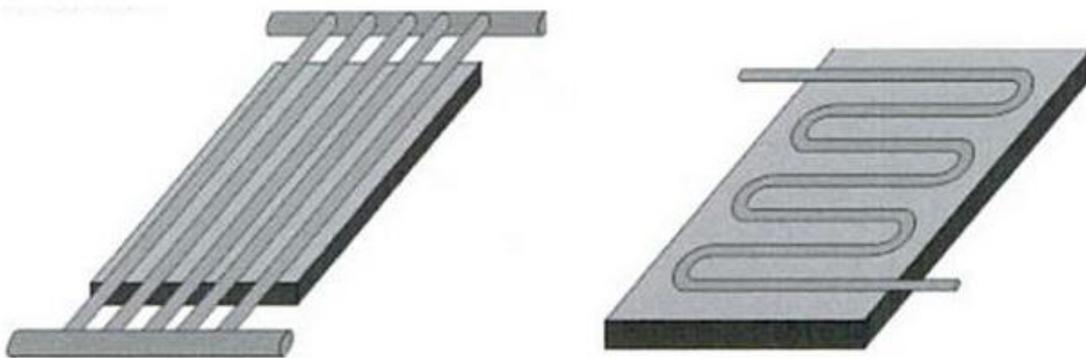
1.- **Cubierta transparente:** Sobre ella inciden los rayos de sol. Su función principal consiste en crear el efecto invernadero, además de reducir las pérdidas térmicas por convección y asegurar la estanqueidad del colector al agua, viento y otros agentes meteorológicos. Para ello se debe de escoger un material que permita dicho efecto invernadero y que tenga un coeficiente de dilatación pequeño y una buena resistencia mecánica, como pueden ser el vidrio o los plásticos transparentes.

El efecto invernadero se produce gracias al comportamiento de los materiales frente a diferentes longitudes de onda, ya que un cuerpo puede ser transparente a una determinada longitud de onda mientras que para otras actúa como un cuerpo opaco. La radiación atraviesa la cubierta e incide

sobre el absorbedor, que se calienta y emite radiación, pero con una longitud de onda mayor, por lo que el vidrio se comporta como un material opaco impidiendo la salida de la radiación. Ésta radiación atrapada hace que aumente la temperatura en el interior del captador solar, generando así el efecto invernadero.

2.- **Placa absorbente o absorbedor:** Se encarga de recibir la radiación solar, transformarla en calor y transmitirla a las tuberías, que calientan al fluido caloportador. Se trata de una placa metálica, generalmente de cobre o de aluminio, sobre la que se sueldan o embuten las tuberías por las que circula el fluido. La placa absorbente deberá tener una gran absorción de la radiación y una baja emisividad con el fin de no tener pérdidas. Esto se consigue gracias a la aplicación de un revestimiento denominado superficie selectiva.

3.- **Tuberías:** La disposición de las tuberías puede ser de dos tipos. Por un lado, de tipo parrilla con dos colectores que constituyen los conductos de distribución, y por el otro, de tipo serpentín. En ambos casos el material más empleado para estas tuberías es el cobre, calculándolas de tal manera que se minimicen las pérdidas de carga.



**Imagen 4.4 Tuberías tipo parrilla / Tuberías tipo serpentín**

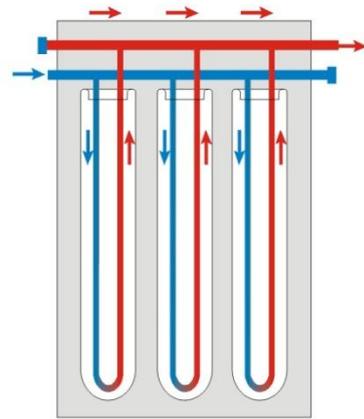
4.- **Aislamiento:** Minimiza las pérdidas térmicas del absorbedor en los laterales y en su parte posterior. El tipo de aislante elegido debe de poder soportar las temperaturas máximas que puede alcanzar el captador durante el verano cuando el sistema está parado.

5.- **Carcasa:** Protege y soporta todos los elementos que componen el captador a la vez que permite su fijación a la estructura del edificio. Debe de ser rígida, fácil de anclar y capaz de resistir los cambios de temperatura y la corrosión. Además, se deben prever orificios de ventilación en la parte inferior para evitar las condensaciones internas.

En cuanto al **captador de tubo de vacío** existen dos tipos, según el método empleado para el intercambio de calor entre la placa y el fluido caloportador.

Por un lado están los **captadores de flujo directo**.

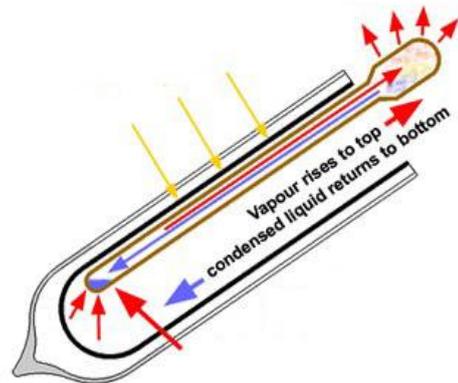
Formados por una serie de tubos de vidrio a los que se les hace el vacío consiguen casi la total eliminación de pérdidas por convección y conducción. Dentro de cada tubo se encuentra la placa absorbente (absorbedor) con recubrimiento selectivo, que absorbe el calor de la radiación solar, y un tubo de cobre unido a ella por el que circula el fluido caloportador. Este



fluido pasa por la tubería y mientras la recorre va adquiriendo el calor que le transmite la placa absorbente, de modo que por un lateral del colector solar entra el fluido y por el otro sale, calentándose durante todo el recorrido.

Por otro lado están los llamados **captadores de vacío con tubo de calor**, más conocidos como Heat Pipe.

En este caso el intercambio de calor se realiza mediante la utilización de un tubo de calor situado dentro de cada tubo de vacío, que permite transmitir una gran cantidad de calor a partir de una pequeña diferencia de temperatura entre sus extremos. El tubo de calor consiste en un tubo hueco cerrado por los dos extremos al que se le aplica el vacío y en cuyo interior hay una pequeña cantidad de fluido vaporizante. Cuando se calienta la parte del tubo donde se encuentra el fluido (extremo inferior o foco caliente), éste se evapora y asciende hasta llegar a la parte superior, donde está el foco frío o condensador. El vapor se



condensa, cediendo calor y volviendo al estado líquido, de modo que el ciclo se inicia de nuevo.

De esta forma, la radiación solar incide sobre la placa absorbidora situada dentro de los tubos de vacío, a la que se le adosa un tubo de calor, provocando la evaporación del fluido, que absorbe el calor y lo transfiere a la parte superior. En ese punto el vapor se enfría y cede el calor al fluido caloportador del circuito primario.

A igualdad de superficie, los captadores de tubos de vacío tienen **mayor rendimiento térmico** que los captadores planos, además de permitir alcanzar temperaturas más elevadas. Esto se debe a las pérdidas por radiación, conducción y convección producidas durante la conversión de energía radiante del Sol en energía térmica, siendo mayores en los captadores planos. Estas pérdidas reducen el rendimiento a medida que aumenta la diferencia de temperatura entre la placa absorbidora y el ambiente. En el caso de los captadores planos se aplican medidas para mejorar la eficiencia y reducir las pérdidas como la cubierta de vidrio, el recubrimiento selectivo de la placa, o la eliminación del aire del interior del colector, pero para conseguir reducir aún más estas pérdidas la mejor opción es el empleo del vacío.

Por lo tanto, la eficiencia de los captadores se ve afectada por una serie de factores, como son la temperatura ambiente o la temperatura de utilización de la instalación. Ésta eficiencia se define mediante la curva de rendimiento del captador, que indica la cantidad de energía que se puede aprovechar, siendo mucho más eficiente en los captadores de tubo de vacío, por lo que son más indicados para lugares fríos donde hay más diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente y la del colector.

Además el vacío no solo ayuda a reducir las pérdidas sino que también minimiza la influencia de las condiciones climáticas, mejorando la durabilidad y el rendimiento global de la instalación.

#### 4.3.2.- Acumuladores

Es necesario disponer de un sistema de acumulación que permita satisfacer la demanda en momentos de poca o nula radiación solar y almacenar la energía producida por el sistema de captación en momentos de poco o nulo consumo.

Se tratan de depósitos aislados térmicamente, que en muchos casos incorporan un intercambiador de calor en su interior. Por lo general en instalaciones pequeñas se emplean los interacumuladores, es decir, acumuladores con intercambiador en el interior, mientras que si se trata de una instalación grande se opta por un sistema de intercambio externo.

El empleo de acumuladores verticales tiene la ventaja de favorecer la **estratificación del agua**, muy importante para mejorar el funcionamiento de la instalación. La estratificación consiste en la formación de capas de agua en función de su densidad de manera que el agua más fría esté en la parte baja del depósito y la más caliente en la parte alta. De esta forma, se consigue un mayor rendimiento por dos motivos:

- El agua de la parte superior del acumulador, que es la que tiene mayor temperatura, es la que se dirige hacia los puntos de consumo. Por lo tanto, si el agua está a una temperatura adecuada el sistema de apoyo necesitará aportar menos energía.
- En la parte inferior del depósito se necesita la temperatura más baja posible. Esto favorece al intercambio de calor entre el circuito de captación y el agua acumulada ya que cuanto más fría sea el agua que entra en los captadores más energía captan.

#### 4.3.3.- Intercambiadores de calor

Es el elemento en el que se lleva a cabo la transferencia de calor del fluido que circula por el sistema de captación al agua del sistema de acumulación, sin que se mezclen entre ellos.

Una propiedad importante de los intercambiadores de calor es la **compacidad**, que es la relación entre la superficie de intercambio de calor y el volumen. Es más conveniente una compacidad alta, lo que quiere decir que

la superficie de intercambio sea más grande en comparación al volumen contenido.

Hay varios tipos de intercambiadores de calor, pero principalmente se diferencian entre internos y externos.

Los más comunes en instalaciones pequeñas como es nuestro caso son los intercambiadores internos (o interacumuladores) de serpentín. Se tratan de tubos sumergidos en el acumulador y curvados en espiral para tener una gran longitud de tubo en un reducido espacio, ya que a mayor longitud mayor superficie de intercambio. Este serpentín se ubica en la parte más baja del depósito porque es la zona más fría, consiguiéndose una mayor diferencia de temperatura entre el agua calentada por los captadores solares y el agua fría del depósito, aumentando así la potencia térmica.

#### 4.3.4.- Bombas de circulación

Las bombas de circulación son necesarias en los circuitos hidráulicos para poder vencer la resistencia al circular el fluido por las tuberías y accesorios. Las bombas empleadas son del tipo centrífugo y constan de un motor eléctrico que mueve una turbina que se encuentra encerrada en una carcasa. Con el movimiento circular de la turbina se toma el fluido por la parte central y lo lanza hacia el exterior, dándole la presión necesaria para vencer las pérdidas de carga.

#### 4.3.5.- Tuberías

Las tuberías son los elementos de unión de los diferentes componentes que integran una instalación térmica.

Los materiales empleados varían en función de las condiciones de funcionamiento, facilidad de montaje y posterior mantenimiento siendo los principales el cobre, el acero inoxidable y los materiales plásticos.

Se ha de tener en cuenta la dilatación térmica de las tuberías producida por las variaciones de temperatura. A la hora de realizar la instalación, los elementos de sujeción deben permitir la dilatación y contracción de dichas tuberías.

#### 4.3.6.- Válvulas

Las válvulas son elementos que se encuentran intercalados a lo largo de todo el circuito hidráulico y que permiten regular e interrumpir el paso del fluido en la instalación.

Existen diferentes tipos de válvulas dependiendo de la función que desempeñan y las condiciones de funcionamiento (presión y temperatura). Las principales son las válvulas de esfera, de asiento, de resorte, de clapeta, de equilibrado y las termostáticas.

#### 4.3.7.- Vasos de expansión

Estos elementos permiten absorber los cambios de volumen del fluido contenido en un circuito cerrado producidos por variaciones de temperatura, manteniendo la presión entre los límites preestablecidos.

Pueden ser abiertos o cerrados, aunque actualmente los vasos de expansión abiertos no son recomendados para instalaciones solares térmicas debido a varios inconvenientes como las pérdidas de calor y de fluido por evaporación y rebosamiento, la presencia de suciedad en la instalación o el contacto del fluido con el aire de la atmósfera, que favorece la corrosión.

Los vasos de expansión cerrados son depósitos estancos formados por dos volúmenes separados por una membrana interior. Uno de ellos está conectado a la instalación, mientras que el otro contiene gas, generalmente nitrógeno. Cuando la temperatura sube y el fluido aumenta su volumen, empuja a la membrana, que a su vez comprime al gas del otro volumen, consiguiendo mantener la presión del circuito constante. Cuando el fluido se enfría, el gas vuelve a su volumen inicial, empujando este fluido hacia el circuito.

#### 4.3.8.- Sistema de control

El sistema de control de la instalación gobierna una serie de elementos como bombas o válvulas, basándose en la información obtenida por unos sensores que miden determinados parámetros como temperaturas o caudales. Esta información es comparada con unos valores prefijados correspondientes

a un funcionamiento óptimo del sistema, y en función de ello realiza determinadas acciones, como pueden ser: gestionar la energía proveniente de los captadores, gobernar bombas y electroválvulas, visualizar y registrar temperaturas y caudales, permitir que la instalación sea gestionada de forma remota (Internet), etc.

#### 4.4.- Otros aspectos de la instalación

En una instalación de energía solar térmica se debe tener en cuenta otros aspectos además de las exigencias de cálculo y dimensionado, como son por ejemplo la orientación e inclinación de los captadores, las posibles sombras y la integración arquitectónica.

La **orientación e inclinación** de los captadores debe realizarse de modo que se intente conseguir que la radiación solar incida casi perpendicularmente sobre la superficie al mediodía. Por lo tanto y según indica el CTE en la sección HE4 apartado 2.2.3, si nos encontramos en el hemisferio norte, los captadores se orientarán hacia el sur geográfico<sup>1</sup>. En cuanto a la inclinación, lo ideal para un uso anual es colocar los captadores con un ángulo igual a la latitud del lugar. Si se quisiese optimizar el rendimiento en invierno o en verano, habría que aumentar o disminuir el ángulo 10° respectivamente, ya que la trayectoria solar tiene diferentes alturas.

De esta forma, el criterio más adecuado para la implantación de los captadores solares es el siguiente:

Orientación o azimut solar ( $\alpha$ ): Sur geográfico  $\alpha=0$

Inclinación o elevación ( $\beta$ ): en función del tipo de periodo preferente de utilización:

- Constante todo el año,  $\beta$ = latitud del lugar
- Invierno,  $\beta$ = latitud + 10°
- Verano,  $\beta$ = latitud – 10°

---

<sup>1</sup> El sur geográfico es aquel que marca el eje imaginario de rotación terrestre que atraviese la tierra de Norte a Sur, y que no coincide con el Sur magnético.

Otro factor importante para el aprovechamiento de la energía solar es tener en cuenta y evitar las posibles **sombras** generadas por los obstáculos próximos, como edificios colindantes, árboles, chimeneas, etc. Se puede determinar exactamente la posición de estas sombras conociendo la elevación y el acimut durante todo el año o mediante programas como ECOTECH que las calculan directamente. De esta forma, se comprueba si algún obstáculo evita la llegada del sol a los captadores.

Por último, el nivel de **integración arquitectónica** de los captadores también influye en el rendimiento de la instalación. La integración de los captadores solares en un edificio consiste en la sustitución parcial o total de elementos constructivos por dichos captadores, pasando a formar parte de la envolvente del edificio.

Se distinguen 3 grados de integración de los captadores solares en la edificación:

- **Con soportes o caso general:** Los captadores no están incluidos o adaptados a la estructura del edificio. Se emplea sobre todo para cubiertas planas en las cuales se montan sobre una estructura independiente. El impacto estético es fuerte y no se ahorra en elementos constructivos, pero es el mejor método para obtener una orientación e inclinación óptima.
- **Superpuesto:** Los captadores solares se colocan paralelos a los planos de fachada o cubierta, montados directamente encima de la estructura del edificio, siendo la técnica más empleada para edificios ya existentes. No se sustituye ningún elemento constructivo pero tiene menos impacto visual que el caso general.
- **Integrado:** Un captador solar está integrado arquitectónicamente cuando cumple con una doble función; la energética y la arquitectónica. De esta forma, el captador está sustituyendo elementos constructivos, formando parte de la envolvente del edificio y consiguiendo un impacto estético mucho menor.

Tanto la orientación e inclinación del sistema de captación como las sombras que inciden sobre el mismo generan unas pérdidas que han de ser tenidas en

cuenta a la hora de realizar el cálculo de la instalación. Estas pérdidas son un porcentaje de la radiación solar que incidiría en un caso ideal, es decir, la superficie de captación orientada al sur, la inclinación óptima y sin sombras. Según el apartado 2.2.3 de la sección HE4 (Pérdidas por orientación, inclinación y sombras) del CTE las pérdidas deben de ser inferiores a los límites establecidos en la **tabla 4.5**, que tienen un valor diferente según el grado de integración arquitectónica de los captadores.

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

**Tabla 4.5** Perdidas límite

**Fuente:** Código Técnico de la Edificación

## 5.- CLASIFICACIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS

### 5.1.- Clasificación de las instalaciones solares térmicas

De un modo general, las instalaciones solares térmicas pueden analizarse según los siguientes criterios funcionales:

- Según el **sistema de circulación** del fluido de trabajo en el circuito primario.
- Según los mecanismos de **intercambio de calor** entre el circuito primario y secundario.
- Según el **sistema de apoyo** empleado.
- Según la **forma de acoplamiento** del sistema de apoyo en la instalación.
- Según el **sistema de energía auxiliar** o de apoyo que se adopte.

#### 5.1.1.- Principio de circulación

Esta clasificación se refiere al mecanismo mediante el que se produce el movimiento del fluido caloportador que circula en el circuito primario, pudiendo diferenciarse entre dos tipos:

- **La circulación forzada:** donde se dota a la instalación de una bomba de circulación que se encarga de hacer circular el fluido. Esta bomba ha de colocarse en el tramo frío del circuito primario, entre el acumulador y los captadores. La principal ventaja de este sistema frente al natural es que permite colocar los captadores a una cierta distancia del acumulador.
- **La circulación natural:** Más conocida por termosifón, es aquella en la que el fluido de trabajo circula por convección libre, es decir, por cambios de densidad como consecuencia de variaciones en la temperatura. Esto provoca un movimiento ascendente del fluido, que sale del captador por la parte superior y llega al acumulador, donde entrega todo el calor absorbido. Al enfriarse, vuelve a cambiar su densidad, por lo que sale del acumulador y vuelve a entrar en el captador, cerrándose el circuito.

En general, se utiliza más el sistema de circulación forzada, dejando para pequeñas instalaciones la natural.

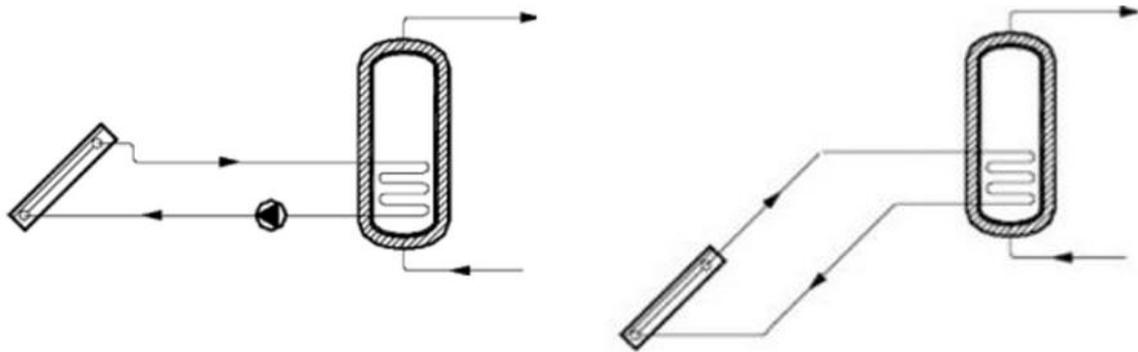


Imagen 5.1 Circulación forzada / Circulación natural

Fuente: IDAE

#### 5.1.2.- Sistema de intercambio de calor

Esta clasificación se refiere a la forma de transferir el calor desde el fluido de trabajo que circula por los captadores al agua caliente del circuito secundario o de consumo. Es decir, como se conectan los captadores solares con los acumuladores. Dependiendo de si tienen o no intercambiador, se pueden distinguir:

- **Sistema indirecto:** Consiste en el uso de dos circuitos independientes, uno primario por el que circulará un fluido caloportador no apto para el consumo, y otro secundario con agua caliente destinada a ACS. El circuito primario entrega calor al secundario a través de un intercambiador.

Existen dos tipos de sistemas indirectos: con intercambiador interno (colocado dentro del acumulador solar) y con intercambiador externo, (independiente del acumulador).

- **Sistema directo:** Supone la existencia de un único circuito entre los captadores y el acumulador. Por lo tanto, no existe intercambiador de calor, el agua de consumo es la misma que circula por los captadores. Esto tiene varios inconvenientes, como la imposibilidad de añadir anticongelantes o no poder usar este sistema en algunas zonas en las que el agua sea dura o sucia.

El CTE prohíbe de forma expresa los sistemas directos en el apartado 3.2.2. Condiciones generales:

“2. Las instalaciones se realizarán con un circuito primario y un circuito secundario independientes, con producto químico anticongelante, evitándose cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación.”

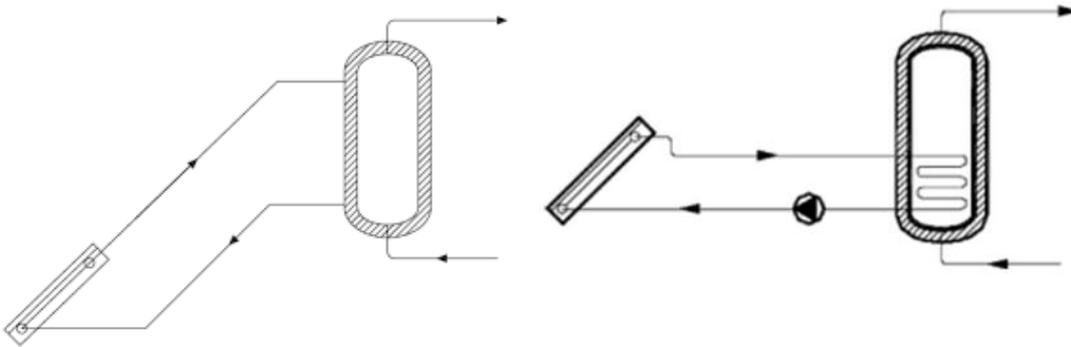


Imagen 5.2 Sistema directo / Sistema indirecto

Fuente: IDAE

### 5.1.3.- Sistema de apoyo

Según el lugar donde se produce la transformación de energía de apoyo en energía térmica final, las instalaciones pueden clasificarse de la siguiente forma:

- **Sistema centralizado:** El sistema de apoyo centralizado utiliza una instalación común para todos los usuarios con una acumulación convencional centralizada, desde donde se distribuye el ACS a cada vivienda. En este caso la instalación solar y el consumo de combustible de apoyo son comunes. Los sistemas de apoyo centralizados solo pueden ser acoplados a instalaciones solares centralizadas.
- **Sistema individual:** El sistema de apoyo individual prepara el agua caliente para cada usuario mediante calentadores instantáneos o con sistemas de acumulación. Este sistema se puede acoplar a cualquier tipo de instalación solar, sea centralizada o individual.

Los sistemas de apoyo también pueden clasificarse según el sistema de energía convencional que se adopte, pudiendo ser:

- **Sistemas con acumulación:** Consiste en un depósito de acumulación para ACS que es calentado desde la caldera por medio de un intercambiador de calor.
- **Sistemas instantáneos:** Puede ser una caldera o un calentador. El código Técnico de la Edificación exige en este caso que el equipo sea modulante, es decir, que permita regular la potencia térmica que entrega el agua a fin de obtener la temperatura de consumo.

#### 5.1.4.- Forma de acoplamiento

Según la forma de integrar o conectar el sistema de aporte de energía auxiliar con la instalación solar, las instalaciones pueden clasificarse de la siguiente forma:

- **Acoplamiento en serie:** Con este tipo de acoplamiento el agua de consumo primero es calentada por la instalación solar y posteriormente circula por el sistema de apoyo, que eleva su temperatura hasta alcanzar la de consumo, cuando el aporte solar no sea suficiente.
- **Acoplamiento en paralelo:** Permite el abastecimiento de agua caliente sanitaria mediante los dos métodos, el sistema de apoyo o la instalación solar, por separado. El acumulador solar debe disponer de una temperatura de preparación mínima, para que cuando el valor sea inferior a esta, la conexión se conmute al sistema auxiliar (manual o automáticamente).

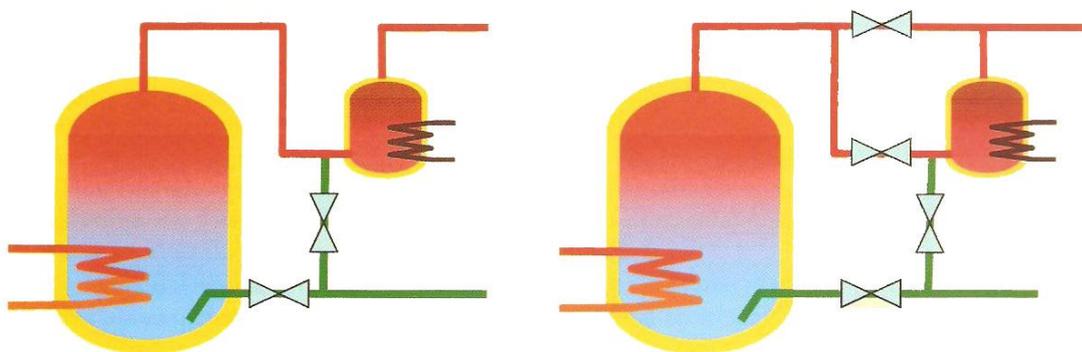


Imagen 5.3 Acoplamiento en serie / Acoplamiento en paralelo

Fuente: DTIE 8.04

## 5.2.- Tipos de instalaciones de energía solar térmica

Los diferentes tipos de instalaciones solares térmicas para agua caliente sanitaria que se pueden encontrar en la edificación están directamente relacionados con la instalación de calefacción que tengan los edificios.

Existen varias configuraciones para estas instalaciones, aunque se distinguen dos grupos claramente diferenciados: los edificios con instalaciones de calefacción y/o ACS **individuales** y aquellos con instalaciones **centrales** para calefacción y/o ACS.

Centrándonos en el ACS, los diferentes sistemas que forman la instalación (captación, acumulación y apoyo), a su vez pueden clasificarse en individuales o centralizados, creando posibles configuraciones como:

- Instalación totalmente individual, con el sistema de captación, acumulación y apoyo propios para cada vivienda (o vivienda unifamiliar).
- Producción de ACS centralizada y acumulación distribuida, donde los captadores sí son comunitarios pero el sistema de acumulación y el de apoyo son individuales para cada vivienda.
- Producción de ACS centralizada y acumulación central, donde el único sistema individual por vivienda es el de apoyo.
- Instalación totalmente central, compartiendo los 3 sistemas en todo el edificio.

## 6.- INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES AISLADAS

Estas instalaciones de energía solar térmica son **totalmente individuales**, con sus propios captadores solares, el correspondiente depósito de ACS solar y el sistema de apoyo. Por lo general, y según las diferentes clasificaciones desarrolladas en el apartado anterior, una instalación solar térmica para vivienda unifamiliar es:

- **De circulación forzada**, con bombas en el circuito primario para hacer circular el fluido caloportador.
- **Con circuito indirecto de intercambio de calor**, para evitar la presencia de ACS en los captadores y poder emplear anticongelantes en el circuito primario.
- **Con el sistema convencional conectado en serie o en paralelo con el solar**, para optimizar el rendimiento el sistema convencional complementa el aporte energético si es necesario.

Cuando un sistema está conectado en paralelo, generalmente dispone de un segundo acumulador, calentado por una caldera o bomba de calor. En cambio, cuando un sistema está conectado en serie, por lo general no dispone de un segundo depósito, sino que el agua circula directamente por la caldera aumentando su temperatura.

Energéticamente la solución más idónea es la conexión en serie, ya que se aporta la energía estrictamente necesaria para satisfacer las demandas, ahorrando más cantidad de combustible y amortizando rápidamente la instalación. El inconveniente de la conexión en paralelo es que hay que mantener el agua del depósito a una determinada temperatura, suponiendo un consumo importante de combustible.

En cuanto al caudal disponible, en las instalaciones con conexión en serie está limitado, aunque haya agua y temperatura suficiente en el depósito. Aun así, solo hay que tenerlo en cuenta cuando exista una demanda de ACS excepcional, ya que a través de la caldera se puede hacer pasar caudales de 25-30 l/min. En el caso de que exista una gran demanda, la conexión en paralelo puede resultar más útil, ya que no hay ninguna limitación de caudal disponible.

## 7.- EMPLAZAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio objeto del trabajo es una vivienda unifamiliar diseñada y construida para que funcione únicamente con energía procedente del sol. La Casa Solar está situada dentro del recinto de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, en la Avenida Salamanca s/n.

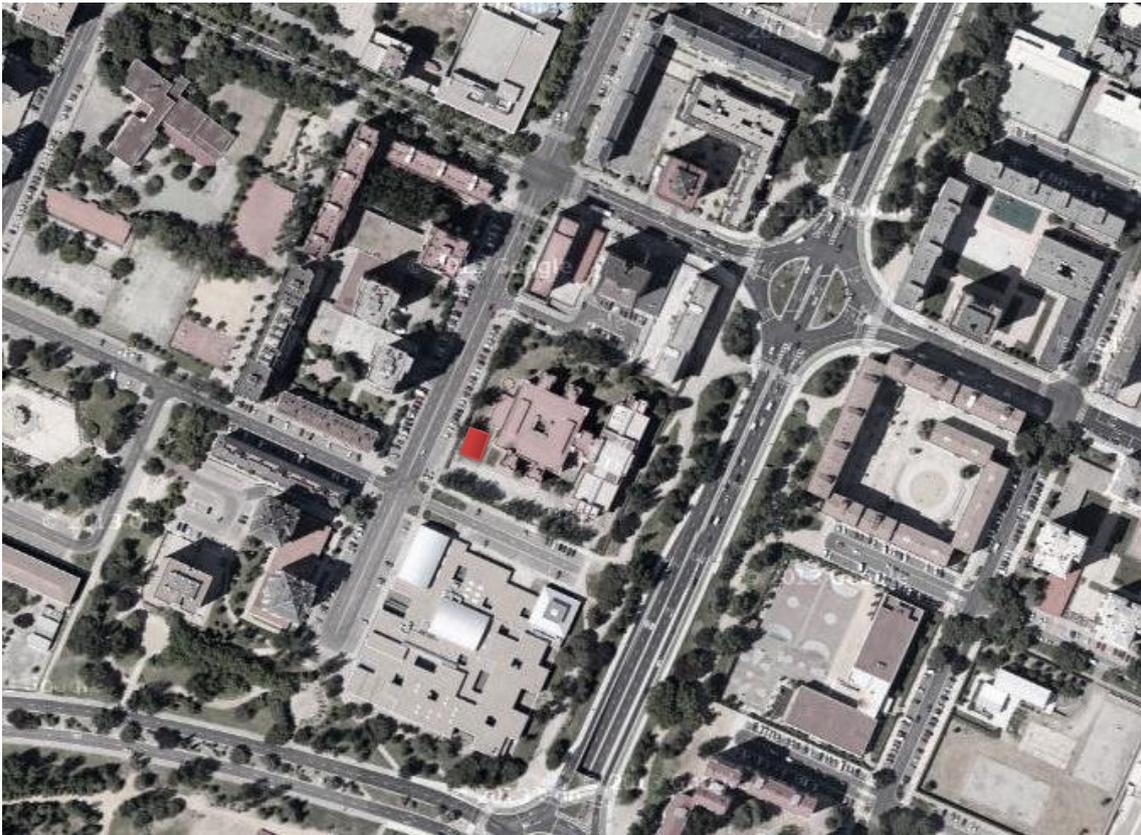


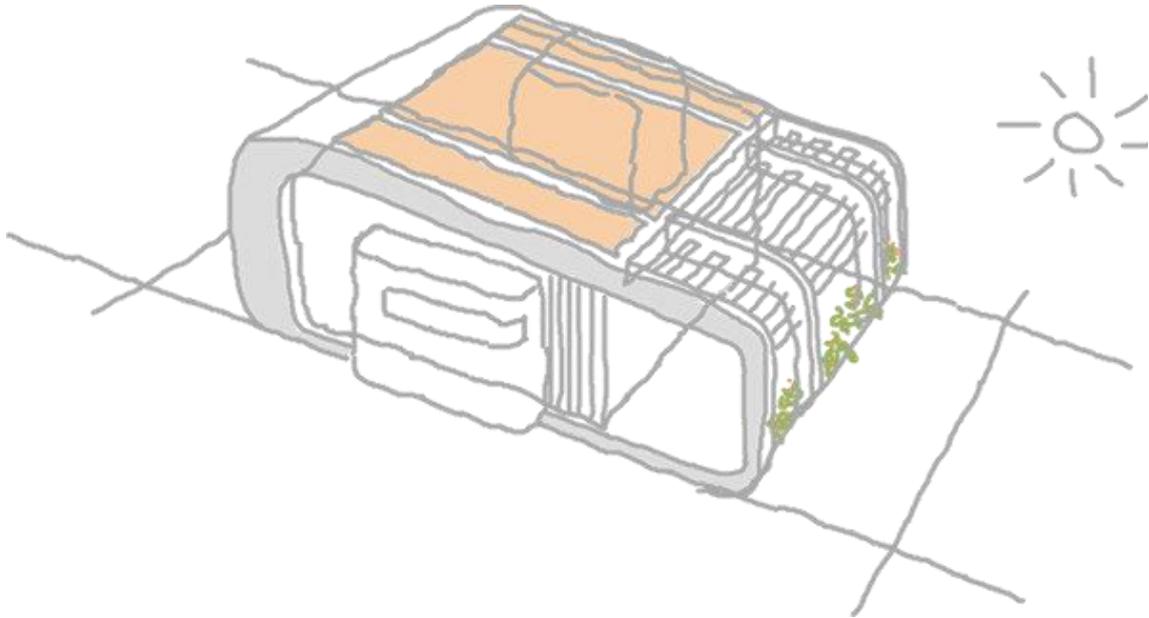
Figura 7.1 Emplazamiento del edificio

También conocida como Urcomante, fue diseñada para participar en el Concurso SOLAR DECATHLON EUROPE 2010, una competición organizada por el Departamento de Energía de EE.UU., que convocó a universidades de todo el mundo para diseñar y construir un prototipo de vivienda eficiente energéticamente, de forma que funcione con energía solar, conectándose a la red e incorporando tecnología que permita su máxima eficiencia energética.

El nombre de **Urcomante** proviene de la búsqueda del habitante contemporáneo y su relación con la arquitectura y las nuevas energías, el

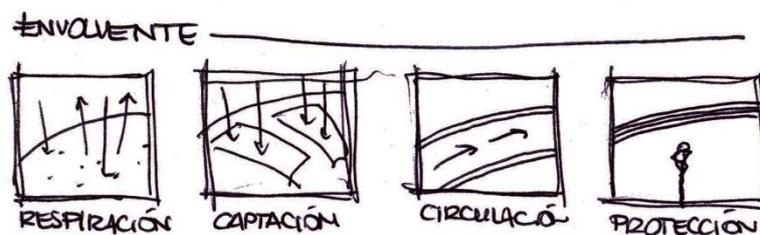
mismo debate que iluminó a Le Corbusier o a Mies Van der Rohe: La casa de nuestro tiempo sólo existe si existe el habitante de nuestro tiempo.

Analizando diferentes perfiles de individuos, de cada uno de ellos se estudiaron las necesidades espaciales, interacción con espacios, cualidades, relevancia y significados, dando lugar al Urcomante.



Urcomante: “Dícese del habitante virtual variante, que participa de las necesidades y singularidades de las siguientes tribus: urbanitas, cosmopolitas, emprendedores, solitarios, diletantes e inmigrantes. Habitante concienciado con el medio ambiente y la sostenibilidad. Habitante contemporáneo ecológico y humanizado.”

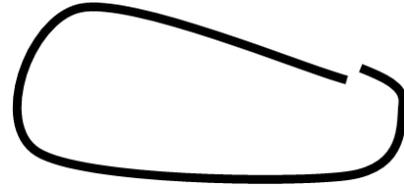
La **envolvente** dota a la casa de todas las necesidades esenciales para su desarrollo. Permite la respiración, captación, circulación y protección de modo que se consiguen todos los requisitos para que la casa funcione sin necesidad de artificios o añadidos.



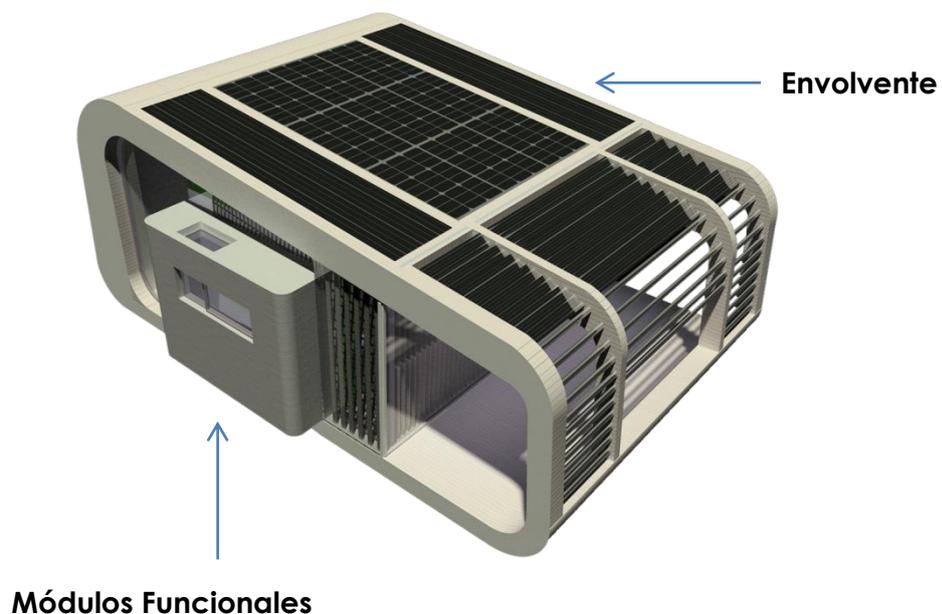
Esta envolvente consta de una doble piel:

- La capa interior aporta múltiples funciones al propio habitante, como el almacenaje, proyección y descanso.
- La capa exterior realiza la captación de energía solar y la protección del individuo. Entre ambas capas circulan las instalaciones.

La forma del Urcomante se debe a la búsqueda de una inclinación que consiga el mayor aprovechamiento solar. Esto, unido a una buena orientación, permite obtener un mayor rendimiento de la instalación solar.



Un individuo "todo en uno" requiere una casa "todo en uno", es decir, flexible. Por eso se proyectan los **módulos funcionales**. La Casa Solar está compuesta por una serie de módulos (dormitorio-estudio, aseo y cocina) que son concebidos como espacios funcionales, donde el individuo realiza actividades privadas. Estos módulos son paralelepípedos de los que se puede desplazar la cara interior vinculada al gran espacio polifuncional, adquiriendo dinamismo según las necesidades espacio-temporales del habitante.



## 8.- ESTADO ACTUAL DE LA INSTALACIÓN

El Urcomante fue diseñado para funcionar únicamente con energía procedente del sol, de forma que la instalación solar de la vivienda es compleja y tiene varias finalidades, como pueden ser el agua caliente sanitaria y la calefacción. Estas dos aplicaciones están muy relacionadas, dado que la energía captada por los tubos de vacío se puede emplear para calentar ACS o bien para calentar el foco geotérmico empleado en el sistema de calefacción.

En el presente trabajo solo se estudiará lo referente al agua de consumo, sin tener en cuenta el foco geotérmico ni lo relacionado con la calefacción.

### 8.1.- Esquema general de la instalación

Como se ha explicado anteriormente, la instalación está formada por los siguientes sistemas: sistema de captación, sistema de intercambio, sistema de acumulación, sistema hidráulico, sistema de control y sistema de energía auxiliar. A su vez, también se divide en circuito primario, secundario y de consumo, como se indica en el esquema de instalación adjuntado a continuación.

El sistema de **captación** (circuito primario) está formado por 2 tubos de vacío conectados en paralelo por los que circula el fluido caloportador. Los captadores están colocados en paralelo de tal forma que se pueda desconectar uno de los dos dejando la instalación operativa.

El fluido caloportador es impulsado por una bomba, de modo que se trata de circulación forzada. Se dispone de una válvula antirretorno para evitar la recirculación nocturna y por tanto el enfriamiento del acumulador por la noche. Los cambios de volumen del fluido a causa de la variación de temperatura son absorbidos por una válvula de equilibrado.

Los tubos de vacío tienen un **control térmico** diferencial, basado en la temperatura del fluido en la tubería de salida del sistema de captación y la temperatura de referencia de los depósitos de acumulación, de esta forma,

en el momento en que no saliera rentable térmicamente hacer pasar el fluido por los paneles, una electroválvula conectada a este sistema de control cortará el caudal, llevando el agua directamente al sistema auxiliar.

El sistema auxiliar o de apoyo se encuentra conectado en paralelo, de forma que la instalación posee dos depósitos de **acumulación** (circuito secundario) conectados a su vez en serie:

- Uno primario de 200 l de capacidad conectado con el sistema de captación mediante el **intercambiador** de calor, situado dentro del propio depósito (acumulador-intercambiador o interacumulador). Se trata de un circuito indirecto de intercambio de calor, ya que el fluido empleado en la captación no es el mismo que el de consumo.
- Otro secundario de 75 l calentado por una bomba de calor que funciona como **sistema auxiliar**, entrando en funcionamiento cuando haya poco aporte solar.

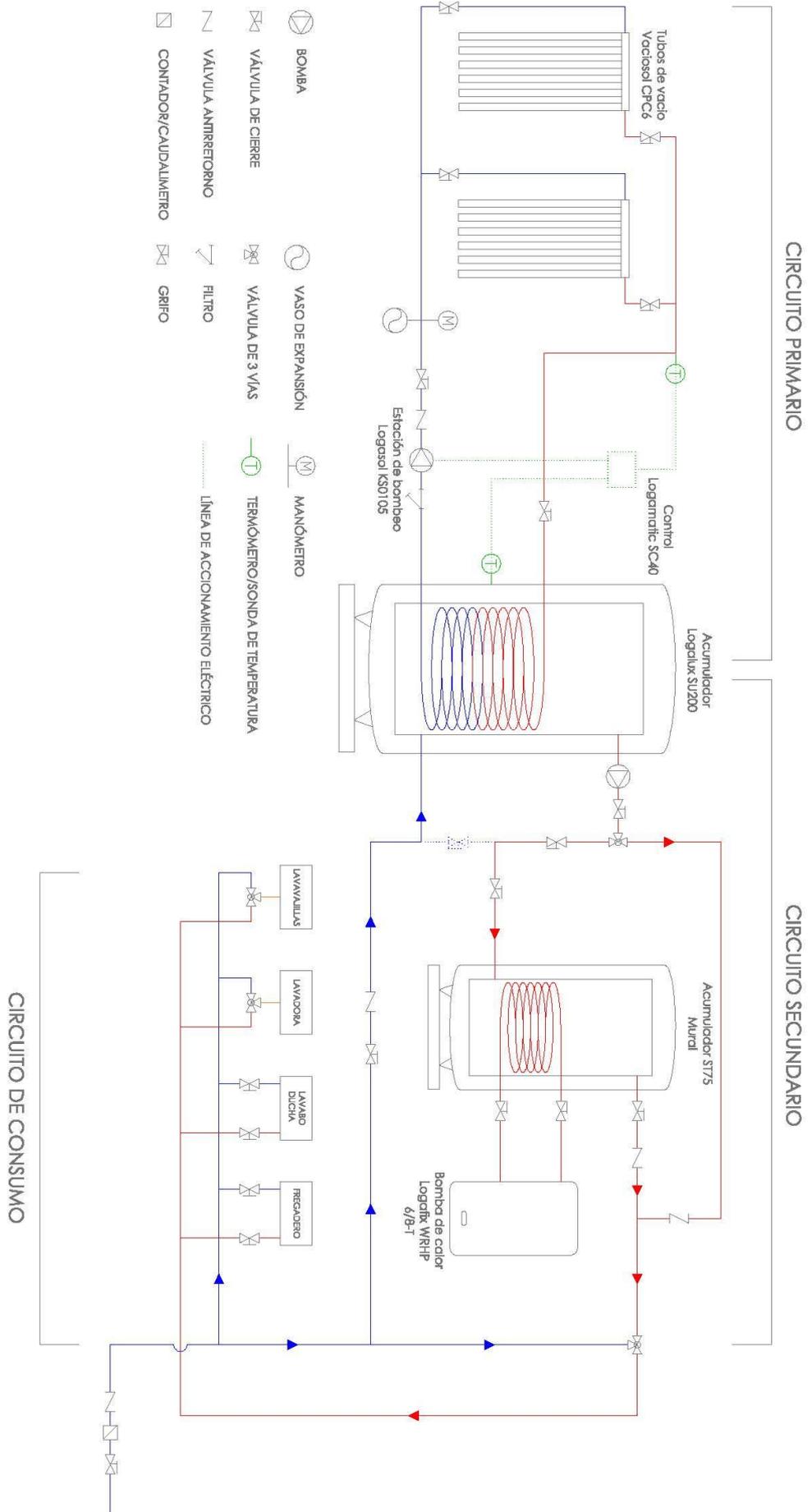
Al estar conectados en serie, el segundo depósito acumulador recibirá el agua caliente del primero, que ha sido precalentada por el sistema de captación, y mantendrá el agua en su interior como mínimo a 70°C por tratamiento térmico de la legionela. En caso de no haber el suficiente aporte solar, se conseguirá el calentamiento que falte para llegar a la temperatura de consumo mediante la bomba de calor. En caso contrario, cuando el calentamiento del sistema solar sea suficiente para el consumo, entra en funcionamiento un bypass<sup>2</sup> para poder usar exclusivamente el calentador solar y sólo emplear el sistema auxiliar si el día está muy nublado.

Por último, el circuito de consumo proporciona el ACS desde el segundo depósito de acumulación a 70°C como mínimo a cada uno de los aparatos instalados en la vivienda pasando antes por una válvula de 3 vías para obtener la mezcla de temperatura para consumo, es decir, entre 50°C y 60°C.

A continuación se adjunta el plano del estado actual de la instalación solar térmica para ACS del Urcomante, realizado personalmente siguiendo la descripción que aparece en la memoria de proyecto.

---

<sup>2</sup> Bypass es un término que se emplea para cortar el paso o cambiar el flujo de un fluido.



## 8.2.- Elementos de la instalación

A continuación se detallan los elementos más importantes que forman parte de la instalación. Toda la información empleada, así como los datos necesarios para los cálculos, han sido obtenidos de las fichas técnicas correspondientes, que se encuentran adjuntadas en el anexo del trabajo.

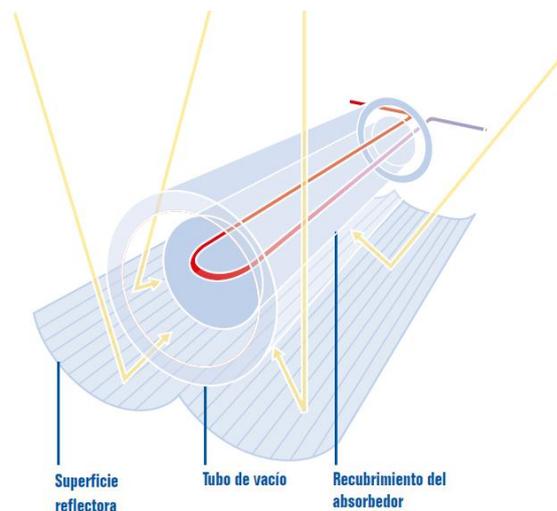
### 8.2.1.- Distribuidor general

La tubería que conecta la red general de distribución con el depósito de acumulación primario (200 l) será la encargada de suministrar el agua necesaria a medida que se vaya gastando.

### 8.2.2.- Sistema de captación

Este sistema está constituido por **2 tubos de vacío de la marca BUDERUS, modelo Vaciosol CPC 6**, que consiste en un colector de tubos de vacío de flujo directo, cuyo funcionamiento se explicó en el apartado 4.3 de este trabajo.

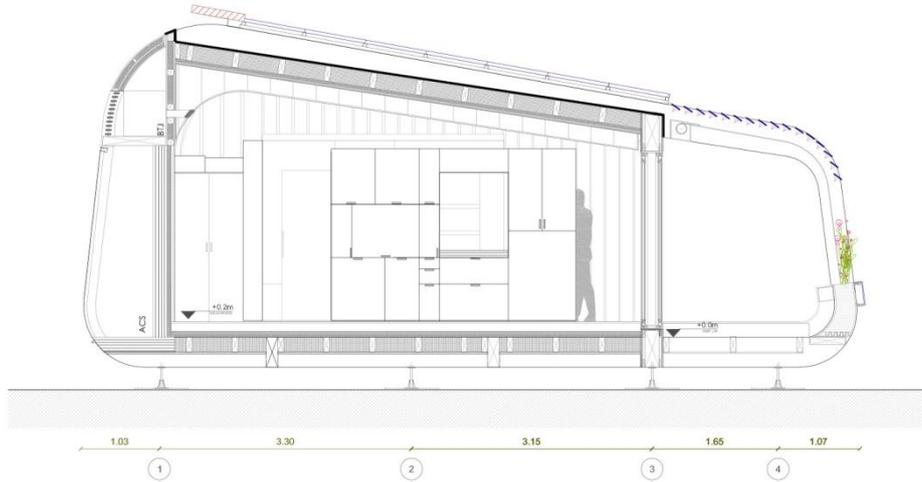
Este modelo en concreto dispone de una superficie reflectora con forma parabólica en la parte posterior que recoge los rayos de sol y los refleja hacia los tubos. Además, la placa absorbidora tiene forma cilíndrica, consiguiendo mejor orientación respecto al sol. Esta chapa es de aluminio y permite transmitir el calor obtenido al líquido caloportador que circula en su interior.



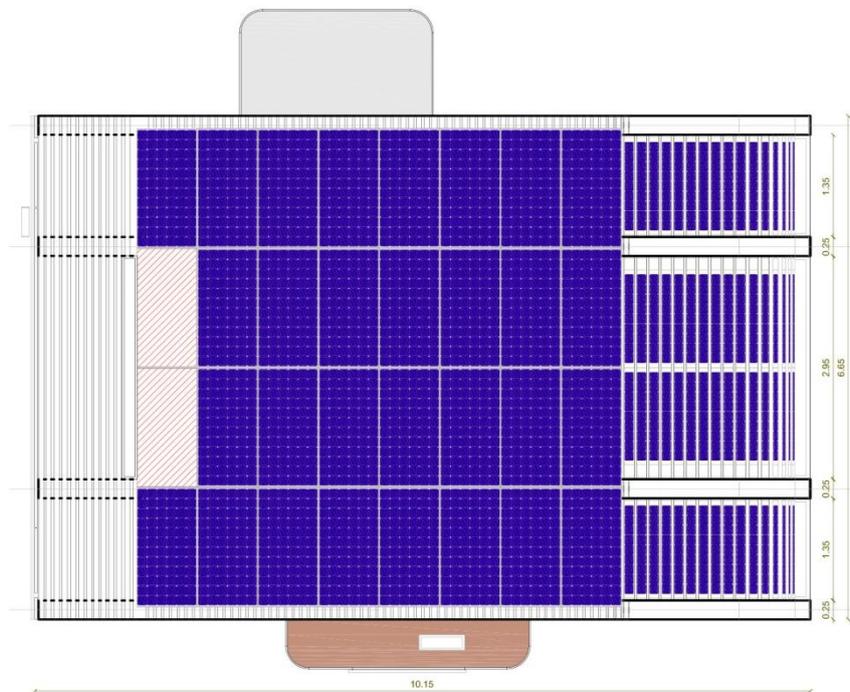
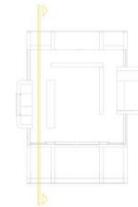
Los datos empleados para el cálculo son las dimensiones, el área de apertura, el factor de rendimiento óptico y los coeficientes de pérdidas, todos ellos indicados en la ficha técnica 1 del anexo.

En cuanto a la orientación e inclinación, los captadores están situados a 20° respecto al sur geográfico y se encuentran integrados en la cubierta siguiendo su inclinación de 35°.

A continuación se adjunta la documentación gráfica en la cual se señala con rallado rojo la posición de estos captadores solares en sección y en planta de cubierta.



Sección longitudinal  
Longitudinal section



Planta de cubierta  
Roof floor plan

La bomba empleada para impulsar el fluido del circuito primario es la **Estación de Bombeo Solar Logasol KS 0105**, también de la marca BUDERUS, ficha 2 del anexo.

#### 8.2.3.- Sistema de control

Para tener controlada toda la instalación se emplea el sistema de regulación solar **Logamatic SC40 de BUDERUS**. Se trata de un diseño para montaje en pared, con pantalla LCD y la posibilidad de realizar múltiples funciones, aunque la principal es controlar la temperatura del fluido caloportador a la salida de los captadores y la temperatura del agua del depósito de acumulación mediante sondas.

Todas las funciones que puede realizar este sistema de regulación se especifican en la ficha 3 del anexo.

#### 8.2.4.- Sistema de intercambio y acumulación

Formado por 2 depósitos, este sistema se encarga de almacenar agua caliente.

El depósito primario es el modelo **SU200 de BUDERUS** (ficha 4 del anexo) con 200 litros de capacidad y 95°C de temperatura máxima para ACS. Por el intercambiador situado en su interior circula el fluido caloportador de los tubos de vacío. La entrada de agua proviene de la red general, y la salida va al depósito secundario, ya que se encuentran conectados en serie.

Por otro lado el secundario se trata de un acumulador **ST75 mural** de la marca **JUNKERS** (ficha 5 del anexo), con 75 litros de capacidad, que está conectado a la bomba de calor mediante un serpentín en su interior que funciona como intercambiador de calor.

#### 8.2.5.- Sistema auxiliar

Como sistema de apoyo a la instalación solar se encuentra instalada una bomba de calor reversible Logafix WRHP TOP 6/8-T de BUDERUS (ficha 6 del anexo) conectada al segundo depósito de acumulación mediante el intercambiador. Como bomba de calor reversible, además de producir agua

caliente sanitaria también es empleada para el sistema de climatización (frío y calor) mediante geotermia.

#### 8.2.6.- Circuito hidráulico

Las tuberías empleadas en el circuito hidráulico son de polietileno multicapa (UPONOR) excepto en los puntos conflictivos del circuito primario de gran sollicitación térmica en los que se emplea cobre.

En cuanto al resto de elementos del circuito hidráulico, encontramos válvulas de cierre y antirretorno, vasos de expansión, válvulas de 3 vías, termómetros, manómetros, caudalímetros, etc.

Respecto al uso de bombas, para el agua fría de consumo y el tramo que va hacia el primer depósito no hacen falta, porque la toma de la red ya proporciona la presión necesaria. Donde sí hay que instalar una bomba es en la salida del primer acumulador, para impulsar el agua hacia el segundo depósito o directamente hacia el circuito de consumo.

## 9.- ESTUDIO DEL SOLEAMIENTO

Para obtener la energía solar disponible sobre el captador se plantean dos métodos diferentes.

Por un lado se realiza el **cálculo convencional**, en el cual, para obtener la energía solar recibida sobre el plano del captador (E) partimos de los datos oficiales de energía solar disponible en el plano horizontal ( $E_h$ ) (**tabla 9.4**) obtenidos de la <<guía técnica de condiciones climáticas exteriores>> publicada por el IDAE. A este dato se le aplica un coeficiente de corrección por ángulo de elevación (k) que tendrá un valor dependiendo de la latitud en la que nos encontremos y la inclinación de los captadores.

Posteriormente se procedería a calcular la aportación solar, dato al que tendríamos que restarle las pérdidas ocasionadas por sombras, orientación e inclinación, y asegurarnos de que el valor total de estas pérdidas cumpla con las exigencias del CTE, que establece no superar el 50% en nuestro caso de integración de los captadores, como puede comprobarse en la **tabla 4.5** de este trabajo.

El segundo método de cálculo, por otro lado, es más directo y se realiza empleando el programa **ECOTECT ANALYSIS**. Permite obtener la radiación que incide sobre el plano de los captadores directamente, en el periodo de tiempo deseado. A partir de un modelo en sketch up de la Casa Solar y los posibles obstáculos que puedan intervenir en el cálculo (**Imagen 9.1**), se exporta el archivo a ECOTECT, donde se realiza el análisis.

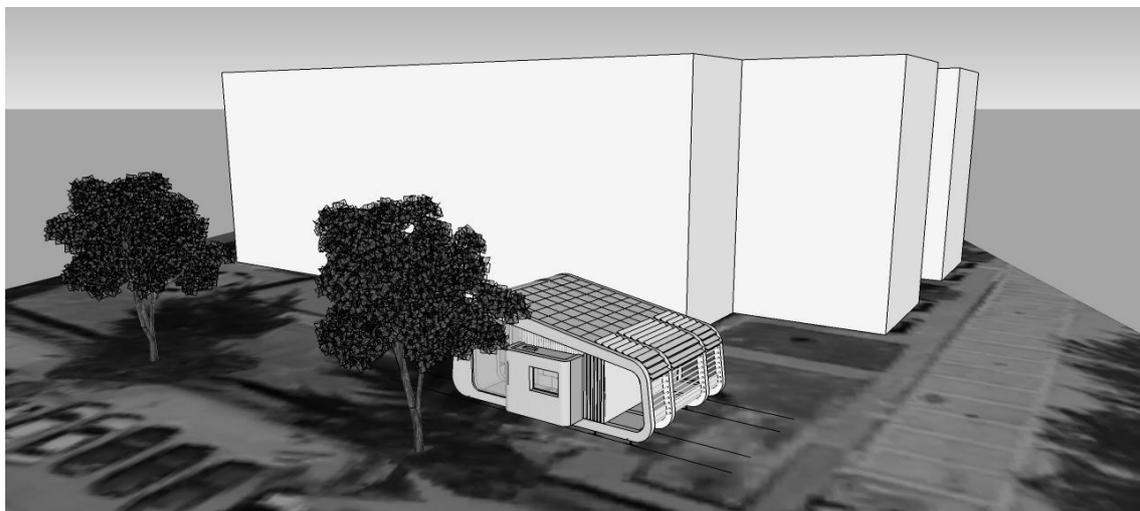
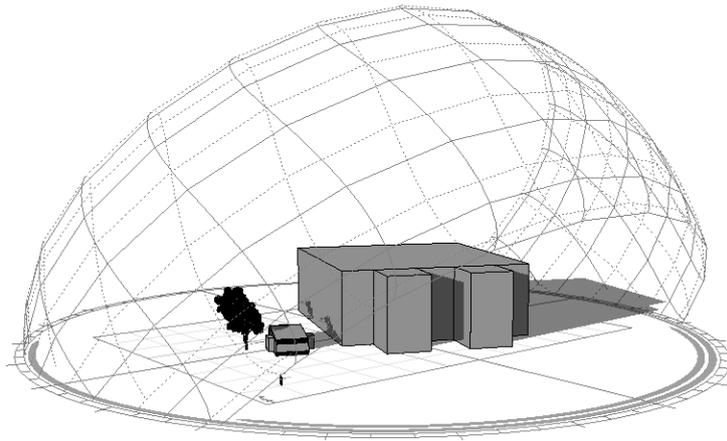


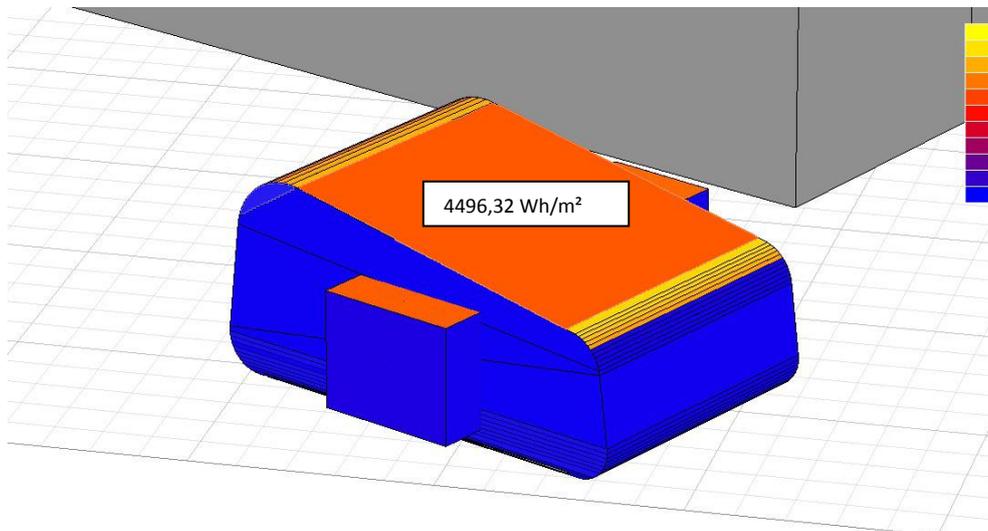
Imagen 9.1 Modelo en Sketch Up

A parte de no tener que aplicar el factor de corrección por ángulo de elevación  $k$ , otra de las **ventajas** de emplear este programa es la posibilidad de saber la posición de las sombras en cualquier momento del día, cualquier día del año, gracias a la opción de trayectoria del sol (**Imagen 9.2**). De esta forma el programa ya calcula la radiación directamente en el plano de los captadores, teniendo en cuenta las sombras proyectadas por los obstáculos, por lo que no habría que restarlas a la aportación solar como en el método anterior.



**Imagen 9.2 Trayectoria del Sol durante el año. Ecotect**

Para obtener la radiación se indica la superficie sobre la que se encuentran los captadores, y añadiendo los datos correspondientes, se obtiene el valor deseado de energía solar recibida en el plano. Por ejemplo, en la **imagen 9.3** se indica la radiación al día que incide sobre la cubierta durante el mes de Septiembre.



**Imagen 9.3 Radiación al día durante Septiembre.**

Con la radiación obtenida con el programa se procedería directamente a calcular la contribución solar, sin tener que restarle las pérdidas por sombras, orientación e inclinación, ya están incluidas en el propio cálculo realizado por ECOTECT.

MES	Eh día kWh/m <sup>2</sup> día	F.inclinación (k) 35º LAT 41	E día Wh/m <sup>2</sup> dia	E día ECOTECT Wh/m <sup>2</sup> día
ENERO	1,7	1,38	2346	1532,13
FEBRERO	2,9	1,29	3741	2411,43
MARZO	4	1,18	4720	3661,61
ABRIL	5,2	1,07	5564	4544,58
MAYO	6,3	0,99	6237	5426,90
JUNIO	7,5	0,96	7200	6150,49
JULIO	7,3	0,99	7227	6658,18
AGOSTO	6,3	1,08	6804	6070,04
SEPTIEMBRE	4,9	1,22	5978	4496,32
OCTUBRE	3	1,38	4140	3094,92
NOVIEMBRE	1,9	1,49	2831	1934,18
DICIEMBRE	1,5	1,47	2205	1311,59

**Tabla 9.4 Comparativa de radiaciones.**

En la **tabla 9.4** se hace una comparativa de la radiación recibida en el plano de los capadores calculada mediante los dos métodos anteriormente descritos, en primer lugar el convencional, con el factor de inclinación, y en segundo lugar aquel en el que se emplea el programa.

Como puede observarse, los valores del segundo método son menores, y por lo tanto más restrictivos, pero hay que tener en cuenta que en el primer caso aun habría que restar las pérdidas. Aun así, siempre son más fiables los datos calculados teniendo en cuenta las condiciones concretas del lugar, en vez de tomar los datos generales de Valladolid.

Por lo tanto, para realizar los cálculos de la instalación de la Casa Solar se emplearán los datos obtenidos con el programa ECOTECT ANALYSIS por ser más directos y realistas.

## 10.- CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN ACTUAL

En este apartado se procede a calcular la contribución de la instalación solar térmica para ACS existente en la Casa Solar, así como la comprobación del correcto dimensionado del circuito hidráulico y de los sistemas de control, intercambio y acumulación ya existentes.

Para obtener la contribución solar se empleará el método de las curvas  $f$ , más conocido como **F-Chart**. Es uno de los métodos de cálculo simplificado más utilizado. Para realizarlo se han seguido las indicaciones del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Energía Solar Térmica para instalaciones de Baja Temperatura publicado por el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía).

### 10.1.- Datos de partida

Todos los requisitos para los datos de partida vienen definidos en la sección HE4 del Código Técnico de la Edificación (CTE). Asimismo, los datos requeridos para el proyecto son los publicados por el IDAE en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Energía Solar Térmica para instalaciones de Baja Temperatura y en la Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto.

**Localización:** Valladolid.

**Latitud:** 41° 70' 00''

**Longitud:** 4° 70' 00'' W

**Altura:** 694 m

**Orientación:** 20° respecto al sur geográfico.

**Temperatura mínima registrada:** -16°C

**Zona climática:** II, definida por la **imagen 10.1**.

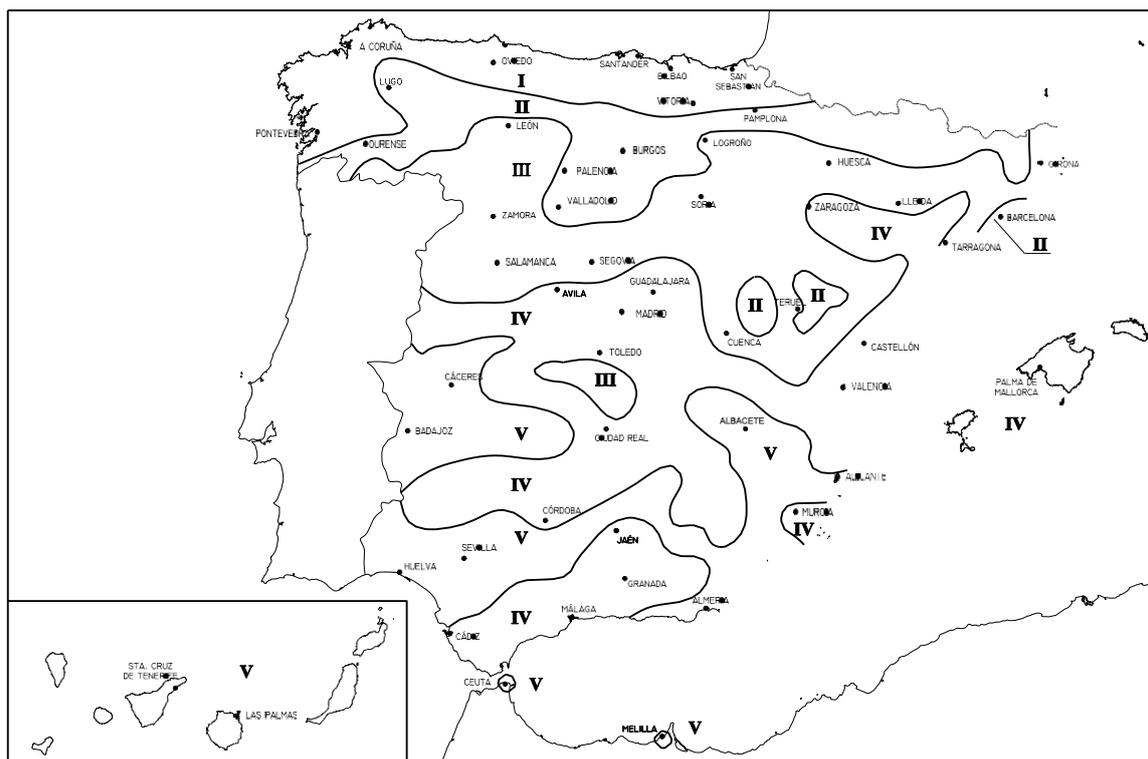


Imagen 10.1 Mapa de las zonas climáticas de España

Fuente: Código Técnico de la Edificación

**Contribución solar mínima:** Según la **tabla 10.2** la contribución solar mínima anual, en función de la demanda total de ACS y la zona climática, es del 30%.

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

Tabla 10.2 Contribución solar mínima anual para ACS

Fuente: Código Técnico de la Edificación

**Ocupación:** 2 personas al 100% durante todo el año. Este dato es importante ya que una vivienda que no está habitada en verano puede generar una superproducción de agua caliente, dañando de este modo la instalación. De hecho, es preferible proyectar una instalación deficiente que una que genere más agua de la que será consumida. En nuestro caso, si la producción

sobrepasa la demanda se empleará para la calefacción, o en caso de no necesitarla se utilizará un disipador de calor.

**Demanda:** Constante todo el año. Esto puede afectar a la inclinación de los colectores, ya que si se produce un mayor consumo en una época concreta a lo largo del año, habrá que inclinar los colectores para que sean más eficientes durante dicha época.

**Tipo de edificio:** Vivienda unifamiliar, consumo de 28 l / (d x persona) a 60°C según la **tabla 10.3**.

Criterio de demanda	Litros/día-unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	89	Por persona

**Tabla 10.3 Demanda de referencia a 60°C**

Fuente: Código Técnico de la Edificación

#### Datos necesarios para el cálculo:

En la **tabla 10.4** que se encuentra a continuación se recogen los valores medios mensuales que serán empleados en el cálculo de la instalación. Todos ellos provienen de datos publicados por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE). También se incluyen los datos de la radiación recibida en el plano de los captadores, obtenidos mediante ECOTECT ( $E_{\text{SOL}}$  ECOTECT), que como se dijo anteriormente, serán los empleados en vez de los valores generales proporcionados por el IDAE ( $E_{\text{h sol}} \times K_{\text{INC}}$ ).

MES	DIAS	E <sub>sol</sub>	K <sub>inc</sub>	E <sub>sol ECOT.</sub>	T <sub>AMB</sub>	T <sub>ACS</sub>	T <sub>RED</sub>
		kWh/m <sup>2</sup> día	Lat 41º,35º	kWh/m <sup>2</sup> día	ºC	ºC	ºC
ENERO	31	1,70	1,38	1,53	4	60	5
FEBRERO	28	2,90	1,29	2,41	6	60	6
MARZO	31	4,00	1,18	3,66	9	60	8
ABRIL	30	5,20	1,07	4,54	12	60	10
MAYO	31	6,30	0,99	5,43	17	60	11
JUNIO	30	7,50	0,96	6,15	21	60	12
JULIO	31	7,30	0,99	6,66	24	60	13
AGOSTO	31	6,30	1,08	6,07	23	60	12
SEPTIEMBRE	30	4,90	1,22	4,50	18	60	11
OCTUBRE	31	3,00	1,38	3,09	13	60	10
NOVIEMBRE	30	1,90	1,49	1,93	8	60	8
DICIEMBRE	31	1,50	1,47	1,31	4	60	5

Tabla 10.4 Valores medios mensuales

Fuente: IDAE

## 10.2.- Cálculo de la contribución solar: Método F-Chart

El método de las curvas  $f$  permite determinar de forma aproximada la cobertura de un sistema solar, es decir, su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir la demanda de energía, y su rendimiento medio en un largo periodo de tiempo.

Fue creado para obtener el aporte solar de las instalaciones en las que se emplean captadores planos, pero es un método que se puede utilizar también para captadores de tubos de vacío, realizando un cambio en el cálculo del parámetro  $D_1$ , donde se tomará un valor de modificador de ángulo de incidencia diferente a lo común debido a que la placa absorbadora no es plana sino cilíndrica.

Es un método suficientemente exacto para largas estimaciones de tiempo, en el que se emplean los datos mensuales medios meteorológicos.

La ecuación utilizada es:

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

El procedimiento para realizar el cálculo es el siguiente:

1. Obtener la **demanda** de energía necesaria para calentar el agua destinada al consumo de ACS.

Se define la demanda de energía térmica del agua caliente sanitaria (Q) como la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura del agua consumida desde la temperatura de entrada de agua fría ( $T_{AF}$ ) hasta la temperatura de uso ( $T_{ACS}$ ) en los puntos de consumo. La demanda energética en cada mes será diferente, dependiendo del número de días del mes y la temperatura media del agua de la red de ese mes.

Esta demanda se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q(\text{mes}) = C_e \cdot C \cdot N \cdot (T_{ACS} - T_{AF})$$

Siendo:

Q(mes): Demanda energética mensual (kWh/mes)

$C_e$ : Calor específico del agua 1,16 (Wh/kg °C)

C: Consumo diario de ACS (l/día).  $C = 28 \text{ l/día} \times 2 \text{ pers.} = 56 \text{ l/día}$

$T_{ACS}$ : Temperatura de agua caliente de acumulación (°C)

$T_{AF}$ : Temperatura media mensual del agua de red (°C)

N: Número de días del mes.

En la **tabla 10.5** se expone el cálculo de la demanda realizado con esta fórmula en todos los meses del año.

MES	DIA	C (a 60°C) L/día	$T_{ACS}$ °C	$T_{AF}$ °C	Q (mes) kWh/mes
ENERO	31	56	60	5	110,76
FEBRERO	28	56	60	6	98,22
MARZO	31	56	60	8	104,72
ABRIL	30	56	60	10	97,44
MAYO	31	56	60	11	98,67
JUNIO	30	56	60	12	93,54
JULIO	31	56	60	13	94,65
AGOSTO	31	56	60	12	96,66
SEPTIEMBRE	30	56	60	11	95,49
OCTUBRE	31	56	60	10	100,69
NOVIEMBRE	30	56	60	8	101,34
DICIEMBRE	31	56	60	5	110,76

**Tabla 10.5** Cálculo de la demanda

2. La **radiación solar** incidente en la superficie inclinada del captador ( $E_{SOL}$  en kWh/m<sup>2</sup>). Se empleará la obtenida con el programa ECOTECT, en vez de los valores medios multiplicados por el factor de corrección k, tal y como se explicó en el apartado 9 del presente trabajo.

3. Cálculo del **parámetro  $D_1$** , que expresa la relación entre la energía absorbida por el captador y la demanda de energía calorífica total durante un mes, es decir:

$$D_1 = E_A / Q(\text{mes})$$

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

$$E_A = S \cdot F'_r(\alpha \cdot \tau) \cdot E_{SOL} \cdot N$$

Siendo:

$E_A$ : Energía absorbida por el captador (kWh)

$S$ : Superficie de apertura de los captadores (2,56 m<sup>2</sup>)

$E_{SOL}$ : Energía solar diaria media incidente sobre la superficie de captación (kWh/m<sup>2</sup>)

$F'_r(\alpha \cdot \tau)$ : Factor adimensional que viene dado por la siguiente expresión:

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

Siendo:

$F_r(\alpha \cdot \tau)_n$ : Factor de eficiencia óptica del captador  $\eta_0 = 0,644$

$[(\alpha \cdot \tau) / (\alpha \cdot \tau)_n]$ : Modificador del ángulo de incidencia.

Como se trata de una instalación con captadores de tubo de vacío no se toma el valor general de 0,96 recomendado, porque la placa absorbidora es cilíndrica en vez de plana. Por lo tanto, se tomará 1,15 en su lugar ya que tiene mucha más superficie de captación.

$F'_r / F_r$ : Factor de corrección del conjunto captador – intercambiador. Recomendado 0,95.

MES	DIA	E <sub>SOL</sub>	F' <sub>r</sub> (α·τ)	E <sub>A</sub>	D <sub>1</sub>
		kWh/m <sup>2</sup> día		kWh	
ENERO	31	1,53	0,725	88,20	0,796
FEBRERO	28	2,41	0,725	125,39	1,277
MARZO	31	3,66	0,725	210,80	2,013
ABRIL	30	4,54	0,725	253,19	2,598
MAYO	31	5,43	0,725	312,42	3,166
JUNIO	30	6,15	0,725	342,66	3,663
JULIO	31	6,66	0,725	383,31	4,050
AGOSTO	31	6,07	0,725	349,45	3,615
SEPTIEMBRE	30	4,50	0,725	250,50	2,623
OCTUBRE	31	3,09	0,725	178,17	1,770
NOVIEMBRE	30	1,93	0,725	107,76	1,063
DICIEMBRE	31	1,31	0,725	75,51	0,682

Tabla 10.6 Cálculo parámetro D<sub>1</sub>

4. Cálculo del **parámetro D<sub>2</sub>**, que expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador y la demanda de energía calorífica durante un mes, es decir:

$$D_2 = E_P / Q(\text{mes})$$

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

$$E_P = S \cdot F'_r U_L \cdot (100 - T_{AMB}) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

Siendo:

E<sub>P</sub>: Energía perdida por el captador (kWh)

S: Superficie del captador (2,56 m<sup>2</sup>)

T<sub>AMB</sub>: Temperatura ambiente media mensual (°C)

Δt: Periodo de tiempo considerado (horas)

F'<sub>r</sub> U<sub>L</sub> = F<sub>r</sub> U<sub>L</sub> · (F'<sub>r</sub>/F<sub>r</sub>) donde F<sub>r</sub> U<sub>L</sub> = coeficiente global de pérdidas del captador (0,899).

K<sub>1</sub>: Factor de corrección por almacenamiento que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K_1 = (K_g \text{ acumulación} / 75 \cdot \text{m}^2 \text{ captación})^{-0,25}$$

$K_2$ : Factor de corrección que relaciona la temperatura mínima de ACS, la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = (11,6 + 1,18 T_{ACS} + 3,86 T_{AF} - 2,32 T_{AMB}) / (100 - T_{AMB})$$

A continuación se adjunta la **tabla 10.7** en la que se calcula este **parámetro  $D_2$**  para cada mes, realizando previamente las operaciones de los factores de corrección correspondientes al agua almacenada y a la relación de temperaturas.

MES	DIA	$F'_r U_L$	$T_{AMB}$	$T_{ACS}$	$T_{RED}$	$K_1$	$K_2$	$E_p$	$D_2$
		$\text{kW/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$			$\text{kWh}$	
ENERO	31	0,0009	4	60	5	0,99	0,963	148,83	1,344
FEBRERO	28	0,0009	6	60	6	0,99	0,975	133,29	1,357
MARZO	31	0,0009	9	60	8	0,99	1,015	148,80	1,421
ABRIL	30	0,0009	12	60	10	0,99	1,059	145,18	1,490
MAYO	31	0,0009	17	60	11	0,99	1,029	137,56	1,394
JUNIO	30	0,0009	21	60	12	0,99	1,013	124,68	1,333
JULIO	31	0,0009	24	60	13	0,99	1,012	123,84	1,308
AGOSTO	31	0,0009	23	60	12	0,99	0,979	121,36	1,256
SEPTIEMBRE	30	0,0009	18	60	11	0,99	1,013	129,51	1,356
OCTUBRE	31	0,0009	13	60	10	0,99	1,044	146,29	1,453
NOVIEMBRE	30	0,0009	8	60	8	0,99	1,030	147,62	1,457
DICIEMBRE	31	0,0009	4	60	5	0,99	0,963	148,83	1,344

**Tabla 10.7 Cálculo parámetro  $D_2$**

5. Una vez obtenidos los parámetros se **determina f** aplicando la ecuación inicial. De esta forma se consigue la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar. Para obtener **la energía útil captada** cada mes ( $Q_s$ ), se debe aplicar la siguiente expresión:

$$Q_s = f \cdot Q$$

De esta forma, en la **tabla 10.8** se muestran los cálculos correspondientes.

MES	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	F mes	Q <sub>s</sub> (mes) kWh/mes
ENERO	0,796	1,344	0,59	65,44
FEBRERO	1,277	1,357	0,87	85,86
MARZO	2,013	1,421	1,17	122,02
ABRIL	2,598	1,490	1,30	127,05
MAYO	3,166	1,394	1,40	137,87
JUNIO	3,663	1,333	1,46	136,12
JULIO	4,050	1,308	1,50	141,51
AGOSTO	3,615	1,256	1,46	140,65
SEPTIEMBRE	2,623	1,356	1,32	125,73
OCTUBRE	1,770	1,453	1,08	108,96
NOVIEMBRE	1,063	1,457	0,75	76,22
DICIEMBRE	0,682	1,344	0,51	56,53

**Tabla 10.8 Cálculo energía útil captada**

Conocida la demanda de energía y la energía solar aprovechada por los captadores se puede calcular la contribución solar mensual de la instalación y el rendimiento de la instalación solar en %, tal y como se muestra en la **tabla 10.9**.

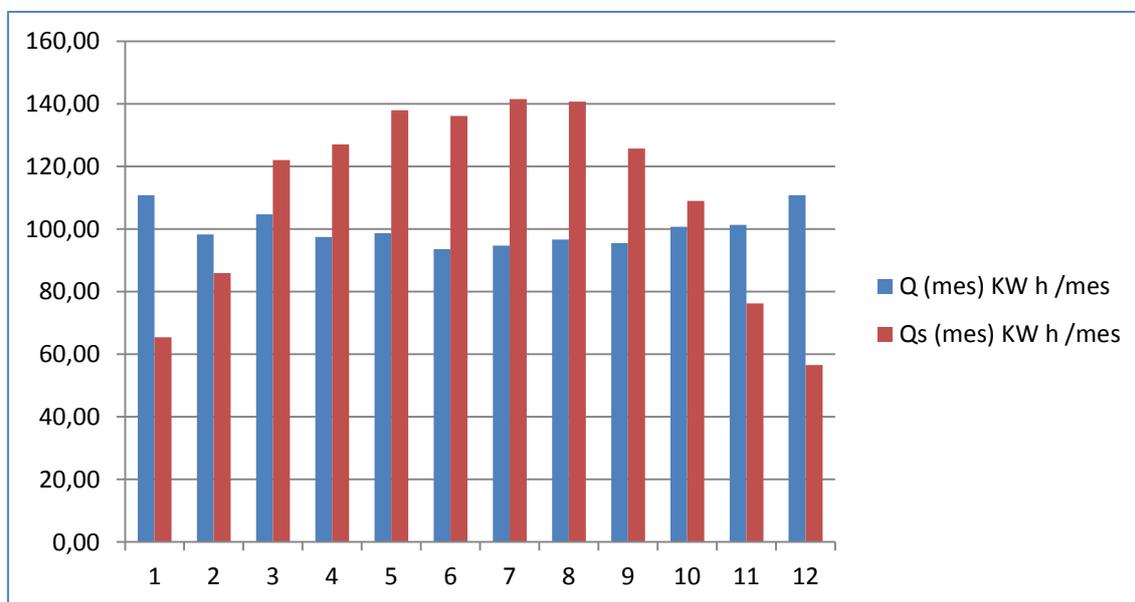
Según expone el Código Técnico de la Edificación en la sección HE4, apartado 2.2.2: protección sobre precalentamientos, la energía producida por la instalación no podrá superar el 110% de la demanda energética en ningún mes del año, ni el 100% en más de 3 meses. En nuestro caso se superan estas dos limitaciones, de modo que habrá que proponer una solución, ya sea disipar el calor o reutilizarlo en la calefacción o el acondicionamiento del aire. Todo esto será estudiado en el apartado 11 del trabajo, en el que se exponen posibles mejoras para la instalación.

El rendimiento medio de la instalación es la relación entre la energía que aporta la instalación solar y la cantidad de radiación que incide en los captadores, siendo el valor medio anual 39%.

MES	Q (mes)	Qs (mes)	Contribución	Rendimiento
	kWh /mes	kWh /mes	%	%
ENERO	110,76	65,44	59,09	53,82
FEBRERO	98,22	85,86	87,42	49,67
MARZO	104,72	122,02	116,53	41,99
ABRIL	97,44	127,05	130,39	36,40
MAYO	98,67	137,87	139,72	32,01
JUNIO	93,54	136,12	145,52	28,82
JULIO	94,65	141,51	149,51	26,78
AGOSTO	96,66	140,65	145,51	29,20
SEPTIEMBRE	95,49	125,73	131,66	36,41
OCTUBRE	100,69	108,96	108,22	44,36
NOVIEMBRE	101,34	76,22	75,21	51,31
DICIEMBRE	110,76	56,53	51,04	54,31

**Tabla 10.9 Contribución solar y rendimiento de la instalación**

Con los valores de la energía demandada y la energía aprovechada de cada mes se ha realizado una tabla comparativa para ver la contribución mensualmente.



**Tabla 10.10 Contribución solar**

### 10.3.- Cálculo del sistema de acumulación e intercambio

El volumen óptimo de **acumulación** puede determinarse a partir de la superficie de captación. El CTE indica que se ha de cumplir que la relación entre el volumen de acumulación y la superficie de captación esté dentro del rango de valores siguiente:

$$50 \leq V/A \leq 180$$

Siendo:

V = Volumen del acumulador solar en litros

A = Superficie de captación en m<sup>2</sup>

Esta relación entre volumen acumulador/superficie de captación ha de ser la adecuada para obtener las temperaturas de acumulación deseadas, ya que si el volumen del acumulador disminuye, se puede conseguir mayor temperatura de agua almacenada, pero disminuye el rendimiento del captador debido a que se aumenta la temperatura media de funcionamiento de los captadores solares, y a mayor temperatura, menor rendimiento de los mismos. Por otro lado, si el acumulador es mayor, se incrementa el rendimiento, pero se corre el riesgo de no alcanzar la temperatura de utilización.

Aplicando lo anterior a la Casa Solar se obtiene:

$$50 \leq V/A \leq 180 \rightarrow 50 \times A \leq V \leq 180 \times A \rightarrow 50 \times 2,56 \text{ m}^2 \leq V \leq 180 \times 2,56 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow \mathbf{128 \leq V \leq 460,8}$$

Teniendo en cuenta los volúmenes de típicos de los acumuladores disponibles en el mercado, se ha optado por dos acumuladores, de 200 y 75 litros de capacidad, cuya suma de volúmenes (275 l) se encuentra dentro del rango de los valores permitidos.

En cuanto al **intercambiador**, al estar incorporado dentro del acumulador, ha de cumplir la siguiente condición, impuesta también por el CTE:

$$\text{Sup}_{\text{intercambiador}}/A > 0,15$$

Siendo:

$Sup_{\text{intercambiador}} = \text{Superficie útil del intercambiador incorporado en el acumulador.}$

Por lo tanto, la superficie útil de intercambio mínima en el caso de la instalación del Urcomante será:

$$Sup_{\text{intercambiador}} / A > 0,15 \rightarrow Sup_{\text{intercambiador}} > 2,56 \text{ m}^2 \times 0,15$$

$$\rightarrow \mathbf{Sup_{\text{intercambiador}} > 0,384 \text{ m}^2}$$

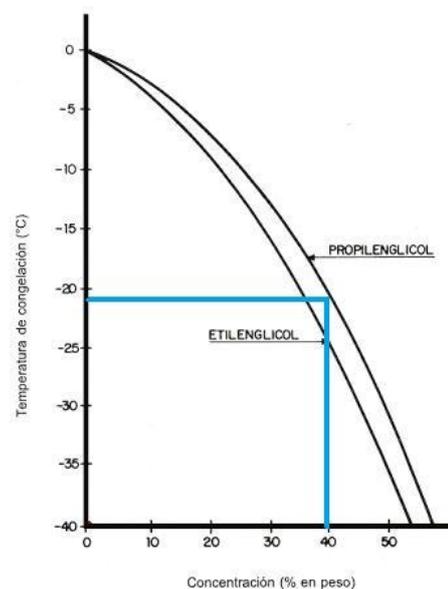
Repartido entre los dos acumuladores de 200 y 75 litros le corresponden 0,28 m<sup>2</sup> y 0,10 m<sup>2</sup> de superficie mínima a cada uno respectivamente.

#### 10.4.- Cálculo del circuito hidráulico

En este apartado se procede a dimensionar las tuberías de los diferentes circuitos que forman parte de la instalación. Por un lado, las de cobre del circuito primario, y por el otro, las de polietileno multicapa del circuito secundario y de consumo.

El dimensionado del **circuito primario** ha de realizarse para una pérdida de carga reducida, entre 20 y 100 mm c.a por metro lineal, y una velocidad no superior a 1,5 m/s, para evitar ruidos, erosión o grandes pérdidas de carga.

Para el dimensionado se toma el caudal que indica el fabricante de los tubos de vacío (160 l/h por captador) y un fluido caloportador constituido un 60% agua y un 40% propilenglicol. Esta proporción de anticongelante en la mezcla se obtiene según el clima de la zona, para evitar que el fluido se congele. Según el Pliego de Condiciones Técnicas de Baja Temperatura del IDAE ha de ser 5 grados inferior a la mínima histórica registrada en



la zona. De forma que si se introduce la temperatura  $(-16 - 5 = -21^{\circ}\text{C})$  en el abaco, se obtiene el valor de 40% de propilenglicol.

El procedimiento de dimensionado de tuberías del DTIE 8.04 (Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación) consiste en calcular el caudal primario según el criterio de 160 l/h por captador. De esta forma:

$$V = A_{\text{CAP}} \times V_{\text{CAP}} = 2 \times 160 = 320 \text{ l/h}$$

Con este valor se obtiene la **sección de la tuberías** empleando la tabla correspondiente a tubos de cobre con 40% de propilenglicol del Anexo D del DTIE 8.04. Según esta tabla, se tratará de una tubería **18 x 1,0 mm**, con una velocidad de 0,48 m/s y una pérdida de carga de 32,2 mmc.a./m, estando estos valores dentro de los permitidos.

En cuanto el diseño de este circuito de tuberías de cobre, la longitud debe ser la mínima posible, para reducir las pérdidas térmicas, y los tramos horizontales deberán tener una pendiente mínima del 1% en sentido de la circulación.

Por otro lado, el dimensionado de los **circuitos secundario y de consumo** se realizará siguiendo el documento HS4 del CTE, ya que es un procedimiento parecido al empleado en agua fría sanitaria.

En primer lugar se determinará el **caudal total** de cada tramo (Q), que será igual a la suma de los caudales de los puntos de consumo alimentados de acuerdo con la **tabla 10.11**, tanto para el agua fría como para el ACS.

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm <sup>3</sup> /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm <sup>3</sup> /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

**Tabla 10.11 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato**

**Fuente: Código Técnico de la Edificación**

Una vez conocido el caudal, se elige una **velocidad de cálculo** ( $V$ ), comprendida entre los valores que señala el CTE dependiendo de si se trata de una tubería metálica o no. En este caso se toman 2 m/s.

Para obtener el diámetro interior mínimo se emplea la siguiente fórmula, en función del caudal de agua y la velocidad de cálculo:

$$D(\text{mm}) = \sqrt{\frac{4000 \times Q}{\pi \times V}}$$

A continuación este valor se multiplica por el coeficiente de simultaneidad, que se calcula según la fórmula:

$$F = (19 + N) / 10 \cdot (N + 1)$$

Donde  $N$  es el número de viviendas. Por lo tanto, tratándose de una instalación de vivienda unifamiliar, el valor de este coeficiente es 1.

Con el valor obtenido de la multiplicación, hay que comprobar que se cumple con los diámetros mínimos establecidos por el CTE para cada aparato y cada tipo de tramo, tal y como se indica en las **tablas 10.12 y 10.13**. De no ser así se tomaran esos valores.

Aparato o punto de consumo	Diámetro nominal del ramal de enlace	
	Tubo de acero (")	Tubo de cobre o plástico (mm)
Lavamanos	½	12
Lavabo, bidé	½	12
Ducha	½	12
Bañera <1,40 m	¾	20
Bañera >1,40 m	¾	20
Inodoro con cisterna	½	12
Inodoro con fluxor	1- 1 ½	25-40
Urinario con grifo temporizado	½	12
Urinario con cisterna	½	12
Fregadero doméstico	½	12
Fregadero industrial	¾	20
Lavavajillas doméstico	½ (rosca a ¾)	12
Lavavajillas industrial	¾	20
Lavadora doméstica	¾	20
Lavadora industrial	1	25
Vertedero	¾	20

**Tabla 10.12 Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos**

**Fuente: Código Técnico de la Edificación**

Tramo considerado	Diámetro nominal del tubo de alimentación	
	Acero (")	Cobre o plástico (mm)
Alimentación a cuarto húmedo privado: baño, aseo, cocina.	¾	20
Alimentación a derivación particular: vivienda, apartamento, local comercial	¾	20
Columna (montante o descendente)	¾	20
Distribuidor principal	1	25
< 50 kW	½	12
Alimentación equipos de climatización 50 - 250 kW	¾	20
250 - 500 kW	1	25
> 500 kW	1 ¼	32

**Tabla 10.13 Diámetros mínimos de alimentación**

**Fuente: Código Técnico de la Edificación**

Por último, se seleccionarán las tuberías dentro de los diámetros comerciales disponibles. En el caso de las de polietileno multicapa de UPONOR empleadas en este circuito, serán diámetros de 16, 20, 25 y 32 mm.

En cuanto al aislamiento de las tuberías, se han definido de acuerdo al RITE. Las tuberías de agua fría tendrán el mínimo necesario para evitar condensaciones, es decir 10 mm. En cuanto al aislamiento de las de agua caliente se tomará 25 mm basándose en la temperatura que se alcanza.

A continuación se adjunta una tabla en la que se recogen los cálculos necesarios para obtener los diámetros finales, siguiendo los pasos anteriormente descritos.

APARATO	Q (l/s)		Ø (mm)		Ømin CTE (mm)		Ø final (mm)		Aislamiento	
	AF	ACS	AF	ACS	AF	ACS	AF	ACS	AF	ACS
Lavadora	0,20	0,15	11,28	9,77	20	20	<b>20</b>	<b>20</b>	10	25
Ducha	0,20	0,10	11,28	7,98	12	12	<b>16</b>	<b>16</b>	10	25
Lavadora + Ducha	0,40	0,25	15,96	12,62			<b>16</b>	<b>16</b>	10	25
Lavabo	0,10	0,065	7,98	6,43	12	12	<b>16</b>	<b>16</b>	10	25
Lavadora + Ducha + Lavabo	0,50	0,315	17,84	14,16			<b>16</b>	<b>16</b>	10	25
Inodoro	0,10	-	7,98	-	12	-	<b>16</b>	-	10	25
Total baño	0,60	0,32	19,54	14,16	20	20	<b>20</b>	<b>20</b>	10	25
Fregadero	0,20	0,10	11,28	7,98	12	12	<b>16</b>	<b>16</b>	10	25
Lavavajillas	0,15	0,10	9,77	7,98	12	12	<b>16</b>	<b>16</b>	10	25
Total cocina	0,35	0,20	14,93	11,28	20	20	<b>20</b>	<b>20</b>	10	25
<b>TOTAL</b>	<b>0,95</b>	<b>0,52</b>	<b>24,59</b>	<b>18,11</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>25</b>

## 11.- PROPUESTA DE MEJORAS

### 11.1.- Conclusiones del estado actual de la instalación

Como se ha podido observar en el apartado del cálculo del aporte solar de la instalación, en los meses de invierno no se llega a cubrir toda la demanda energética, y en los meses de verano se sobrepasan los valores permitidos por el CTE. Ambos problemas pueden solucionarse de diversas maneras.

Por un lado, se pretende **aumentar el aporte solar en invierno**. Por lo general, en las instalaciones solares térmicas nunca se llega a cubrir la demanda todos los meses, dejando al sistema auxiliar el resto del aporte energético. Pero en este caso, tratándose de una Casa Solar autosuficiente, en el presente trabajo se propone cubrir lo máximo posible esta demanda (como mínimo el 84%) empleando el sistema auxiliar lo menos posible.

Por otro lado, toda la energía sobrante de los meses de verano provoca un sobrecalentamiento de la instalación, por lo que se deberá disponer un sistema de seguridad frente a altas temperaturas. Este sistema entrará en funcionamiento cuando se alcancen las temperaturas máximas en el acumulador solar, existiendo varias medidas para **disipar el calor**. Además, otra opción a tener en cuenta es reutilizar este calor sobrante para la calefacción, o añadir un sistema refrigeración por absorción. Todos estos supuestos se estudiarán a continuación.

Los problemas anteriores están relacionados directamente con la aportación solar, pero el rendimiento de una instalación y su correcto funcionamiento también dependen de los diferentes elementos que la componen, así como de las conexiones entre ellos, por lo tanto, se propondrán soluciones para optimizar lo máximo posible la instalación en este sentido.

## 11.2.- Contribución total en invierno

Según el cálculo realizado con el método F-Chart para la superficie de captadores instalada, los meses en los que no se consigue una contribución total son enero, febrero, noviembre y diciembre, en los que se obtienen valores que oscilan entre el 59 y 87%. Estos datos se encuentran dentro de la exigencia de contribución solar mínima del CTE, pero en el presente trabajo se busca un aporte solar que prácticamente se iguale a la demanda energética. Para ello, se han estudiado dos posibles soluciones.

Una de ellas consiste en comprobar si **modificando el azimut solar ( $\alpha$ ) y el ángulo de elevación ( $\beta$ )** de los captadores se obtiene mayor radiación solar, y por lo tanto, mayor contribución. Actualmente los tubos de vacío del Urcomante están orientados  $20^\circ$  al SO respecto al sur geográfico, y tienen una elevación de  $35^\circ$ , siguiendo la inclinación de la cubierta, con lo que se tiene una radiación de  $1532,13 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$  y un aporte solar del 59% en el mes de Enero, por ejemplo.

Se ha realizado el mismo cálculo modificando estos datos por los óptimos, es decir, azimut 0 (sur) y elevación igual a la latitud del lugar ( $41^\circ$ ), obteniéndose una radiación de  $1637,16 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$  y un aporte solar del 62% en Enero.

Además de no suponer un gran aumento en la contribución, ya que solo aumenta en un 3%, habría que tener en cuenta los problemas estructurales, estéticos y de vela que supondría cambiar la inclinación de los captadores, por lo que esta solución **no es válida**.

La segunda opción consiste en **aumentar la superficie de captación**, para conseguir mayor cantidad de energía, y por lo tanto incrementar el aporte solar. Manteniendo el mismo modelo de captador para evitar posibles problemas de compatibilidad, se ha calculado que son necesarios dos más para llegar a un nivel de contribución alto (como mínimo el 84%). Es decir, se pasa de  $2,56 \text{ m}^2$  a  $5,12 \text{ m}^2$ . En el apartado 12 del trabajo, cálculo de la instalación con mejoras, se emplea el método F-Chart con este aumento de superficie para obtener la nueva contribución solar de la instalación.

### 11.3.- Disipador de calor en verano

Aumentar el área de captación supone un aumento de la contribución en todos los meses del año. De modo que en invierno se consigue llegar a valores altos mientras que en verano se sobrepasan aun más los que ya teníamos. Esto no supone ningun problema porque se pretende disponer sistemas que eviten el sobrecalentamiento de la instalacion.

Existen diferentes medidas para ello, como pueden ser:

El **tapado parcial de los captadores**. De este modo se evita parte del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua posibles excedentes térmicos residuales a traves del circuito primario, que seguirá atravesando al captador.

Sistemas de **vaciado y llenado automático** del campo de captadores, así como el **vaciado parcial**, con la correspondiente reposición de fluido primario por otro de características similares.

Desvío de los excedentes energéticos a **otras aplicaciones**, como la **calefacción**, por medio de radiadores o suelo radiante, o **la refrigeración por absorción**. Esta última aplicación es el llamado frío solar o refrigeración solar, que consiste en un sistema que emplea la energía solar para la refrigeración de ambientes, siendo lo mas común el acondicionamiento del aire. La refrigeración por absorción es un medio para conseguir frío que consiste en reacciones fisico-químicas entre un refrigerante y un absorbente (agua y bromuro de litio/amoníaco) accionadas por una energía térmica, como es el agua caliente de la instalación solar.

También se puede dotar a la instalación de **disipadores de calor** a traves de equipos específicos, mediante la recirculación nocturna o empleando una masa geotérmica.

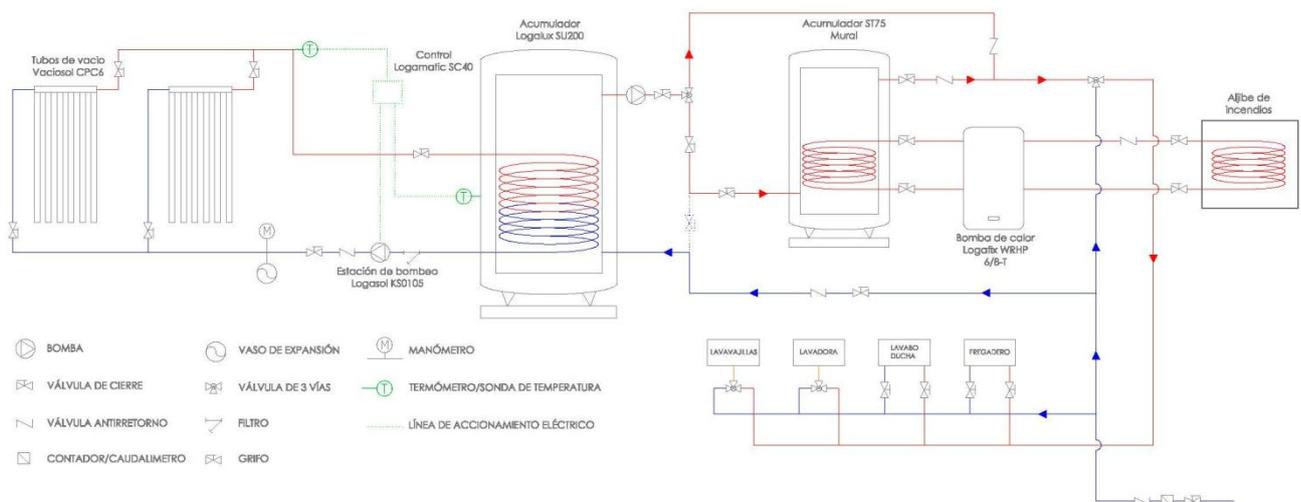
La refrigeración por absorción es una de las mejores soluciones posibles. Por lo general, hay más excedente de energía en los meses de verano, de modo que tiene más sentido utilizar dicha energía para refrigerar, que para calentar por medio de la calefacción, o desaprovecharla disipándola. Aun así, se ha optado por la última solución, la **disipación del calor por medio de la**

**masa geotérmica**, dado que este trabajo está enfocado únicamente en la energía solar térmica, sin tener en cuenta temas de climatización.

De este modo, se plantean para la instalación de la Casa Solar **dos soluciones**, independientes entre ellas, para evitar el sobrecalentamiento.

Por un lado, a falta de un estanque de agua acumulada, se emplea el **aljibe de incendios** de la ETSAV como masa para **disipar el calor** obtenido por medio de la captación solar, haciendo circular el fluido del circuito secundario por el depósito acumulador servido por la bomba de calor reversible, y descargando el exceso de energía en la masa térmica.

A continuación se adjunta el nuevo esquema de la instalación, al cual se le ha añadido el aljibe de incendios, conectado con la bomba de calor mediante un serpentín por el que circulará un fluido que permita disipar el calor.



**Imagen 11.1 Nuevo esquema de la instalación**

Por otro lado, también está la opción de incorporar en la instalación un **sistema de llenado y vaciado** automático del circuito de los captadores. Si se decide emplear esta segunda solución, no sería necesario el disipador de calor, ya que los sobrecalentamientos no llegarían a producirse. Como supone un cambio en un componente de la instalación, se explicará su funcionamiento en el siguiente apartado.

## 11.4.- Posible sustitución de elementos

### 11.4.1.- Captadores solares

En cuanto al resto de componentes de la instalación, por un lado se ha estudiado la posibilidad de **sustituir los captadores** por otros de mayor calidad. Tratándose de captadores de tubo de vacío, ya son uno de los mejores modelos que pueden encontrarse actualmente en el mercado, con un alto rendimiento óptico (0,644) y muy bajo coeficiente global de pérdidas (0,899). Podrían sustituirse por los **captadores de vacío tipo heat pipe**, que también son muy eficientes. A continuación se muestra una comparativa de los captadores BUDERUS Vaciosol CPC 6 V2 (ficha 1 del anexo) de la casa solar, con un captador tipo heat pipe modelo WS-HP de la marca SOLAR WS (ficha 7 del anexo), con rendimiento óptico 0,844 y coeficiente global de pérdidas 2,438, suponiendo una misma superficie de captación. Por los datos de coeficientes se observa que tiene mayor rendimiento óptico el heat pipe, pero las pérdidas también son mayores.

Contrib. BUDERUS	Contrib. SOLAR WS
%	%
59,09	59,99
87,42	90,17
116,53	116,53
130,39	126,74
139,72	135,45
145,52	143,85
149,51	152,96
145,51	144,08
131,66	128,95
108,22	109,15
75,21	76,76
51,04	50,87

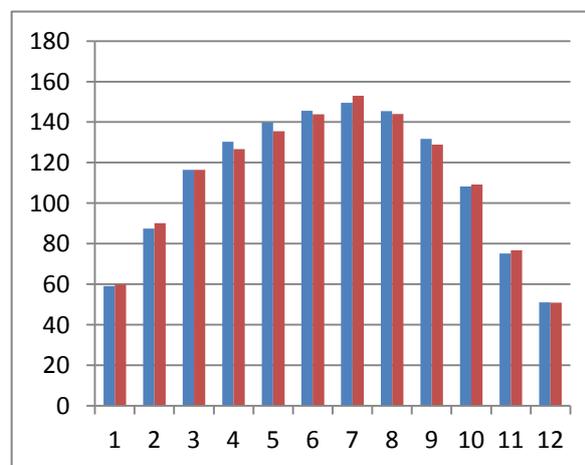


Imagen 11.2 Comparativa entre captadores

En la tabla y gráfica comparativa de los dos tipos de captadores se comprueba que no supone una gran ventaja cambiar el modelo actual de captador de tubo de vacío, ya que no se aumenta considerablemente el aporte solar.

#### 11.4.2.- Sistema de bombeo

Se propone **sustituir el sistema de bombeo** actual de BUDERUS por el grupo hidráulico Drain Back de ROTH (ficha 8 del anexo). Se trata de una estación solar con sistema de autovaciado incorporado. De modo que tiene dos funciones principales: por un lado bombear el fluido caloportador desde los captadores hasta el acumulador, al igual que el antiguo sistema de bombeo, y por otro drenar los captadores solares para evitar problemas de sobretemperatura y congelación de la placas, gracias a su depósito de 8 litros.

Además, esta sustitución del sistema de bombeo proporciona ciertas ventajas a la instalación, como evitar el empleo de elementos de seguridad (vasos de expansión o purgadores) o el hecho de que ya no es necesario disipar los excedentes de energía, debido a que estos no se llegan a producir.

#### 11.4.3.- Electrodomésticos

También se ha analizado la posibilidad de cambiar alguno de los **electrodomésticos** de la Casa Solar por otros más eficientes.

Tratándose de una vivienda con instalación solar térmica, la opción de incorporar electrodomésticos bitérmicos es muy viable, ya que el calentamiento del agua se realiza por medio de energía renovable, sin suponer ningún gasto. Por lo tanto, se propone cambiar el lavavajillas y la lavadora por unos que sean bitérmicos, es decir, con tomas para agua caliente y agua fría. De esta forma se puede obtener el agua caliente directamente de una toma externa, sin tener que realizar el proceso de calentamiento dentro del propio electrodoméstico, suponiendo un gasto extra en electricidad.

#### 11.5.- Mantenimiento de la instalación

Para conservar en buen estado la instalación, asegurarse de su correcto funcionamiento y aumentar al máximo posible su vida útil, se recomienda seguir el plan de vigilancia y el plan de mantenimiento que se contemplan en el CTE.

El **plan de vigilancia** consiste en una observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación, mientras que el **plan de mantenimiento** son operaciones de inspección visual y verificación de actuaciones, que deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente y la instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas.

### 11.6.- Resumen de mejoras

En los apartados anteriores se han estudiado las posibles soluciones para optimizar la instalación solar térmica de la Casa Solar, optando finalmente por las siguientes:

- Doblar la superficie de captación para aumentar la contribución solar lo máximo posible en los meses de invierno.
- Disipar el calor sobrante de la instalación mediante la conexión de la bomba de calor al aljibe de incendios.
- O evitar el sobrecalentamiento de la instalación mediante un sistema de bombeo nuevo que permita el llenado y vaciado del circuito de los captadores y evite además la necesidad de vasos de expansión y del sistema de disipación anterior.
- Sustitución de lavadora y lavavajillas por unos bitérmicos para ahorrar en gasto eléctrico.
- Dotar a la instalación de un correcto plan de vigilancia y mantenimiento.

Con estos cambios que se proponen se realiza a continuación el cálculo de la instalación con la misma metodología que se empleó en el apartado 10.

## 12.- CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN CON MEJORAS

### 12.1.- Datos de partida

Los datos de partida son los mismos que se emplearon anteriormente, exceptuando la superficie de captación de la instalación, ya que ahora se dispone de 4 captadores de tubo de vacío en vez de 2, con un área útil de 1,28 m<sup>2</sup> cada uno, es decir, 5,12 m<sup>2</sup> de superficie total de captación. La orientación y elevación se mantienen.

### 12.2.- Cálculo de la contribución solar: Método F-Chart

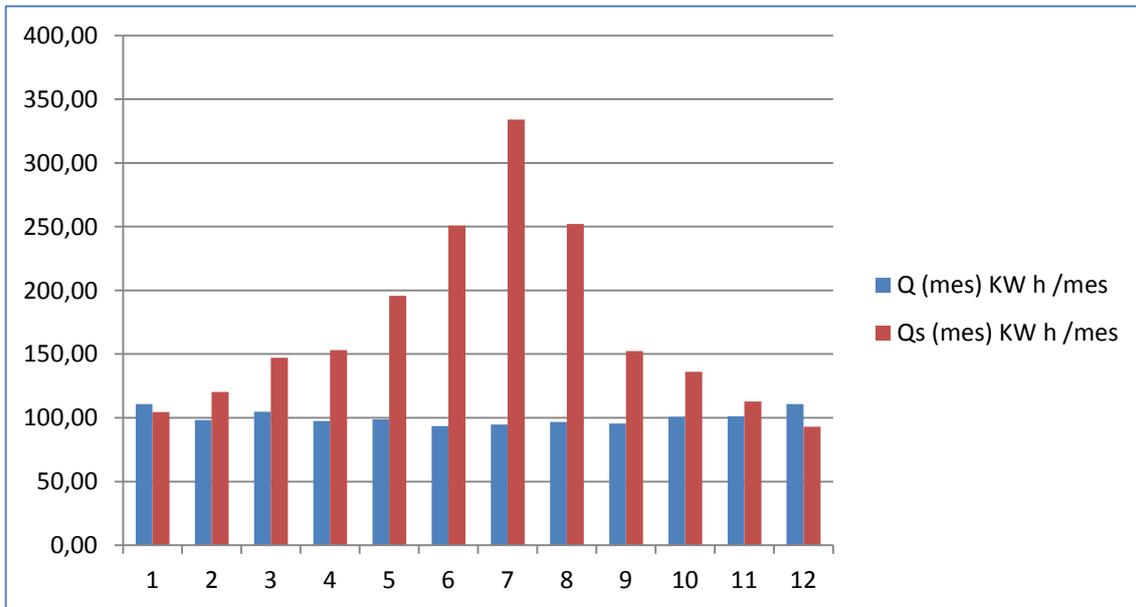
Para obtener la nueva contribución solar se emplea el procedimiento explicado en el apartado 10, pero en este caso conociendo los 2 primeros pasos, la demanda y la radiación solar incidente. De modo que se procede a calcular los parámetros  $D_1$  y  $D_2$  para obtener la energía útil captada y el aporte solar correspondiente.

MES	DIA	$E_{SOL}$ kWh/m <sup>2</sup> día	$F'_r (\alpha \cdot \tau)$	$E_A$ kWh	$D_1$
ENERO	31	1,53	0,725	176,41	1,593
FEBRERO	28	2,41	0,725	250,78	2,553
MARZO	31	3,66	0,725	421,59	4,026
ABRIL	30	4,54	0,725	506,38	5,197
MAYO	31	5,43	0,725	624,85	6,332
JUNIO	30	6,15	0,725	685,32	7,326
JULIO	31	6,66	0,725	766,61	8,100
AGOSTO	31	6,07	0,725	698,90	7,230
SEPTIEMBRE	30	4,50	0,725	501,00	5,247
OCTUBRE	31	3,09	0,725	356,34	3,539
NOVIEMBRE	30	1,93	0,725	215,52	2,127
DICIEMBRE	31	1,31	0,725	151,01	1,363

MES	DIA	$F_r U_L$ kW/m <sup>2</sup> °C	T <sub>AMB</sub> °C	T <sub>ACS</sub> °C	T <sub>RED</sub> °C	K1	K2	Ep kWh	D <sub>2</sub>
ENERO	31	0,0009	4	60	5	0,99	0,963	297,66	2,688
FEBRERO	28	0,0009	6	60	6	0,99	0,975	266,59	2,714
MARZO	31	0,0009	9	60	8	0,99	1,015	297,60	2,842
ABRIL	30	0,0009	12	60	10	0,99	1,059	290,37	2,980
MAYO	31	0,0009	17	60	11	0,99	1,029	275,12	2,788
JUNIO	30	0,0009	21	60	12	0,99	1,013	249,35	2,666
JULIO	31	0,0009	24	60	13	0,99	1,012	247,68	2,617
AGOSTO	31	0,0009	23	60	12	0,99	0,979	242,72	2,511
SEPTIEMBRE	30	0,0009	18	60	11	0,99	1,013	259,01	2,712
OCTUBRE	31	0,0009	13	60	10	0,99	1,044	292,58	2,906
NOVIEMBRE	30	0,0009	8	60	8	0,99	1,030	295,23	2,913
DICIEMBRE	31	0,0009	4	60	5	0,99	0,963	297,66	2,688

MES	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	F mes	Qs (mes) kWh/mes
ENERO	1,593	2,688	0,94	104,40
FEBRERO	2,553	2,714	1,22	120,30
MARZO	4,026	2,842	1,40	147,07
ABRIL	5,197	2,980	1,57	153,04
MAYO	6,332	2,788	1,98	195,76
JUNIO	7,326	2,666	2,68	250,93
JULIO	8,100	2,617	3,53	333,94
AGOSTO	7,230	2,511	2,61	251,98
SEPTIEMBRE	5,247	2,712	1,60	152,47
OCTUBRE	3,539	2,906	1,35	136,17
NOVIEMBRE	2,127	2,913	1,11	112,79
DICIEMBRE	1,363	2,688	0,84	93,08

MES	Q (mes) kWh /mes	Qs (mes) kWh /mes	Contribución %	Rendimiento %
ENERO	110,76	104,40	94,26	42,93
FEBRERO	98,22	120,30	122,48	34,80
MARZO	104,72	147,07	140,45	25,31
ABRIL	97,44	153,04	157,06	21,92
MAYO	98,67	195,76	198,39	22,73
JUNIO	93,54	250,93	268,25	26,56
JULIO	94,65	333,94	352,83	31,60
AGOSTO	96,66	251,98	260,69	26,15
SEPTIEMBRE	95,49	152,47	159,67	22,08
OCTUBRE	100,69	136,17	135,24	27,72
NOVIEMBRE	101,34	112,79	111,30	37,96
DICIEMBRE	110,76	93,08	84,04	44,71



Con esta gráfica se comprueba que la demanda queda prácticamente cubierta todos los meses del año, con tan solo 2 casos en los que no se consigue la totalidad, pero aun así tienen un porcentaje elevado (94 y 84%). Aunque en verano se obtiene demasiada energía, esta será disipada mediante el aljibe de incendios o empleando el sistema de autovaciado del circuito primario, tal y como se explicó anteriormente.

### 12.3.- Cálculo del sistema de acumulación e intercambio

El depósito de **acumulación** depende de la superficie de captación, de modo que habrá que calcular un nuevo rango de valores como indica el CTE:

$$50 \leq V/A \leq 180 \rightarrow 50 \times A \leq V \leq 180 \times A \rightarrow 50 \times 5,12 \text{ m}^2 \leq V \leq 180 \times 5,12 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow \mathbf{256 \leq V \leq 921,6}$$

Actualmente se dispone de un volumen de acumulación de 275 litros (200+75) que cumpliría con este nuevo rango de valores, aunque acercándose al límite. Como se explicó, cuanto menor es el acumulador, más temperatura de agua almacenada se consigue, pero disminuye el rendimiento del captador. Lo ideal sería un acumulador con un volumen intermedio, pero como la

ocupación de la vivienda es pequeña, supondría un volumen de acumulación excesivo. Por este motivo se mantienen los dos depósitos existentes.

En cuanto al **intercambiador**, la superficie útil de intercambio incorporada en el acumulador también aumenta, obteniendo un nuevo valor mínimo:

$$\text{Sup}_{\text{intercambiador}} / A > 0,15 \rightarrow \text{Sup}_{\text{intercambiador}} > 5,12 \text{ m}^2 \times 0,15$$

$$\rightarrow \text{Sup}_{\text{intercambiador}} > \mathbf{0,768 \text{ m}^2}$$

Repartido entre los dos acumuladores de 200 y 75 litros le corresponden 0,58 m<sup>2</sup> y 0,19 m<sup>2</sup> respectivamente.

#### 12.4.- Cálculo del circuito hidráulico

El cambio de superficie de captación solo afecta al dimensionado del **circuito primario**, ya que a más captadores, mayor caudal. De esta forma:

$$V = A_{\text{CAP}} \times V_{\text{CAP}} = 4 \times 160 = 640 \text{ l/h}$$

Con este valor se obtiene la sección de la tuberías empleando la tabla correspondiente a tubos de cobre con 40% de propilenglicol del Anexo D del DTIE 8.04. Según esta tabla, se tratará de una tubería **22 x 1,0 mm**, con una velocidad de 0,62 m/s y una pérdida de carga de 36,8 mmc.a./m, estando estos valores dentro de los permitidos.

### 13.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

La instalación solar térmica para ACS de la Casa Solar de la ETSAV estaba diseñada para cubrir parcialmente la demanda energética, empleando el sistema de energía auxiliar en las ocasiones de poco aporte solar.

En este trabajo se ha propuesto cubrir prácticamente la totalidad de la demanda, para dar a la vivienda la máxima autonomía posible, sin tener que depender tanto del sistema de energía auxiliar.

Para ello se han realizado varios cálculos para obtener la contribución actual de la instalación. En primer lugar, un estudio del soleamiento para conseguir la radiación que reciben los captadores en su plano, mucho más exacta que empleando los datos generales proporcionados el IDAE, y en segundo lugar, el método F-Chart para el aporte solar y el rendimiento de la instalación.

Una vez conocidos estos datos, se proponen varias soluciones para aumentar la contribución solar. Con el correspondiente estudio de las mismas, se ha optado por **doblar la superficie de captación**, que aunque en un principio suponga invertir en captadores solares, esto se rentabilizara con el tiempo gracias al menor uso de la energía auxiliar.

Por otro lado, el aumento de la superficie de captación supone un sobrecalentamiento de la instalación, problema para el cual se proponen dos soluciones independientes. Por un lado emplear el aljibe de incendios como **disipador de calor** y por el otro añadir un **sistema de vaciado y llenado automático** del circuito de los captadores.

Estas decisiones se han tomado porque sólo se está estudiando lo referente a la energía solar térmica para ACS, pero existen otras soluciones que incumben a la calefacción y al acondicionamiento del aire que son perfectamente viables. Como es el caso de reutilizar la energía sobrante para la calefacción en invierno (mediante radiadores o suelo radiante) o para el aire acondicionado en verano mediante un sistema de refrigeración por absorción conectado a la instalación solar. Estas dos soluciones son muy interesantes, ya

que aprovecharían la energía sobrante, en vez de disiparla, pero el presente trabajo no abarca su estudio.

El desarrollo del presente Trabajo Fin de Grado ha permitido obtener diferentes **conclusiones**.

El diseño de una instalación solar térmica presenta ciertas dificultades derivadas de la propia fuente de energía, el Sol.

Por un lado, la cantidad de radiación varía de unos meses a otros, siendo menor en invierno, mientras que la demanda energética de la vivienda sigue siendo la misma. Sin embargo, en los meses de verano, se llega a obtener la energía necesaria e incluso un excedente que se puede reutilizar.

Por otro lado, el hecho de que sólo se pueda obtener radiación solar durante las horas de sol hace que sea necesario un sistema de acumulación, para satisfacer la demanda en los casos de nula radiación.

Además, la cantidad de radiación recibida no es un valor que se pueda fijar, es impredecible, por eso siempre es necesario instalar un sistema de energía auxiliar para los casos más desfavorables.

La instalación se ha diseñado con el número de captadores necesario para satisfacer la demanda al 100% prácticamente todos los meses del año. Por lo tanto, según lo visto en cada uno de los capítulos anteriores se puede afirmar que:

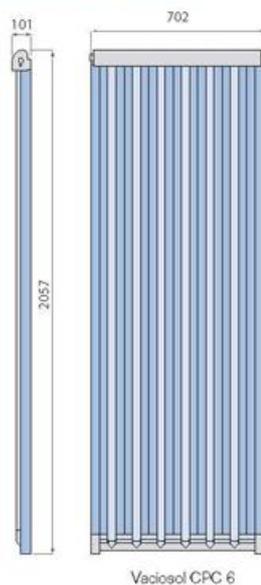
- La instalación diseñada es capaz de satisfacer la demanda de ACS, lo que se traduce en una notable reducción del uso del sistema de energía auxiliar, con el consiguiente ahorro de emisiones y combustible.
- Aun así, la instalación dispone de este sistema auxiliar para garantizar que se cubra la demanda energética cuando la radiación no sea suficiente, cuando las condiciones climatológicas sean adversas o ante posibles averías de los sistemas.
- La instalación solar permite, por lo tanto, evitar parte del uso de energía primaria contribuyendo a reducir la dependencia energética.

- La instalación solar diseñada es viable y capaz de proporcionar beneficios derivados del ahorro de energía primaria con respecto a otras instalaciones convencionales.
- La instalación está diseñada con sistemas de seguridad frente a sobrecalentamientos en los meses en los que se excede la demanda energética, evitando posibles averías de la instalación así como temperaturas excesivas.
- La instalación debe disponer y cumplir un plan de vigilancia y mantenimiento para asegurar su durabilidad y su correcto funcionamiento.

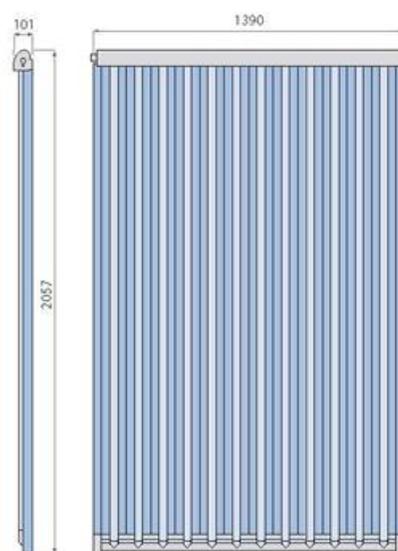
Para concluir, pese a que los cálculos se han realizado a partir de datos mensuales, los resultados cuentan con la máxima rigurosidad posible y se encuentran alcanzados los objetivos del presente Trabajo Fin de Grado.

# **ANEXO.- FICHAS TÉCNICAS**

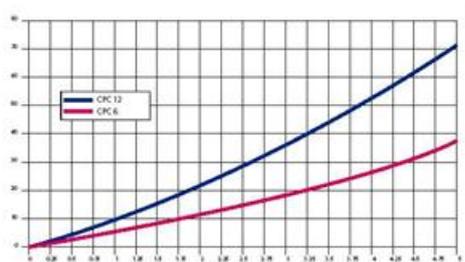
### Datos técnicos Vaciosol



Vaciosol CPC 6



Vaciosol CPC 12

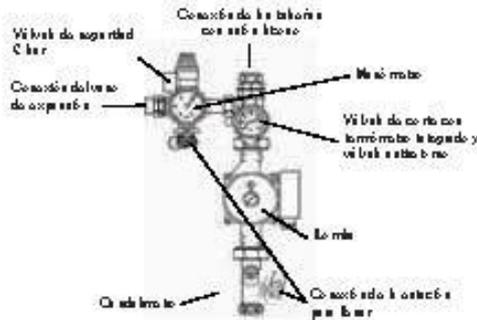


Curva de pérdida de carga obtenida con líquido solar Tyfocor LS a una temperatura de 40 °C.

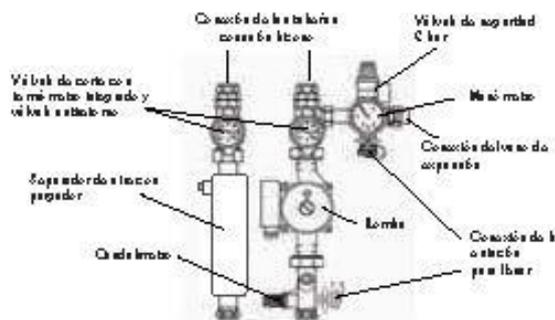


Datos técnicos	Vaciosol CPC 6 V2	Vaciosol CPC 12 V2
Número de tubos de vacío	6	12
Dimensiones	702 x 2057 x 101	1392 x 2057 x 101
Área total	1,43	2,86
Área de apertura	1,28	2,57
Volumen de absorbedor Vf	1,06	2,14
Peso vacío	23	43
Material del colector	Aluminio, acero inoxidable, cristal, silicona, PBT, EPDM y TE	
Material del tubo de cristal	Borosilicato 3.3	
Revestimiento del absorbedor	Altamente selectivo (nitrito de aluminio)	
n0	0,644	
k1	0,749	
k2	0,005	
Capacidad térmica	9180	
IAM_dir (50°)	0,98	
Presión máxima pmax	10	
Caudal nominal	160	
Temperatura de estancamiento	301	

■ Datos técnicos Logasol KS



Construcción de las estaciones solares Logasol KS01...E



Construcción de las estaciones solares Logasol KS01...

Estación solar Logasol	De 1 vía		De 2 vías			
	KS 0105 E	KS 0110 E	KS 0105	KS 0110	KS 0120	KS 0150
Número máximo de captadores	1-5	6-10	1-5	6-10	11-20	21-50
Dimensiones	Altura H ▶ [mm]	370	370	370	370	370
	Anchura B ▶ [mm]	145	145	290	290	290
	Fondo T ▶ [mm]	200	200	225	225	225
Construcción	bicono 15	bicono 22	bicono 15	bicono 22	bicono 28	bicono 28
Construcción vaso de expansión	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Válvula de seguridad ▶ [bar]	6	6	6	6	6	6
Bomba	UPS 25-40	UPS 15-70	UPS 25-40	UPS 15-70	UPS 25-80	UPS 25-120
Alimentación eléctrica ▶ [V AC]	230	230	230	230	230	230
Frecuencia ▶ [Hz]	50	50	50	50	50	50
Presión de la bomba disponible	4 m	7 m	4 m	7 m	8 m	12 m
Manómetro	X	X	X	X	X	X
Válvula de corte (impulsión / retorno)	- / X	- / X	X / X	X / X	X / X	X / X
Termómetro (impulsión / retorno)	- / X	- / X	X / X	X / X	X / X	X / X
Válvula antirretorno (impulsión / retorno)	- / X	- / X	X / X	X / X	X / X	X / X
Caudalímetro	X	X	X	X	X	X
Separador de aire	-	-	X	X	X	X <sup>*)</sup>
Construcción estación de llenado	X	X	X	X	X	X
Construcción vaso de expansión	X	X	X	X	X	X

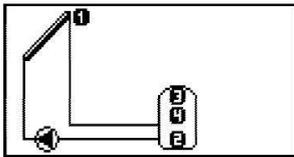
\* Dimensiones y datos técnicos de las estaciones solares Logasol KS...  
 \*) se necesita un separador de aire en el tejado por campo de captadores

■ Campos de aplicaciones

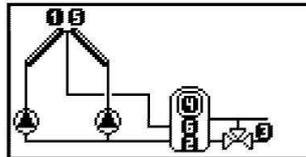


**LOGAMATIC SC40****Sistemas de regulación solar Buderus  
Logamatic SC40****Logamatic SC40**

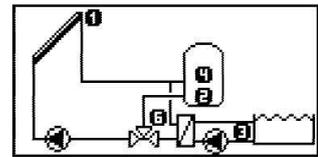
Tipos	Características
	<p><b>Descripción:</b> La regulación Logamatic SC40 es una regulación solar multifuncional para diferentes hidráulicas solares. Su pantalla LCD iluminada con 27 pictogramas animados de hidráulicas preajustadas visualizan el estado de funcionamiento del sistema completo. Para montaje en pared.</p> <p><b>Principales funciones/Descripción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo calefacción Control de aumento temperatura de retorno (según configuración).</li> <li>• Varias aplicaciones (hasta 3) Control aplicaciones adicionales con bomba o válvula de tres vías (todo o nada) (según configuración).</li> <li>• Recirculación entre depósitos Control de bomba recirculación entre dos depósitos en línea (según configuración).</li> <li>• Regulación este-oeste Funcionamiento de dos campos de colectores separados (según configuración).</li> <li>• Contador de energía Medidor de energía con contador (opcional).</li> <li>• Intercambiador externo Carga del acumulador sobre intercambiador (según configuración).</li> <li>• Entrega de datos Conexión RS232.</li> <li>• Función de enfriamiento Enfriamiento de los colectores para evitar sobrecalentamiento.</li> <li>• Double Match Flow Para optimizar la carga de una acumulación estratificada (opcional con sonda adicional).</li> <li>• Anti-heladas del intercambiador Sistema de bypass para evitar la congelación en los intercambiadores (según configuración).</li> </ul> <p><b>Características técnicas</b></p> <p>Medidas (An. x Al. x F) 190 x 170 x 50 mm Tensión Elec. 230 V, 50 Hz Entradas 8 x sondas 1 x entrada de impulsos para el caudalímetro</p> <p>Clase de seguridad IP20 Certificación CE</p>

**Sistemas hidráulicos**

Hidráulica T1 - Sistema para agua caliente sanitaria  
8 hidráulicas solares (T1- T8) para A.C.S.



Hidráulica H2-Sistema apoyo a calefacción  
con regulación este/oeste  
13 hidráulicas solares (H1-H13) para  
a.c.s. y apoyo de calefacción



Hidráulica S1-Sistema con piscina  
6 hidráulicas solares (S1-S6) para  
piscina

22

**Volumen de suministro**

Logamatic SC40	Nº de Artículo	Precio (€)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 x Regulación SC40</li> <li>• 1 x Sonda (acumulador)</li> <li>• 1 x Sonda (colector)</li> <li>• Material de montaje en pared</li> </ul>	7747008412	340,00 €

246

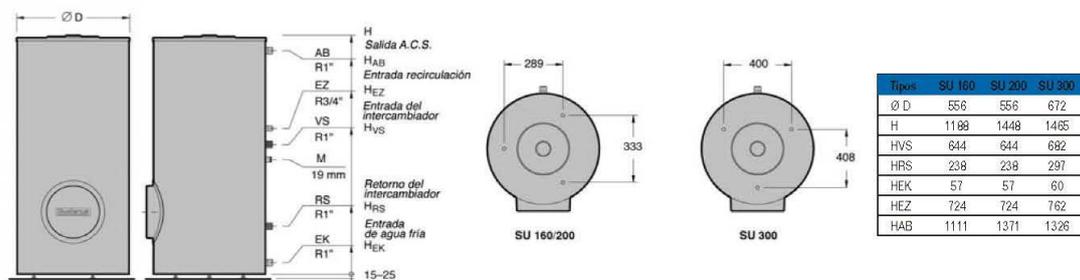
**Buderus**

Importe en Euros, sin I.V.A.

## LOGALUX S 120 / SU

### Acumulador monovalentes de 120 a 300 litros

#### Serie SU / SU W blanco



▶ Acumuladores A.C.S. verticales.

▶ Ánodo de magnesio incorporado.

▶ Capacidades de agua disponibles: 120, 150, 160, 200 ó 300 litros.

Tipos	SW/ SU W				
Capacidad del acumulador	▶ [l]	120	160	200	300
Altura del acumulador	▶ [mm]	956	1188	1448	1465
Contenido del intercambiador tubular	▶ [l]	5	4,5	4,5	8
Potencia de mantenimiento <sup>(1)</sup>	▶ [kwh/24h]	1,48	1,80	2,0	2,10
Presión máxima del agua de calefacción y agua sanitaria	▶ [bar]	6/10	16/10	16/10	16/10
Largo del ánodo	▶ [mm]	—	400	500	700
Temperatura máx. del agua de calefacción y agua sanitaria	▶ [°C]	110/95	160/95	160/95	160/95
Índice de demanda NL a 60°C		1,0	2,6	4,6	10
Caudal continuo 45° C	▶ [l/h]	590	805	805	945
Potencia de funcionamiento a caudal continuo 45° C	▶ [kW]	29	32,8	32,8	38,5
Caudal continuo a 60° C	▶ [l/h]	—	475	475	545
Potencia de funcionamiento a caudal continuo 60° C	▶ [kW]	—	27,5	27,5	31,7
Caudal de agua primario	▶ [m³/h]	—	2,0	2,0	2,6
Pérdidas de carga	▶ [mbar]	—	190	190	63
Peso (sin embalaje) <sup>(2)</sup>	▶ [kg]	72	98	110	145
Euros		748,01 €	987,37 €	1.089,10 €	1.328,46 €

<sup>(1)</sup> en 24 horas; con una temperatura del agua del acumulador de 60° C.  
<sup>(2)</sup> peso con embalaje; sumar un 5%

Entrada de agua fría: 10° C.  
 Temperatura del agua de calefacción: 80° C.

## 21

Opciones	Nº Artículo	Euros
Termómetro horizontal (analógico)	5236210	37,98 €
Cuadro de mando BT 2501 (T° constante)	A consultar	245,35 €
Resistencia para la serie SU 2 kW/230V	5238250	420,04 €
3 kW/400V	5238254	454,55 €
4,5 kW/400V	5238258	483,32 €
6 kW/400V	5238262	529,36 €
Registro de inspección SU 160 / SU 200	7747004740	52,64 €
Registro de inspección SU 300	7747004748	53,85 €

## 234

## Buderus

Importe en Euros, sin I.V.A.

## Acumulador intercambiador indirecto de Junkers

## Acumulador-intercambiador indirecto de Junkers

Por último, se propone una solución en la que se necesitan dos aparatos: una caldera mural a gas con servicio de sólo calefacción y un **acumulador-intercambiador indirecto**, que calienta el agua contenida en el depósito al recibir el agua caliente del primario de la caldera. Existe un modelo de caldera, Eurostar Acu Hit ZWSE...-4 MF., que integra en su interior un acumulador de 48 litros, también recogido en la tabla siguiente.



Tabla 1

Tabla de acumuladores - intercambiadores indirectos Junkers acoplados a calderas Junkers.

	ZWSE 23..	ZWSE 28..	SO 120	SO 160	SO 200	ST 75	ST 90-3	ST 120
Volumen acumulado 60 °C (l)	48	48	114	153	192	75	90	117
Tiempo calentamiento de 10 °C a 60 °C (min)	7.58	6.23	38	51	64	17	26	20
Potencia útil (kW)	23	28	24	24	24	24	24	24
Volumen de acumulación equivalente 40 °C (l)	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>190</b>	<b>255</b>	<b>320</b>	<b>125</b>	<b>150</b>	<b>195</b>
Servicio a.c.s. 40 °C (litros en 1 h.)*	<b>691,3</b>	<b>834,6</b>	<b>764</b>	<b>790</b>	<b>816</b>	<b>748</b>	<b>738</b>	<b>766</b>
Servicio a.c.s. 40 °C (litros en 1/2 h.)*	361,6	433,3	420	446	472	394	404	422
Servicio a.c.s. 40 °C (litros en 1/4 h.)*	196,8	232,6	248	274	300	222	232	250

En la tabla siguiente se recogen el número de puntos de consumo a los que se puede abastecer con el acumulador indirecto:

	ZWSE23	ZWSE28	ST 75	ST 90	ST 120	SO 160	SO 200
	26	30	29	30	33	36	40
	6	7	7	7	8	9	10
	4	5	5	5	6	6	7
	2	3	2	3	3	3	4
	4	5	5	5	6	6	7
	3	3	3	3	3	4	4
	1	2	1	2	2	2	2

Tabla para demandas inferiores a 1/4 de hora.

Logafix WRHP- Top con refrigerante R410A.

**LOGAFIX WRHP TOP**

*Logafix WRHP- Top con refrigerante R410A  
Condensados por agua para climatizar (frío  
y calor) y producir agua caliente sanitaria.  
Potencias 6,58 a 39.3 kW.*

- Climatiza por medio de unidades terminales (fan coils) o directamente a un sistema (Suelo radiante/refrescante).
- La producción de agua caliente se realiza mediante un acumulador.
- Diseñada para funcionar con diferentes sistemas geotérmicos (circuito cerrados horizontales, verticales y circuito abierto directamente con agua)
- Bajos consumos de energía. Puede llegar a alcanzar COP de 5,4 y EER de 6,2, dependiendo del tipo de instalación.
- Autorregulación, ajusta la frecuencia de On/Off y elimina los ciclos de funcionamiento muy cortos, buscando el mejor equilibrio entre la potencia solicitada y entregada.
- Gracias a la autorregulación de la bomba de calor, el volumen de agua necesario en la instalación es mínimo, en la mayoría de los casos no se requiere acumulador de inercia.
- Equipos compactos, diseñados para instalaciones en interiores.
- Silenciosos, bajos niveles de presión sonora, menores a los 53 dB(A).
- Gestión centralizada por ordenador (opcional).
- Teclado de usuario de serie.
- Incluye válvula de 3 vías de serie para producción de ACS.
- Incluye el módulo hidráulico del lado de uso de serie.
- Incluye el módulo hidráulico del lado de la fuente de serie.
- Incluye filtros de agua del lado de uso y de la fuente.

**LOGAFIX WRHP TOP**

Bomba de calor reversible Agua/Agua	Modelo	Potencia (kW) Frio/Calor	Alimentación eléctrica	EER	COP	Peso (kg)	Longitud (mm)	Profundidad (mm)	Altura (mm)	Referencias	Precios [€]
<b>LOGAFIX WRHP TOP</b>	Logafix WRHP 6/8-T	5,97/6,58	230/1/50	4,09	3,89	79	402	602	785	7748000448	7150
	Logafix WRHP 7/8-T	6,4/7,17	230/1/50	4	3,88	81	402	602	785	7748000449	7200
	Logafix WRHP 9/10-T	7,82/8,9	230/1/50	4,07	3,72	84	402	602	785	7748000450	7350
	Logafix WRHP 12/13-T	10,4/11,6	400/3/50	4,37	3,92	88	402	602	785	7748000451	7450
	Logafix WRHP 16/17-T	13,1/15,7	400/3/50	4,13	4,13	96	402	602	785	7748000452	8100
	Logafix WRHP 19/21-T	16,1/19,1	400/3/50	4,17	4,2	112	573	604	858	7748000453	8500
	Logafix WRHP 24/26-T	20/23,6	400/3/50	4,22	4,14	126	573	604	858	7748000454	8950
	Logafix WRHP 26/29-T	22,1/25,3	400/3/50w	4,6	4,04	143	573	604	858	7748000455	9650
	Logafix WRHP 31/33-T	25,6/29,5	400/3/50	4,41	4,18	159	573	604	858	7748000456	10000

Temperatura del agua en el intercambiador de calor interior (12/7°C); temperatura del agua de salida en el intercambiador de calor exterior (30/35°C). Agua de entrada al intercambiador de calor exterior (10°C), temperatura del agua en el intercambiador de calor interior (40/45°C). Temperatura máxima de operación 60°C en el circuito en el intercambiador de calor.

Nota: Para los modelos Logafix WRHP 30/34 y Logafix WRHP 35/39, no se proporciona el módulo hidráulico del lado de la fuente. Para realizar la gestión por ordenador es necesario instalar la tarjeta MODBUS. Para la producción de agua caliente sanitaria se requiere de un acumulador.

### Datos técnicos Logafix WRHP

Gama Básico, Confort y Top	WRHP 6/8	WRHP 7/8	WRHP 9/10	WRHP 12/13	WRHP 16/17	WRHP 19/21	WRHP 24/26	WRHP 26/29	WRHP 31/33	WRHP 36/37	WRHP 41/42
Potencia Frigorífica* ▶ kW	5,97	6,4	7,82	10,4	13,1	16,1	20	22,1	25,6	29	32,4
Potencia Absorbida ▶ kW	1,46	1,6	1,92	2,38	3,17	3,86	4,74	4,8	5,8	6,78	7,59
EER	4,09	4	4,07	4,37	4,13	4,17	4,22	4,6	4,41	4,28	4,27
ESEER	4,28	4,24	4,54	4,85	4,5	4,48	4,6	5,14	4,84	4,76	4,63
Potencia Calorífica** ▶ kW	6,58	7,17	8,9	11,6	15,7	19,1	23,6	25,3	29,5	34,7	39,3
Potencia Absorbida ▶ kW	1,69	1,85	2,39	2,96	3,8	4,55	5,7	6,26	7,06	8,18	9,14
COP	3,89	3,88	3,72	3,92	4,13	4,2	4,14	4,04	4,18	4,24	4,3
Caudal de agua (Intercambiador Exterior) ▶ L/s	0,35	0,38	0,46	0,61	0,78	0,95	1,18	1,28	1,5	1,71	1,91
Conexiones de agua	1" GAS F										
Peso en funcionamiento	81	83	86	90	98	114	129	147	162	164	169
Cantidad de circuito frigoríficos	1										
Cantidad y tipo de compresor	1, Scroll										
Nivel de presión sonora*** ▶ L/s	47	47	47	48	48	48	48	57	57	57	57
Alimentación eléctrica ▶ V/Ph/Hz	230/1/50				400/3/50						

# COLECTOR DE TUBO DE VACÍO / HEAT-PIPE

FICHA COMERCIAL

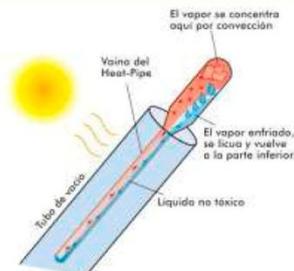


SOLAR ADVANCED TECHNOLOGY



## ¿QUÉ ES HEAT-PIPE?

El HEAT-PIPE utiliza un tubo de calor sellado que contiene un líquido no tóxico que se vaporiza al calentarse. El vapor sube hasta un cabezal donde cede calor al agua que circula a su alrededor. Al enfriarse el vapor por el paso de agua fría, éste se condensa y desciende de nuevo en forma de líquido para empezar de nuevo el mismo proceso, simulando así, el ciclo natural de la lluvia.



## CURVA DE RENDIMIENTO

Rendimiento óptico	( $\eta_{HA}$ )	0,844
Coefficiente pérdida de calor K1	( $\alpha_{1A}$ )	2,048 W/m <sup>2</sup> K
Coefficiente pérdida de calor K2	( $\alpha_{2A}$ )	0,013 W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>

$$h_A = h_{HA} - \alpha_{1A} \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right) - \alpha_{2A} G \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right)^2$$



Entrada para el sensor de temperatura



## HEAT-PIPE

**WOLSS SUNRAIN** presenta el colector **WS-HP** capaz de calentar agua a altas temperaturas gracias al innovador sistema **HEAT-PIPE**.

- Con un revestimiento único en el mercado, la calidad de la tecnología de **WOLSS SUNRAIN** destaca por su alta eficiencia, siendo ésta una de las más altas que se encuentran en el mercado.
- Gracias al concepto del tubo de vacío se minimizan las pérdidas de calor, siendo éstas prácticamente nulas.
- Las propiedades físicas del colector proporcionan el principio de operación de diodo térmico de manera que sólo se puede aportar calor en un sentido, del colector al agua.
- Los tubos de vacío que componen este colector son capaces de capturar la luz difusa en un día nublado, llegando a calentar el agua hasta niveles aprovechables.
- Gracias a su conexión en seco se evita la rotura e inutilización del colector ya que no circula agua por los tubos.
- Gracias a su forma estética presenta una fácil integración con la arquitectura del edificio.

- La tecnología **HEAT-PIPE** permite una inclinación desde 15° a 90°, pudiéndose proyectar la instalación para infinidad de aplicaciones, como producción de agua caliente sanitaria, calentamiento de piscinas, climatización, etc...
- Se podría decir que este colector está compuesto de una serie de pequeños calentadores individuales, (cada tubo), de tal manera que las reparaciones y sustituciones se pueden realizar de manera fácil y económica, simplemente sustituyendo el tubo defectuoso sin necesidad de detener la instalación.
- El colector **HP** permite la medición de la temperatura de salida sin necesidad de instalar elementos adicionales en el circuito del agua, ya que posee una abertura para la inserción del sensor directamente en la salida.
- Este colector posee unas cualidades excepcionales ante condiciones climatológicas adversas, resistiendo impactos de granizo de 30 mm y vientos de hasta 120 Km/h.

## CARACTERÍSTICAS TIPOLÓGICAS

### Referencia producto

Número de tubos  
Peso (kg)  
Superficie del colector (m<sup>2</sup>)  
Superficie útil (m<sup>2</sup>)  
Altura x Anchura x Profundidad (mm)  
Número máximo de colectores en serie

	WS-HP15	WS-HP20	WS-HP30
Número de tubos	15	20	30
Peso (kg)	56.7	75.6	113.4
Superficie del colector (m <sup>2</sup> )	2.69	3.45	5.10
Superficie útil (m <sup>2</sup> )	1.78	2.37	3.20
Altura x Anchura x Profundidad (mm)	2020 x 1310 x 156	2020 x 1690 x 156	2020 x 2513 x 156
Número máximo de colectores en serie	4	3	2

Modificaciones técnicas reservadas.

El colector Wolss Sunrain de tubo de vacío se suministra completamente montado, listo para ser instalado sin ningún tipo de operación adicional que el conexionado hidráulico. Así mismo, para poder garantizar la entrega del producto en óptimas condiciones éste viene empaquetado con un sistema propio de Wolss Sunrain que ha sido sometido a rigurosas pruebas de impacto y transporte.



www.wolss-sunrain.com | +34 902 88 81 82

V.P. 1.0

WS-HP 15 / 20 / 30

## ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

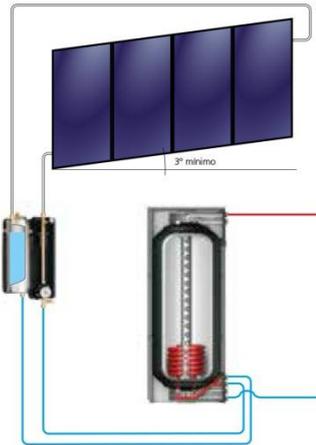


Tarifa precios 2015

Sin IVA ni transporte

Válida desde el 01.03.2015

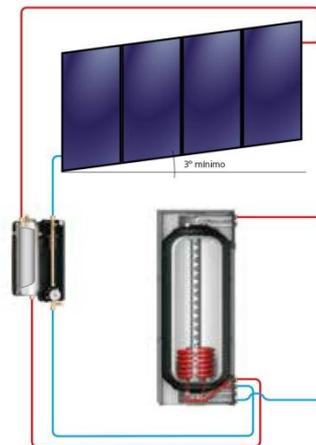
## DRAIN BACK. Accesorios para circuito solar - Grupos hidráulicos

**Instalación solar parada**

Esta situación se produce cuando no hay radiación solar (porque es de noche o hay nubes) o cuando esta radiación es excesiva. En este caso la mezcla aditivo-agua queda en la cámara de drenaje y los captadores se vacían.



Funcionamiento

**Instalación solar en funcionamiento**

Esta situación se da cuando hay radiación solar suficiente para captar la energía del sol y transmitirla al acumulador solar. En este caso la bomba impulsa la mezcla aditivo-agua hasta los captadores solares y la instalación funciona como cualquier otro equipo forzado.

Para evitar la formación de burbujas en el serpentín, el llenado de la instalación se realizará siempre con una bomba de llenado externa.

**Características técnicas**

- Grupo compacto con cámara de drenaje de aire.
- Bomba diseñada para una altura máxima de 11 m.
- Presión máxima de trabajo 3 bar.
- Temperatura máxima de trabajo 110 °C.
- Válido hasta un máximo de 15 m<sup>2</sup> de captación ó 10 m lineales de tubería Cu15.
- Capacidad 8 litros.
- Conexiones 1/2" macho - Cu15.

**Ventajas**

- No es necesario disipar los excedentes de energía ya que no se producen.
- Bajo riesgo de congelación ya que los captadores y tuberías quedan vacíos.
- No hace falta rellenar la instalación por pérdidas por sobrepresión ya que no se van a producir.
- Menor mantenimiento del aditivo caloportante.
- No son necesarios algunos elementos de seguridad como purgadores o vasos de expansión.
- Nunca se alcanzará la temperatura de estancamiento en los captadores ya que a 110 °C la instalación se parará.

**Tarifa**

Modelo	Referencia	PVP €/ud
Grupo Hidráulico Drain Back 11 m.	1135006635	749,00

## BIBLIOGRAFIA

### Libros:

Fernández Salgado, J. M<sup>a</sup> y Gallardo, V. (2004). *Energía solar térmica en la edificación*. Madrid: AMV ediciones.

Fernández Salgado, J M<sup>a</sup>. (2010). *Guía completa de la energía solar térmica y termoeléctrica*. Madrid: AMV ediciones.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2006). *Manuales de energías renovables: Energía solar térmica*

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2007). *Energía solar en España: Estado actual y perspectivas*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2004). *Instalaciones de energía solar térmica para viviendas unifamiliares*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2009). *Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2009). *Plan de Energías Renovables 2011-2020*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2009). *Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*.

Junta de Castilla y León. Consejería de industria, comercio y turismo. (2002). *Energía solar térmica: manual del arquitecto*.

Junta de Castilla y León. Consejería de industria, comercio y turismo. (2002). *Energía solar térmica: manual del proyectista*.

Méndez, J. M<sup>a</sup> y Cuervo, R. (2008). *Energía solar térmica*. Madrid: FC editorial

Monge, L. (2010). *Instalaciones de energía solar térmica para la obtención de ACS en viviendas*. Barcelona: Marcombo.

Rufes, P. (2010). *Energía solar térmica: Técnicas para su aprovechamiento*. Barcelona: Marcombo.

Ruiz, V.; López Lara, G. y Martínez Escribano, J.C. (2007). DTIE 8.03. *Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria*. Madrid: ATECYR.

Vicente, P. G. (2010). DTIE 8.04. *Energía solar. Casos prácticos*. Madrid: ATECYR.

### **Páginas Web:**

[Www.idae.es](http://www.idae.es)

<http://www.censolar.es/>

<http://www.konstruir.com/>

<http://www.codigotecnico.org/>

<http://www.suelosolar.es/>

<http://www.solarweb.net/>

<http://www.buderus.es/>

<http://www.junkers.es/>

<http://www.roth-spain.com/>

<http://www.urcomante.uva.es/>