



# GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

## INSTALACIÓN DE PLACAS SOLARES PARA AHORRO DE AGUA CALIENTE SANITARIA, SUELO RADIANTE Y PISCINA EN UNA RESIDENCIA

Autor: Alberto Calvo Hernández

Director: Luis Javier Mata García

Madrid

Julio de 2020

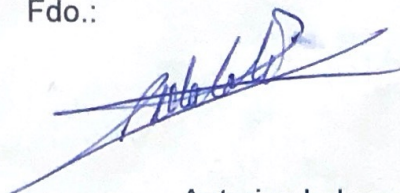


Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
...Instalación de placas solares para ahorro de agua caliente...  
...sanitaria, suelo radiante y piscina en una residencia...  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2019/2020... es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Alberto Calvo Hernández

Fdo.:

Fecha: 20 / 07 / 2020



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.:

Fecha: ..... / ..... / .....





**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

INSTALACIÓN DE PLACAS SOLARES PARA  
AHORRO DE ACS, SUELO RADIANTE Y PISCINA  
EN UNA RESIDENCIA

Autor: Alberto Calvo Hernández

Director: Luis Javier Mata García

Madrid

Julio de 2020



# **INSTALACIÓN DE PLACAS SOLARES PARA AHORRO DE ACS, SUELO RADIANTE Y PISCINA EN UNA RESIDENCIA**

**Autor: Calvo Hernández, Alberto.**

Director: García Mata, Luis Javier.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

El proyecto consiste en el diseño de una instalación de placas solares para ahorro de Agua Caliente Sanitaria, aporte a suelo radiante y aporte para atemperar el agua del vaso de la piscina de una residencia. El objetivo es crear un sistema más sostenible que un sistema convencional de gas natural, y que además resulte más económico a largo plazo.

**Palabras clave:** ACS, colector, solar, suelo radiante, piscina climatizada, energía solar térmica

### **1. Introducción y motivación**

Vivimos en una sociedad en la que el avance de la técnica nos ha permitido vivir en un entorno que satisface plenamente nuestras necesidades. Poco a poco nos hemos rodeado de elementos, hasta hace unos años inexistentes, pero hoy en día básicos para nuestra comodidad diaria, como el Agua Caliente Sanitaria (ACS). Por otro lado, nos encontramos con que todo este proceso de desarrollo tecnológico ha llevado a un gran aumento del consumo de energía, lo cual está generando un gran impacto en el medio ambiente, algo de lo que la sociedad se está concienciando.

Este proyecto nace como respuesta a esta situación. Busca adaptar un sistema convencional ya existente para ACS y climatización, haciéndolo más eficiente y sostenible. Este sistema, muy extendido actualmente necesita de una gran cantidad de recursos energéticos, entre el 20% y 40% del gasto energético total de una residencia, lo que a su vez conlleva en importantes emisiones de gases contaminantes ligados a la producción de dicha energía.

Para dar respuesta a ello se pretende diseñar un sistema que utilice la energía solar, aprovechando la energía térmica para el calentamiento del fluido, que será utilizado en aplicaciones de ACS, calefacción y en los meses en los que la calefacción no sea utilizada, el excedente será utilizado para la aclimatación de una piscina, todo ello en una residencia.

### **2. Objetivos del proyecto**

El proyecto persigue diversas metas, siendo las más importantes:

- 1) Complementar el sistema actual, un sistema de calentamiento que utiliza gas natural, con un sistema sostenible, basado en la energía térmica solar, de forma que el gas natural solo se utilizaría para el sistema de apoyo.

- 2) La sostenibilidad medioambiental. Se pretende reducir en lo posible la utilización de combustibles fósiles, para reducir todo lo posible las emisiones de gases contaminantes y contribuir de esta forma a frenar el cambio climático. Este objetivo está estrechamente ligado al Objetivo de Desarrollo Sostenible 13 de la ONU.
- 3) La reducción de costes. Se realizará un estudio de viabilidad económica para demostrar que esta inversión es rentable a largo plazo, ya que en comparación con los sistemas tradicionales en los que se requiere un gasto continuo, el nuevo sistema supondrá una importante inversión inicial y a partir de ese momento solo gastos de mantenimiento, por lo que el objetivo es que a largo plazo sea posible de rentabilizar dicha inversión.

### 3. Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se ha trabajado en cadena, dividiendo el proyecto en diferentes etapas. En primer lugar, se han analizado los diferentes sistemas existentes, así como los diferentes componentes de una instalación solar térmica. En segundo lugar se ha realizado un estudio de la demanda energética, considerando el emplazamiento de la residencia y las exigencias de cobertura mínima que impone el IDAE. Esto es el 60% de la demanda energética de ACS y piscina climatizada, mientras que no existe ninguna imposición para el sistema de climatización mediante suelo radiante, pero se ha escogido cubrir alrededor del 30% de la demanda para garantizar la viabilidad económica.

La siguiente etapa corresponde a los cálculos de la instalación solar, realizados mediante la herramienta de cálculo f-Chart adaptada a una hoja Excel. Esta herramienta permite dimensionar de manera sencilla el número de colectores necesario a partir de los valores mensuales de demanda energética (carga calorífica), teniendo en cuenta el rendimiento de los colectores y otra serie de factores de corrección y los ahorros mínimos, como se ve en la Figura 1. Una vez completado el dimensionado de la zona de captación, se procederá a elegir el resto de los elementos de la instalación realizando los cálculos necesarios.

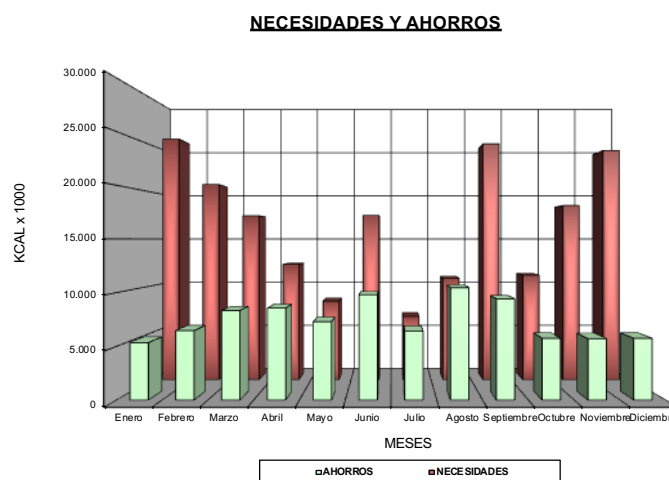


Figura 1 - Gráfico de las necesidades y ahorros del sistema en su conjunto

Por último se ha realizado un estudio de viabilidad económica y un estudio del impacto ambiental, para poder asegurar que el proyecto cumple con los objetivos establecidos.

#### 4. Descripción del sistema

Los resultados del dimensionado indican que es necesario instalar 48 colectores solares, sumando una superficie total de captación de  $113,76 \text{ m}^2$  y que permiten un ahorro energético de cerca del 45%. Los colectores se dispondrán en paralelo, formando baterías de 6 en la cubierta de la residencia, con una orientación y distancia suficiente entre ellos para evitar las sombras. Los colectores requieren un sistema de acumulación de 8.000L, que incluirá en su interior un intercambiador de calor. Dado el gran volumen, se instalarán dos depósitos interacumulador con serpentín de 4.000L en serie, en la sala de calderas que se encuentra en la planta baja del edificio. El circuito primario, formado por tuberías de cobre con aislamiento, será el encargado de conectar los colectores que se encuentran en la cubierta del edificio con los depósitos. Por este circuito circulará un fluido caloportador, formado por una mezcla de 30% de anticongelante y 70% de agua, para evitar su congelación en invierno. El circuito contará con dos bombas de circulación en paralelo para ayudar a vencer a las pérdidas de carga y se completará con otros elementos como desaireadores y purgadores, vaso de expansión, sistema de control y diversa valvulería.

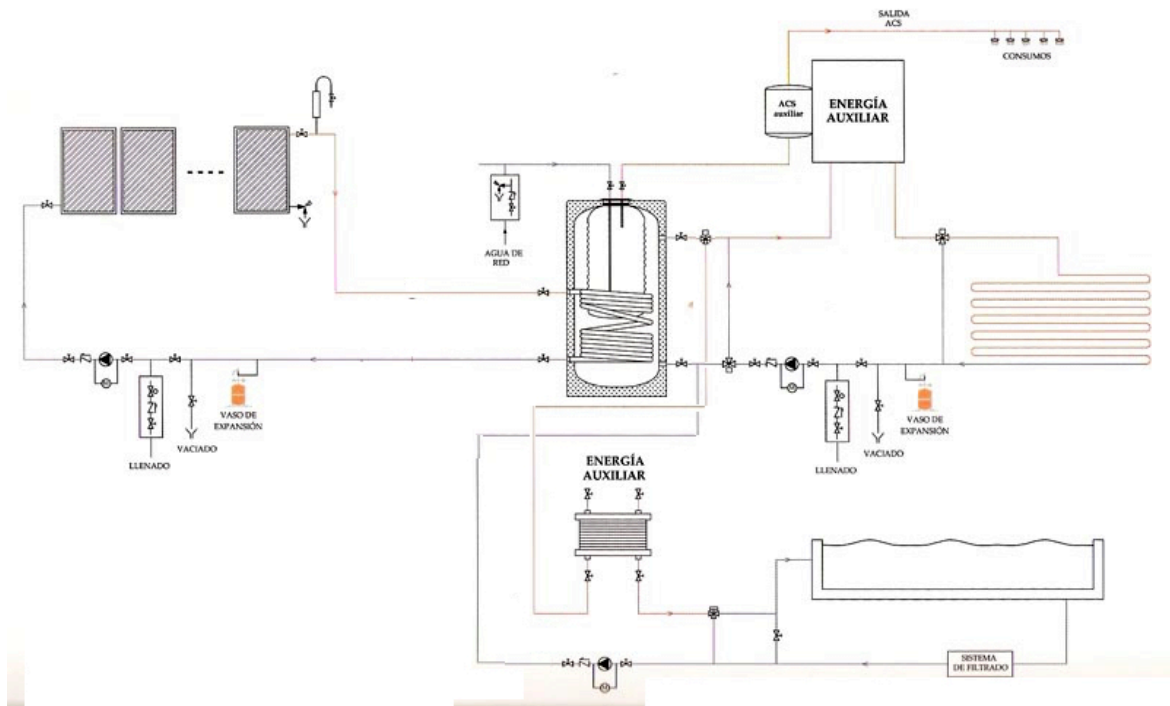


Figura 2 - Esquema del sistema

Por último, como se muestra en la Figura 2, a la salida del depósito interacumulador (el proyecto utilizará dos a diferencia del esquema), se producirá la conexión con el circuito convencional.

## 5. Resultados y Conclusiones

Podemos concluir que los resultados del proyecto son satisfactorios, por diversos motivos. En primer lugar, se ha propuesto una solución técnica fundamentada en cálculos, que permite la instalación de un nuevo sistema energético basado en energías renovables, como es la energía solar. Este sistema ha sido perfectamente adaptado a la estructura del edificio ya existente y se ha diseñado acorde a la normativa existente permitiendo un ahorro energético de más del 40%, y más del 60% si solo consideramos el ACS y piscina como establece el IDAE en el HE4.

Por otro lado, se ha demostrado que el proyecto es viable económicamente, un punto fundamental para que pueda llevarse a cabo. A diferencia del sistema actual, se requiere una gran inversión inicial para poner en marcha la instalación, pero luego los gastos anuales de mantenimiento son muy inferiores al desembolso que se debe hacer en la actualidad para asegurar el suministro de gas natural. El estudio de viabilidad económica ha demostrado como en 11 años la inversión inicial será amortizada, y a partir de dicho momento el ahorro anual respecto al gas natural será de más de 4.000€, como se puede comprobar en la Tabla 1.

AÑO	2020 [0]	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035 [15]
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
INV	52.432 €	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
FC (año N)	0 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €
VAN	/	-47.770 €	-43.108 €	-38.447 €	-33.785 €	-29.123 €	-24.462 €	-19.800 €	-15.138 €	-10.477 €	-5.815 €	-1.153 €	3.509 €	8.170 €	12.832 €	17.494 €
TIR	/	-91%	-65%	-45%	-32%	-22%	-15%	-11%	-7%	-4%	-2%	0%	1%	2%	3%	4%

Tabla 1 - Estudio de la viabilidad económica en los primeros 15 años de uso

Por último y no menos importante es la reducción de emisiones de gases contaminantes, otro de los objetivos fundamentales del proyecto, acorde al ODS número 13. El estudio de impacto ambiental ha demostrado como la combinación del sistema tradicional de gas natural con la instalación que usa la energía solar térmica permite una reducción de 18.880,44 kg CO<sub>2</sub> cada año de funcionamiento como se puede observar en la Figura 3.

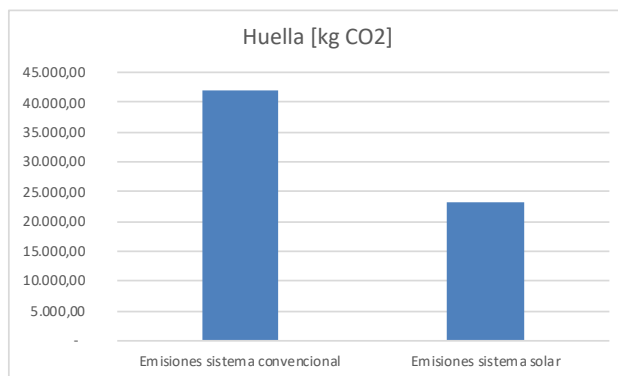


Figura 3 - Comparación de las emisiones de una instalación convencional y una instalación solar

# **SOLAR PANEL INSTALLATION FOR SANITARY HOT WATER, FLOOR HEATING AND SWIMMING POOL HEATING IN AN ELDERLY RESIDENCE HOME**

**Author: Calvo Hernández, Alberto.**

Supervisor: García Mata, Luis Javier.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

The project consists of the design of a solar panel installation for sanitary hot water, to contribute to underfloor heating and to contribute to the tempering of the water in the swimming pool of an elderly residence home. The objective is to create a more sustainable system than a conventional one based on natural gas. Besides, the system reduces significantly the annual energy cost and has an 11-year payback of the initial investment.

**Keywords:** SHW, collector, solar, thermal solar energy, underfloor heating, heated pool

## **1. Introduction and motivation**

We live in a society in which the advance of technology has allowed us to live in an environment that fully satisfies our needs. Little by little we have surrounded ourselves with elements that were non-existent few years ago, but which today are basic to our daily comfort, such as Sanitary Hot Water (SHW). On the other hand, we find that all the technological development has led to an increase in energy consumption, which is generating a great impact on the environment, something our society is becoming aware.

This project was born as a response to this situation. It seeks to adapt an existing conventional system for SHW and air heating, making it more efficient and sustainable. This type of system, which is currently very widespread, requires a large amount of energy resources, between 20% and 40% of the total energy expenditure of an elderly residence, which in turn leads to significant emissions of pollutant gases linked to the production of this energy.

In order to respond to this, the aim is to design a system that uses solar energy, taking advantage of the thermal energy for the heating of the fluid, which will be used in the SHW and heating applications and in the months when the heating is not needed, the surplus will be used for warming a swimming pool, all in a residence.

## **2. Objectives of the project**

The project pursues several goals, the most important of which are

- 1) Complement the current system, a heating system based on natural gas, with a sustainable system that uses solar thermal energy, decreasing natural gas consumption that will only be used to support system.
- 2) Environmental sustainability. The aim is to reduce as much as possible the use of fossil fuels, in order to reduce as much as possible, the emissions of polluting gases and thus contribute to slowing down climate change. This objective is closely linked to UN Sustainable Development Goal 13.

- 3) The reduction of costs. An economic feasibility study will be carried out to demonstrate that this investment is profitable in the long term, as compared to traditional systems where continuous expenditure is required, the new system will involve a significant initial investment and thereafter only maintenance costs, so the aim is that in the long term it should be possible to make a return on this investment.

### 3. Methodology

For the development of this project we have worked in a chain, dividing the project in different stages. Firstly, the different existing systems have been analyzed, as well as the different components of a solar thermal installation. Secondly, a study of the energy demand was carried out, considering the location of the residence and the minimum coverage requirements imposed by the IDAE. This is 60% of the energy demand for SHW and heated swimming pools, while there is no requirement for an underfloor heating system, but it has been chosen to cover around 30% of the demand to ensure economic viability.

The next step corresponds to the calculations of the solar installation, carried out using the f-Chart calculation tool adapted to an Excel sheet. This tool allows the number of collectors required to be easily sized from the monthly energy demand values (heat load), taking into account the performance of the collectors and another series of correction factors and minimum savings. Once the sizing of the collection area has been completed, the rest of the elements of the installation will be chosen by carrying out the necessary calculations.

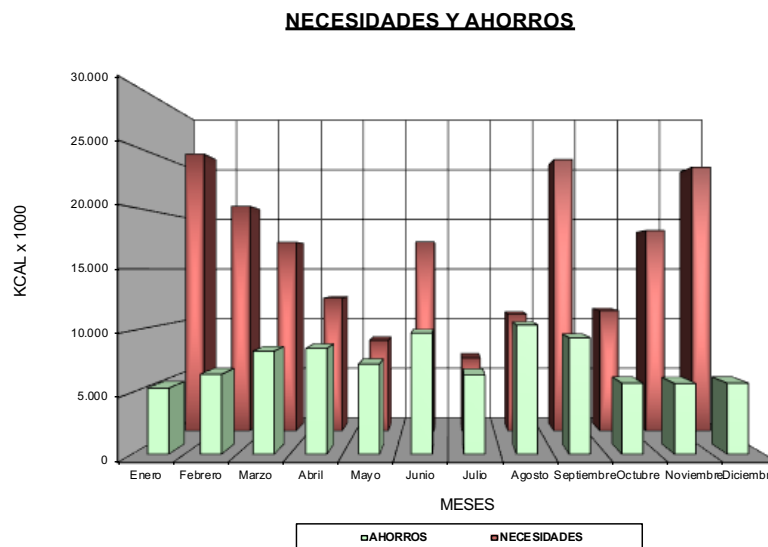


Figura 4 - Gráfico de las necesidades y ahorros del sistema en su conjunto

Finally, an economic feasibility study and an environmental impact study have been carried out to ensure that the project meets the established objectives.

#### 4. System description

The results of the sizing indicate that 48 solar collectors need to be installed, adding up to a total collection area of 113.76 m<sup>2</sup> and that allow for energy savings of about 45%. The collectors will be arranged in parallel, forming batteries of 6 on the roof of the residence, with sufficient orientation and distance between them to avoid shadows. The collectors require an 8,000L accumulation system, which will include a heat exchanger inside. Given the large volume, two 4,000L coil inter-accumulator tanks will be installed in series, in the boiler room on the ground floor of the building. The primary circuit, made up of insulated copper pipes, will be responsible for connecting the collectors on the roof of the building with the tanks. A heating fluid will circulate through this circuit, consisting of a mixture of 30% antifreeze and 70% water, to prevent freezing in winter. The circuit will have two circulation pumps in parallel to help overcome pressure losses and will be completed with other elements such as deaerators and traps, an expansion tank, a control system and various valves.

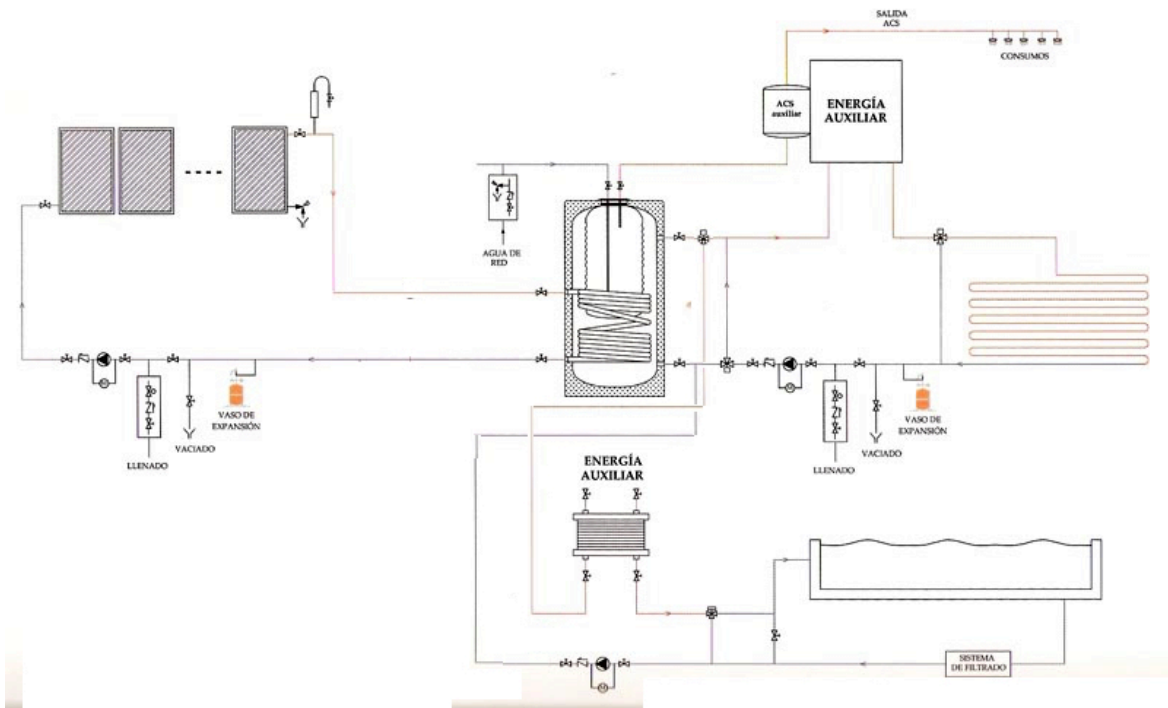


Figura 5 - Esquema del sistema

Finally, as shown in the Figure 5, at the output of the interaccumulator tank (the project will use two unlike the scheme), the connection to the conventional circuit will be made.

#### 5. Results and conclusions

We can conclude that the results of the project are satisfactory, for various reasons. Firstly, a technical solution based on calculations has been proposed, which allows the installation of a new energy system based on renewable energies, such as solar energy. This system has been perfectly adapted to the structure of the existing building and has

been designed in accordance with existing regulations allowing energy savings of over 40%, and over 60% if we only consider the ACS and pool as established by the IDAE in the HE4.

On the other hand, the project has proven to be economically viable, a fundamental point for its implementation. Unlike the current system, a large initial investment is required to start up the facility, but then the annual maintenance costs are much lower than the outlay currently required to ensure the supply of natural gas. The economic viability study has shown how in 11 years the initial investment will be amortised, and from that moment on the annual savings with respect to natural gas will be over 4,000 euros, as can be seen in the Tabla 1.

AÑO	2020 [0]	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035 [15]
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
INV	52.432 €	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
FC (año N)	0 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €
VAN	/	-47.770 €	-43.108 €	-38.447 €	-33.785 €	-29.123 €	-24.462 €	-19.800 €	-15.138 €	-10.477 €	-5.815 €	-1.153 €	3.509 €	8.170 €	12.832 €	17.494 €
TIR	/	-91%	-65%	-45%	-32%	-22%	-15%	-11%	-7%	-4%	-2%	0%	1%	2%	3%	4%

Tabla 2 - Estudio de la viabilidad económica en los primeros 15 años de uso

Last but not least is the reduction of emissions of polluting gases, another of the fundamental objectives of the project, according to ODS number 13. The environmental impact study has shown how the combination of the traditional natural gas system with the installation that uses solar thermal energy allows a reduction of 18,880.44 kg CO2 each year of operation.

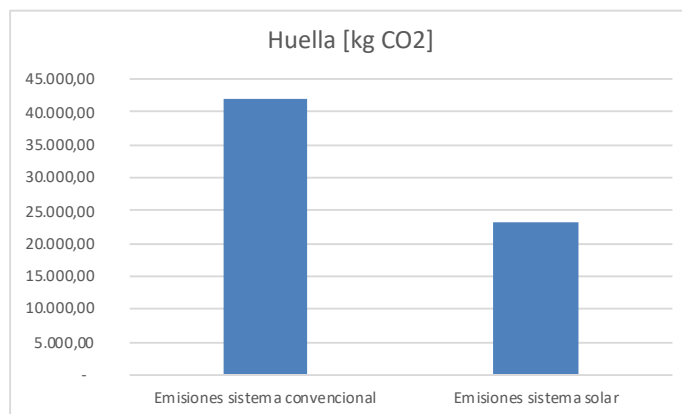


Figura 6 - Comparación de las emisiones de una instalación convencional y una instalación solar

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo 2. Objetivos del proyecto.....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo 3. Alternativas existentes y solución adoptada.....</b>	<b>11</b>
3.1 Climatización.....	11
3.1.1 Antecedentes .....	11
3.1.2 Sistemas de climatización .....	12
3.2 Sistemas de Agua Caliente Sanitaria .....	18
3.2.1 Antecedentes .....	18
3.2.2 Clasificación sistemas A.C.S. ....	19
3.2.3 Métodos de Producción de ACS .....	21
<b>Capítulo 4. Descripción del Proyecto.....</b>	<b>22</b>
4.1 Emplazamiento .....	22
4.1.1 Especificaciones climáticas .....	24
4.2 Principio de funcionamiento.....	25
4.2.1 Tecnología de la energía solar .....	28
4.3 Componentes .....	29
4.3.1 Captadores.....	29
4.3.2 Depósitos .....	32
4.3.3 Tuberías .....	35
4.3.4 Conexión con el circuito convencional.....	38
4.4 Cálculos .....	40
4.4.1 Sistema de captación .....	40
4.4.2 Cálculo de la limitación de demanda energética según el nuevo CTE .....	44
4.4.3 Cálculo de cargas térmicas .....	47
4.4.4 Cálculo de pérdida de carga en los conductos.....	48
<b>Capítulo 5. Instalación solar.....</b>	<b>52</b>
5.1 Consideraciones.....	52
5.2 Cálculos .....	53

5.2.1 Pérdidas .....	53
5.2.2 Hoja de calculo del número de colectores.....	58
5.2.3 Estructura para soporte y anclaje .....	61
5.2.4 Diseño del circuito hidráulico y características de los componentes .....	65
• FLUIDO CALOPORTADOR.....	65
• TUBERÍAS .....	67
• AISLAMIENTO .....	71
• INTERACUMULADOR .....	72
• BOMBA DE CIRCULACIÓN .....	74
• PURGADORES Y DESAIRADORES.....	78
• DEPOSITO DE EXPANSIÓN .....	79
• SUBCONJUNTO DE REGULACIÓN Y CONTROL.....	82
• CONEXIÓN CON EL SISTEMA CONVENCIONAL.....	84
• OTROS ELEMENTOS.....	85
<b>Capítulo 6. Estudio de viabilidad económica .....</b>	<b>88</b>
6.1 Inversión y Gastos .....	88
6.2 Estudio Económico.....	90
<b>Capítulo 7. Impacto Ambiental .....</b>	<b>94</b>
7.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas.....	94
7.2 Estudio de las Emisiones .....	95
<b>Capítulo 8. Conclusiones.....</b>	<b>97</b>
<b>Capítulo 9. Anexos.....</b>	<b>99</b>
9.1 Abreviaturas y siglas .....	99
9.2 Hojas de Cálculo.....	100
9.3 Planos.....	107
9.4 Especificaciones técnicas.....	112
9.5 Bibliografía .....	122

## Índice de figuras

Figura 1 - Gráfico de las necesidades y ahorros del sistema en su conjunto.....	8
Figura 2 - Esquema del sistema.....	9
Figura 3 - Comparación de las emisiones de una instalación convencional y una instalación solar .....	10
Figura 4 - Gráfico de las necesidades y ahorros del sistema en su conjunto.....	12
Figura 5 - Esquema del sistema.....	13
Figura 6 - Comparación de las emisiones de una instalación convencional y una instalación solar .....	14
Figura 7 - Esquema caldera condensación [CALD20].....	13
Figura 8 - Esquema caldera eléctrica [HEGA07].....	14
Figura 9 - Esquema de sistema de captación solar para sistema de calefacción o ACS [GENE10].....	15
Figura 10 - Esquema de los distintos componentes de un sistema de calefacción de biomasa [BIOM15].....	17
Figura 11 - Viviendas con instalación de agua corriente en EE. UU [LUTZ04] .....	19
Figura 12 - Ejemplo sistema con caldera mixta .....	21
Figura 13 - Vista aérea del emplazamiento elegido .....	22
Figura 14 - Detalle del anexo situado junto a la cubierta de la residencia .....	23
Figura 15 - Esquema circuito cerrado [IDAE06] .....	26
Figura 16 - Esquema sistema solar por termofisión. ....	27
Figura 17 - Esquema del principio de funcionamiento por efecto invernadero. ....	29
Figura 18 - Esquema colector solar plano. ....	31
Figura 19 - Colector solar de tubos vacíos. ....	32
Figura 20 - Esquema acumulador e interacumulador con las conexiones necesarias [IDAE10] .....	34
Figura 21 - Esquema conexión en serie con válvula termostática [IDAE18] .....	38
Figura 22 - Esquema conexión en serie con válvula de tres vías [IDAE18].....	39
Figura 23 - Esquema de conexionado en paralelo con válvula de tres vías [IDAE18].....	40

Figura 24 - Curvas de f para sistemas de líquidos.....	44
Figura 25 - Colector solar SOL 250 de Baxi.....	52
Figura 26 - Angulo de inclinación $\beta$ .....	54
Figura 27 - Angulo azimut.....	54
Figura 28 - Pérdidas según el ángulo de azimut y la inclinación [IDAE09].....	55
Figura 29 - Ejemplo de las magnitudes d y h [IDAE09].....	57
Figura 30 – Gráfico de las necesidades y ahorros del sistema en su conjunto.....	60
Figura 31 - Ejemplo de batería de 3 captadores en paralelo [BAXI20].....	61
Figura 32 - Modelo 3D de la disposición de los captadores en la cubierta.....	62
Figura 33 - Soporte para dos colectores planos en cubierta plana [BAXI20].....	63
Figura 34 - Valor básico de la velocidad del viento [SEAE09].....	64
Figura 35 - Variación del rendimiento de la instalación con el caudal del circuito primario [IDAE18].....	66
Figura 36 - Disposición del circuito primario en la cubierta del edificio.....	68
Figura 37 - Conexionado de dos interacumuladores en serie invertida [IDAE18].....	73
Figure 38 - Acumulador solar MVV - 4000 -SB.....	74
Figura 39 - Pérdidas de carga en un colector solar Sol 250 [BAXI20].....	75
Figura 40 - Bomba de circulación MAGNA1 25-120.....	78
Figura 41 - Vaso de expansión 35 SMR-P.....	82
Figura 42 - Sistema de control CS 200.....	84
Figura 43 - Esquema de conexión con el circuito convencional.....	85
Figura 44 - Evolución del precio del gas y la electricidad en la Unión Europea [EURO19].....	92
Figura 45 - Esquema de los elementos que componen los tres tipos de Alcances [CARB15].....	95
Figura 46 - Comparación de las emisiones de una instalación convencional y una instalación solar.....	96

## *Índice de tablas*

Tabla 1 - Estudio de la viabilidad económica en los primeros 15 años de uso .....	10
Tabla 1 - Estudio de la viabilidad económica en los primeros 15 años de uso .....	14
Tabla 2 - Datos geográficos y climatológicos del emplazamiento .....	24
Tabla 3 - Datos relativos a la temperatura ambiente, del agua y radiación incidente .....	24
Tabla 4 - Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios [RITE13] .....	37
Tabla 5 - Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios [RITE13].....	38
Tabla 6 - Demanda orientativa de ACS para usos distintos al residencial privado [DBHE19] .....	45
Tabla 7 - Longitud de tubería equivalente para pérdidas de carga singulares [CODI20] ...	51
Tabla 8 - Límites de pérdidas permitidas [IDAE09] .....	53
Tabla 9 - Rangos de validez del f-chart para distintos parámetros [IDAE18] .....	58
Tabla 10 - Cálculo de porcentaje de ahorro ACS gracias a la energía solar .....	59
Tabla 11 - Cálculo de porcentaje de ahorro suelo radiante gracias a la energía solar.....	59
Tabla 12 - Cálculo de porcentaje de ahorro piscina climatizada gracias a la energía solar	59
Tabla 13 - Cálculo de porcentaje de ahorro conjunto de ACS y piscina climatizada gracias a la energía solar.....	60
Tabla 14 - Sobrecarga de nieve en las capitales de provincia [SEAE09].....	64
Tabla 15 - Cálculo de los distintos tramos de tuberías del circuito primario en la cubierta del edificio .....	70
Tabla 16 - Cálculo de los distintos tramos de tuberías en el lateral del edificio .....	70
Tabla 17 - Accesorios circuito primario .....	71
Tabla 18 - Pérdida de carga en puntos singulares del circuito primario.....	77
Tabla 19 - Cálculo del volumen de fluido en los distintos tramos de tubería .....	80
Tabla 20 - Factor de corrección para el coeficiente de expansión [UNE].....	81
Tabla 21 - Presión máxima soportada por los distintos componentes.....	86
Tabla 22 - Coste de los diferentes componentes de la instalación solar.....	89

Tabla 23 - Ahorro económico mensual y anual.....	91
Tabla 24 - Cálculo del VAN y TIR a partir de la inversión inicial y flujo de caja.....	92

## **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**

Vivimos en una sociedad en la que el avance de la técnica nos ha permitido vivir en un entorno que satisface plenamente nuestras necesidades. Poco a poco nos hemos rodeado de elementos, hasta hace unos años inexistentes, pero hoy en día básicos para nuestra comodidad diaria, como el Agua Caliente Sanitaria (ACS). Si miramos a nuestro alrededor podemos ver las múltiples aplicaciones, destacando el uso sanitario, como en los baños, así como en todo tipo de electrodomésticos que usamos en nuestro día a día, como el lavavajillas y la lavadora, sin olvidar los sistemas de calefacción. Estamos por lo tanto ante un tema de gran interés para la sociedad y por lo tanto un campo de estudio de gran importancia para la ingeniería.

Por otro lado, nos encontramos con que todo este desarrollo tecnológico ha llevado a un gran aumento del consumo de energía, lo cual genera un gran impacto en el medio ambiente. Ante eso, la sociedad se está concienciando y hemos entrado en una etapa en la que lo único importante ya no es solamente el desarrollo de la técnica, sino que este desarrollo sea sostenible, de manera que podamos preservar el planeta para las generaciones venideras.

Este proyecto nace como respuesta a esta situación. Busca adaptar un sistema convencional ya existente para ACS y climatización, haciéndolo más eficiente y sostenible. Este sistema, muy extendido actualmente necesita de una gran cantidad de recursos energéticos, entre el 20% y 40% del gasto energético total de una residencia, lo que a su vez conlleva en importantes emisiones de gases contaminantes ligados a la producción de dicha energía. Cabe destacar que el uso de las energías renovables esta cada vez más extendido, incluso llegando al ámbito doméstico, aunque todavía nos encontramos como barreras de diversos tipos: económicas, técnicas y normativas

Para dar respuesta a ellos se pretende diseñar un sistema que utilice la energía solar, aprovechando la energía térmica para el calentamiento del fluido, que será utilizado en

aplicaciones de ACS, calefacción y en los meses en los que la calefacción no sea utilizada, el excedente será utilizado para la aclimatación de una piscina, todo ello en una residencia.

## **Capítulo 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

El objetivo del proyecto es el diseño y desarrollo de una instalación de placas solares para ahorro de Agua Caliente Sanitaria, aporte a suelo radiante y el exceso, en aquellos momentos en los que no se utilice el sistema de calefacción o la demanda de este sea menor, aporte para atemperar el agua del vaso de la piscina de una residencia.

Para realizar este estudio, se ha elegido ubicación un a residencia situada en la provincia de Madrid, con una capacidad par 84 personas. Este emplazamiento será tomado como referencia para los distintos datos climatológicos necesarios en diversas etapas del proyecto.

En el proyecto nos encontramos con diversas metas. En primer lugar, el objetivo de complementar el sistema actual, un sistema de calentamiento que utiliza gas natural, con un sistema sostenible, que use la energía térmica solar, dejando de lado la importancia del gas natural que solo se utilizará para el sistema de apoyo. Para ello se realizará un estudio de la demanda de la residencia, al mismo tiempo que se analizarán los niveles de energía solar teniendo en cuenta la época del año, así como la hora del día, para finalmente proceder al dimensionado de los distintos elementos del sistema de captación solar, así como los parámetros de la instalación como puede ser la inclinación, todo ello para reducir las pérdidas. A partir del sistema de captación solar se buscará diseñar un solo circuito primario, con la suma de paneles, ACS y suelo radiante, con una válvula tres vías apoyo a las distintas instalaciones. En todo momento se ha de conocer y tener en cuenta a la hora del diseño tanto el CTE (Código Técnico de Edificación) como los pliegos de condiciones técnicas del IDAE, que nos exigen unas condiciones de coberturas mínimas de la instalación y el RITE (Reglamento de instalaciones térmicas en edificios).

En segundo lugar, se busca la sostenibilidad medioambiental. Este objetivo esta directamente ligado con el Objetivo de Desarrollo Sostenibles (ODS) número 13 (tomar urgentemente acciones para combatir el impacto del cambio climático), en particular con el objetivo 13.2 que aboga por aumentar la capacidad humana e institucional de lucha contra el cambio

climático. Por ello se pretende reducir en la medida de lo posible el uso del sistema energético clásico que utiliza combustibles fósiles, si no es de manera directa de manera indirecta, para reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Por ello, el objetivo es que el nuevo sistema reduzca al mínimo las emisiones y contribuir de esta manera al movimiento de cambio que se está produciendo en la sociedad, demostrando que las energías son cada vez más accesibles y que las podemos incorporar en nuestra vida cotidiana.

En último lugar, se busca una reducción de costes. Para ello se realizará un estudio de viabilidad económica para demostrar que esta inversión será rentable a largo plazo, ya que en comparación con los sistemas tradicionales en los que se requiere un gasto continuo, el nuevo sistema supondrá una importante inversión inicial y a partir de ese momento solo gastos de mantenimiento, por lo que el objetivo es que a largo plazo sea posible de rentabilizar la inversión.

## **Capítulo 3. ALTERNATIVAS EXISTENTES Y SOLUCIÓN ADOPTADA**

### **3.1 CLIMATIZACIÓN**

#### **3.1.1 ANTECEDENTES**

Se conoce como climatización al hecho de “crear unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad y la calidad del aire interior dentro de los espacios habitados”. [MARR17]

Desde los inicios el ser humano ha buscado métodos para paliar el frío ya que somos de los pocos seres vivos que no tenemos un mecanismo natural de protección. El primer antecedente lo encontramos en el fuego, que ha sido la base de los sistemas de calefacción durante miles de años, gracias al calor desprendido mediante la combustión. Las distintas civilizaciones fueron introduciendo mejoras, hasta llegar a las estufas de leña, los primeros sistemas de calefacción cerrados en viviendas. Estos fueron los primeros sistemas que permitieron tener un sistema de calefacción interior, sin el riesgo de sufrir quemaduras y que al mismo tiempo incorporaban un sistema de evacuación de humos. El siguiente paso llega con la Revolución Industrial y el desarrollo de la máquina de vapor a finales del siglo XVIII. Así surgen los primeros sistemas de calefacción central, en los que una caldera calienta un fluido que era distribuido a las estancias a calentar, lo que permitía aislar la caldera una sala preparada para ello, separada de las viviendas, y desde ella abastecer a edificios enteros. El siguiente paso fue la sustitución del vapor por el agua, el elemento más extendido en la actualidad. El combustible utilizado también ha evolucionado, desde el carbón o la madera, hasta la electricidad, gas natural o la energía térmica solar, cada vez más extendida. En la actualidad fruto del creciente sentimiento de sostenibilidad, están surgiendo nuevos sistemas mucho más avanzados, que buscan mayor confort para las personas, al mismo tiempo que se

minimizan las emisiones y gasto energético, aprovechando las energías renovables. El mejor ejemplo son los sistemas de climatización radiantes, que se están popularizando en las últimas décadas.

### **3.1.2 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN**

Existen diversas maneras de categorizar los sistemas de climatización, por ejemplo, si lo hacemos por el tipo de instalación, diferenciamos los sistemas de climatización unitaria, en los que el mismo dispositivo produce y emite la energía, como puede ser una chimenea, una estufa, un climatizador o un radiador eléctrico individual. Por otro lado, distinguimos los sistemas de climatización centralizada en los que un aparato produce energía y a continuación esta es distribuida a través de un sistema de distribución mediante un fluido caloportador hasta las distintas estancias o locales que se desean climatizar a través de un aparato emisor como puede ser un radiador.

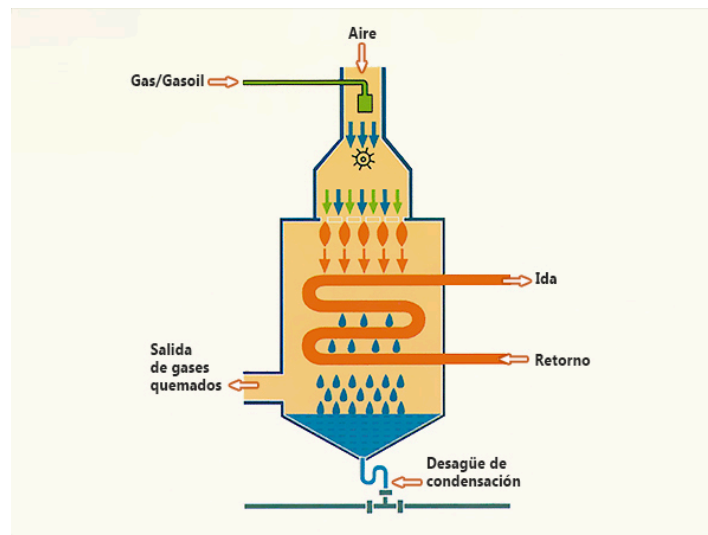
Por otro lado, podemos realizar una clasificación según la fuente de energía utilizada, ya que esta va a determinar el principio de funcionamiento del sistema. Tradicionalmente se ha recurrido al uso de combustibles fósiles como puede ser el carbón, el gas natural o el gasóleo, pero cada vez está más extendido el uso de energías renovables como puede ser la energía térmica solar o la biomasa.

#### **Calderas de Gas**

Podemos distinguir tres tipos: natural, butano, propano o GLP. En la actualidad, el uso de gas natural es lo más común. Este recurso natural es una fuente de energía fósil que encontramos en yacimientos en el subsuelo, y cuya energía es liberada mediante la combustión. Su obtención es menos compleja que la de otros combustibles, y a pesar de que cuenta con menos emisiones de CO<sub>2</sub> en su combustión que el resto de los combustibles fósiles, sigue siendo un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global.

Si nos fijamos en la tecnología usada, destacan las calderas de condensación, actualmente muy extendidas y que han ido sustituyendo en los últimos años a las tradicionales, ya que el rendimiento es mucho más alto. El funcionamiento de este tipo de calderas está basado en el

aprovechamiento del calor latente de condensación que surge con los gases de la combustión. Para ello, se refrigeran los gases de escape que se producen durante la combustión para conseguir la condensación de gran parte del vapor de agua que contienen y de esta manera conseguir aprovechar el calor latente. En consecuencia, se consigue reducir en gran medida la temperatura de los gases de escape, de los 120°C que se pueden alcanzar normalmente a valores entorno a los 45°C. Esto tiene dos beneficios, por un lado, la recuperación de energía que lleva a una reducción del consumo de entorno al 25%, al mismo tiempo que se reducen las emisiones de gases contaminantes.



*Figura 7 - Esquema caldera condensación [CALD20]*

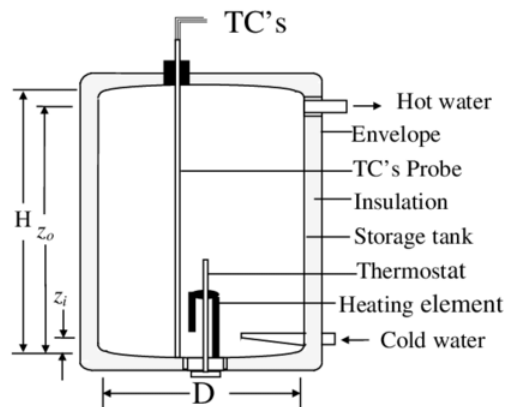
Como energía, el gas natural es el más barato en comparación con otros tipos de gas, pero presenta algunos inconvenientes como que no es accesible en todas las zonas (por ejemplo, casas aisladas en zonas rurales) o que requieren un mantenimiento exhaustivo y periódico llevado a cabo por personal autorizado.

### **Calderas Eléctricas**

El funcionamiento de estas calderas se basa en la transformación de energía eléctrica en energía térmica. En las unidades de menor capacidad y que funcionan a tensiones bajas, se usan resistencias eléctricas, que podemos apreciar en color negro en la parte inferior de la

Figura 8, las cuales están sumergidas en el agua y generan calor cuando la electricidad circula a través de ellas, generándose vapor. Por otro lado, existen calderas destinadas a funcionar con grandes tensiones, y con una capacidad mucho mayor, las cuales están divididas en compartimentos con un electrodo. El vapor se genera gracias a la corriente eléctrica generada entre las paredes del neutro y el electrodo. [ANTH14]

Para regular el funcionamiento de las calderas eléctricas, destaca la función del termostato, que cuenta con un sensibilizador cuya función es conseguir que la temperatura sea regular sin que se produzcan saltos y por otro lado el sistema como tal que mediante una sonda nos permite regular la temperatura.



*Figura 8 - Esquema caldera eléctrica [HEGA07]*

Estos sistemas destacan por ser los más simples de instalar ya que solo se necesita tener suministro eléctrico, al mismo tiempo que su mantenimiento es mucho menor ya que no se necesitan practicar revisiones periódicas. Sin embargo, su consumo energético es mucho mayor por lo que su uso se limita a casos en los que sea complicado instalar un sistema centralizado, como cuando se desea instalar la caldera en espacios pequeños como puede ser el aseo.

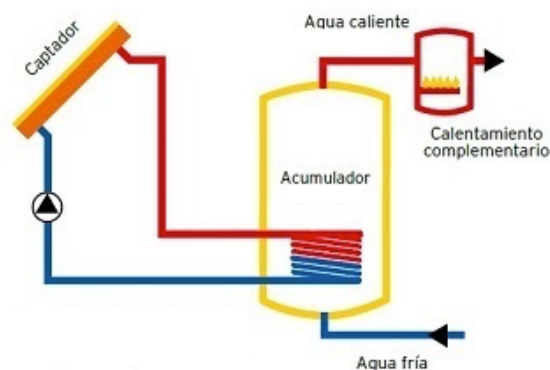
### **Caldera de Gasóleo**

El principio de funcionamiento es el mismo que el de las calderas de condensación anteriormente mencionadas, con la única diferencia de que se usa el gasóleo como combustible en vez de gas natural.

Las calderas de gasóleo son más económicas que las de gas, además de tener un mantenimiento mucho más sencillo, pero requieren la instalación de un depósito externo para almacenar el combustible. Su uso es común en casas de gran tamaño o naves, ya que su mayor potencia permite calentar en un menor tiempo. También es muy frecuente su utilización en viviendas aisladas como puede ser en zonas rurales u otros tipos de viviendas que no dispongan acceso a la red de gas natural. Como contrapartida, debido al alto gasto energético el coste es mayor además de ser más contaminantes.

### **Energía solar**

Este sistema se basa en recuperar la energía procedente del sol, para lo cual se utilizan colectores solares cuya función es absorber la radiación solar que va a ser transmitida a un fluido caloportador o un volumen de aire que circula a través de ellas. Este líquido, que va a aumentar de temperatura, circula hasta un acumulador donde se produce un intercambio energético. El fluido caloportador proveniente de las placas solares circula por un serpentín que está en contacto directo, pero sin mezclarse con el agua almacenada, que posteriormente será utilizado para el sistema de calefacción, grifos o duchas. Todo sistema de energía solar cuenta con un sistema auxiliar (caldera de gasóleo, gas...) como se muestra en la Figura 9, que se pondrá en marcha cuando no se alcance la temperatura adecuada dado que este tipo de sistemas no suele estar diseñado para cubrir el 100% de la demanda, ya que dependiendo del periodo del año la demanda energética así como la energía proporcionada por el sol son variables.



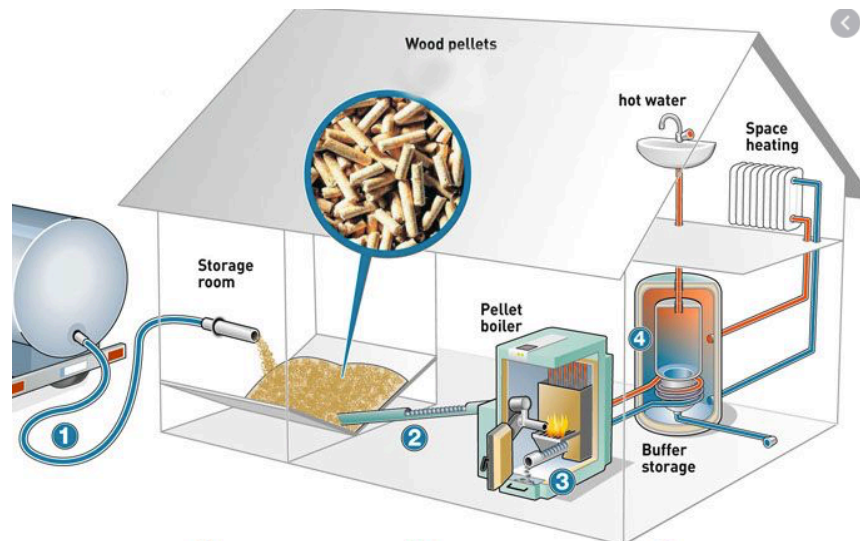
*Figura 9 - Esquema de sistema de captación solar para sistema de calefacción o ACS [GENE10]*

Estos sistemas presentan diversas ventajas, son eficientes y económicamente rentables a pesar de que la inversión inicial es importante. Hay que destacar la idoneidad de los sistemas de calefacción radiante, que será la solución retenida en este proyecto. Es la solución más adaptada porque trabaja a una temperatura de aproximada de 40°C, mientras que los radiadores tradicionales lo hacen a más de 70°C, suponiendo esta diferencia de temperatura un ahorro energético muy importante.

### **Caldera de biomasa**

Este tipo de calderas utilizan como fuente de energía combustibles de origen natural. Podemos distinguir distintos tipos de combustibles siendo el más extendido los pellets, un combustible conformado con virutas de madera o serrín prensado, que es el más utilizado en instalaciones de bajo consumo debido a su alta eficiencia energética, también se usa como combustible la leña, huesos de aceitunas, astillas procedentes de residuos forestales, etc.

El funcionamiento de este tipo de calderas es bastante similar al resto, contando con una cámara de combustión, en la cual se genera energía térmica al ser alimentada con el biocombustible y aire, y un intercambiador, donde se transfiere la energía térmica generada es transmitida al agua que circulara por la instalación ACS. Este tipo de instalaciones ocupan mucho espacio, como podemos ver en la Figura 10 ya que cuentan, además de con la cámara de combustión y el intercambiador, con un almacén donde se guarda el combustible a utilizar y un sistema de alimentación mecánico que se encarga de conducir el combustible del almacén a la cámara de combustión.



*Figura 10 - Esquema de los distintos componentes de un sistema de calefacción de biomasa [BIOM15]*

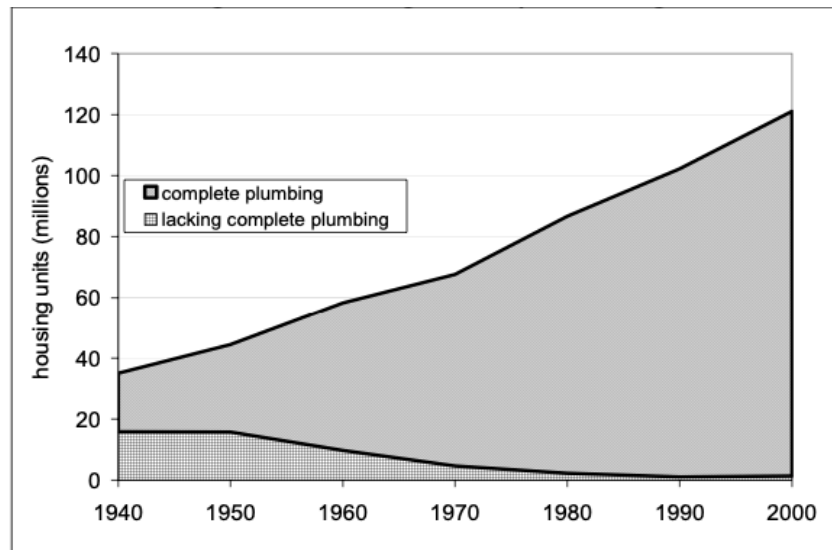
La particularidad de este tipo de calderas, utilizadas generalmente en medios rurales, es que utilizan frecuentemente combustibles adaptados a su zona geográfica. Por ejemplo, en zonas donde los propietarios poseen fincas, se usará leña que ellos mismos pueden obtener, en aquellas zonas donde la tala de árboles sea una actividad económica importante, el uso de astillas es ideal o en zonas del sur de España donde la industria del aceite es muy importante, el uso de huesos de aceitunas como combustibles será lo ideal. Esto ayuda a favorecer la industria local además de evitar la contaminación debido al transporte de combustible, además de ser generalmente más baratos que combustibles como el gasoil. Como contrapartida, el rendimiento es menor al de los combustibles fósiles, se requieren importantes espacios para el almacenaje además de que el coste de la instalación suele ser importante, aunque a largo plazo suelen ser rentables.

## **3.2 SISTEMAS DE AGUA CALIENTE SANITARIA**

### **3.2.1 ANTECEDENTES**

Conocemos como agua caliente sanitaria a aquella que ha sido calentada y esta destinada a la utilización humana. Los usos son múltiples, desde la limpieza en lavadoras o fregaplatos hasta el uso sanitario, en aseos y duchas.

Para encontrar los primeros usos del agua caliente, debemos remontarnos a la época Romana, donde para los más privilegiados eran comunes los baños y termas era algo bastante extendido dentro de la higiene personal. Para ello, se producía vapor vertiendo agua sobre piedras calientes. Este desarrollo es continuado por otras civilizaciones como la islámica, con los “baños moros” en la España musulmana o los “baños turcos” en territorios más occidentales. No es hasta mediados del siglo XIX cuando Benjamin Waddy Maughan inventa el primer calentador instantáneo para uso doméstico, cuyo funcionamiento se basaba en el calentamiento de las tuberías por las cuales circulaba el agua, utilizando gases de combustión, pero debido a la falta de ventilación de estos era peligrosos. Edmund Rudd introduce avances con el fin de aumentar la seguridad, para ello calienta el agua directamente en el depósito. Este modelo es conocido como el primer calentador moderno. A principios del siglo XX los sistemas ACS siguen siendo un lujo al alcance de muy pocos, y no es hasta los años 50 cuando empiezan a extenderse paralelamente a la normalización del agua corriente en las viviendas, como podemos observar en la Figura 11. La época de 1990 es un período con gran número de invenciones, cuando por ejemplo se inventa el calentador de agua eléctrico, calentador de agua solar o calentador de agua a gas llegaron a existir.



*Figura 11 - Viviendas con instalación de agua corriente en EE. UU [LUTZ04]*

Hoy en día es algo que tenemos al alcance de nuestra mano y que se ha convertido prácticamente en un bien de necesidad básica, obligatorio en un gran número de países.

### **3.2.2 CLASIFICACIÓN SISTEMAS A.C.S.**

Podemos distinguir diferentes tipos de sistemas de ACS, dependiendo del sistema de acumulación de agua caliente, la energía empleada o la distribución.

#### Producción instantánea

Sistema inmediato, que no tiene ningún tipo de reserva de ACS. El diseño de los intercambiadores debe estar condicionado al momento de máxima demanda de la instalación, pues el agua se calienta en el momento en el que se demanda.

En este sistema, el agua circula por un serpentín calentado directamente por la llama del calentador/intercambiador por el que circula agua a calentar. Lo más común es el uso de un calentador de placas.

Algunos de los inconvenientes de este sistema es el gasto de energía inicial hasta que se consigue el agua caliente, además de la inadecuación para instalaciones con una gran demanda (por ejemplo, uso de muchos grifos al mismo tiempo) ya que el consumo energético sería muy elevado. Entre las ventajas cabe destacar la menor inversión inicial en comparación con otros sistemas, así como el ahorro de espacio ya que no es necesaria la instalación de depósitos.

### Producción por acumulación

Para reducir la potencia necesaria en la producción del agua caliente y al mismo tiempo obtener comportamientos más homogéneos, se utilizan los sistemas con acumulación mediante depósitos en los cuales se mantiene el agua caliente hasta el momento de uso. De esta manera en los de demanda máxima se utiliza el agua acumulada, por lo que la potencia solicitada al sistema de producción es inferior.

Conforme al volumen de acumulación, podemos distinguir dos categorías en:

- **Acumulación.**

Los volúmenes de acumulación son diseñados para cubrir la demanda máxima con el agua acumulada (en las viviendas normalmente están diseñados para cubrir toda la demanda diaria). Este sistema suele ser utilizado con acumuladores eléctricos y no de gas. Los inconvenientes son el espacio requerido (por el tamaño de los depósitos) así como los riesgos sanitarios debido al desarrollo bacteriológico.

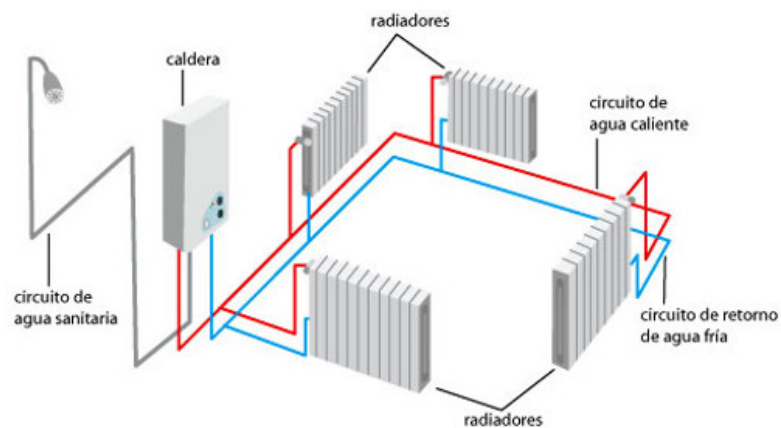
- **Semiacumulación**

Los volúmenes de acumulación solo pueden hacer frente a una parte de la demanda máxima, por lo que requieren producción suplementaria para poder cubrir toda la demanda. Esto permite reducir de manera considerable la potencia requerida sin perder tanto espacio como en los sistemas por acumulación.

### 3.2.3 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE ACS

Para esta clasificación vamos a considerar la fuente de energía utilizada en el proceso de calentamiento. Esta puede tener diversas procedencias, y dependiendo de las condiciones de nuestra instalación unas fuentes pueden ser mas convenientes que otras. Lo más frecuente es el uso de gas y electricidad, aunque también se usa el gasóleo y cada vez más frecuentemente otras alternativas renovables como la energía solar y la biomasa.

Los métodos de producción coinciden con los descritos en Sistemas de climatización ya que actualmente está muy extendido el uso de calderas mixtas, que, con un solo depósito, abastecen a dos circuitos independientes de agua caliente sanitaria y calefacción como muestra la Figura 12, lo que supone un ahorro energético importante. Incluso en aquellos casos en los que se usen sistemas independientes para la producción de ACS y climatización, los aparatos de producción siguen basándose en los mismos principios de funcionamiento, por lo que no van a ser detallados nuevamente para evitar redundancias. Destaca el uso de calderas de condensación de gas natural o gasóleo, las calderas eléctricas y la energía solar. Este último sistema es el elegido para el diseño de nuestro proyecto, ya que como se ha expuesto en el punto de Sistema Solar, además de ser un sistema eficiente que permite un importante ahorro energético, es un requerimiento obligatorio para todo edificio de nueva construcción o rehabilitado desde el año 2006 como esta estipulado en el CTE, debiendo ser diseñado para cubrir entorno al 70% de la demanda de ACS.



*Figura 12 - Ejemplo sistema con caldera mixta*

## Capítulo 4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 4.1 EMPLAZAMIENTO

El emplazamiento elegido para el desarrollo del proyecto es una residencia para la tercera edad situada en el norte de la ciudad de Madrid, perteneciente a la fundación Nuestra Señora del Camino. La edificación dispone de tres plantas, la planta baja en la que se encuentran los espacios comunes, zona administrativa y dependencias del personal, y dos plantas superiores en las que se distribuyen las habitaciones de los residentes, mayoritariamente en habitaciones dobles.

**Emplazamiento:** Madrid, 28035

- Latitud: 40°29'N
- Longitud: 3°42'O

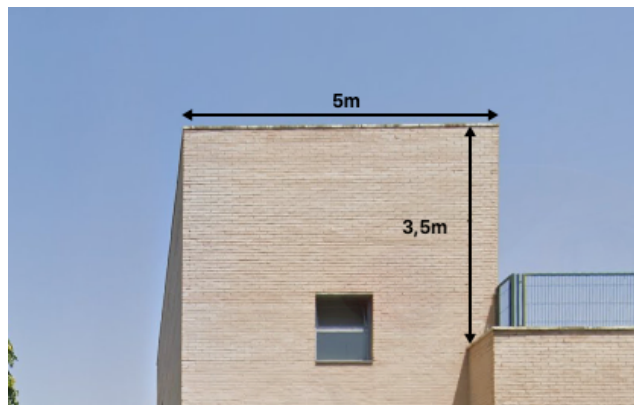
Estos datos hacen referencia a la ubicación específica de la residencia, aunque para los datos de radiación y temperatura, se utilizará la latitud de referencia de Madrid, 40°25'N.



*Figura 13 - Vista aérea del emplazamiento elegido*

**Ocupación:** La residencia cuenta con un total de 84 residentes, considerando una ocupación del 100% anual. Estos se reparten en 38 habitaciones dobles y 8 habitaciones individuales, de  $20\text{ m}^2$  cada una, a lo que se debe sumar  $230\text{ m}^2$  de zonas comunes por lo que en total la superficie climatizada asciende a  $1150\text{ m}^2$ .

El edificio elegido cuenta con una cubierta plana en la cual se instalará el sistema de captación solar. Dicha cubierta, cuenta con una superficie útil de  $550\text{ m}^2$  ( $27,5 \times 20\text{m}$ ). En el lateral de esta existe un anexo, que habrá que considerar a la hora de colocar los colectores ya que es el único elemento que producirá una sombra sobre la cubierta. La altura de dicho anexo sobre la cubierta es de  $3,5\text{m}$  como se puede ver en Figura 14.



*Figura 14 - Detalle del anexo situado junto a la cubierta de la residencia*

Así mismo, se considerará que la residencia cuenta con una piscina exterior climatizada que se utilizará en aquellos meses en los que el sistema de climatización no se usa (junio, julio, agosto y septiembre). Dicha piscina tiene una superficie de  $150\text{ m}^2$  y un volumen de  $250\text{ m}^3$ .

El sistema actual de ACS de la residencia elegida usa como fuente de energía gas natural, con un depósito acumulador de alto rendimiento y un sistema de calefacción centralizado. Actualmente dicho sistema se encuentra en la planta baja en la sala de calderas, donde se instalará el depósito acumulador de nuestro proyecto.

#### 4.1.1 ESPECIFICACIONES CLIMÁTICAS

En este apartado se exponen los datos climáticos correspondientes a la ubicación elegida para el proyecto, obtenido del libro "Radiación Solar Sobre Superficies Inclinadas", elaborado por el "Centro de Estudios de la Energía", dependiente del Ministerio de Industria y Energía.

Provincia:	Madrid
Latitud de cálculo:	40,42
Latitud [°/min.]:	40,25
Altitud [m]:	667,00
Humedad relativa media [%]:	42,00
Velocidad media del viento [Km/h]:	10,00
Temperatura máxima en verano [°C]:	34,00
Temperatura mínima en invierno [°C]:	-3,00
Variación diurna:	15,00
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	1260
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	1405

Tabla 3 - Datos geográficos y climatológicos del emplazamiento

De la misma fuente se han obtenido los siguientes datos necesarios para el cálculo de la demanda energética y dimensionado de los colectores solares.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
T <sup>a</sup> . media ambiente [°C]:	4,90	6,50	10,00	13,00	15,70	20,60	24,20	23,60	19,80	14,00	8,90	5,60	13,9
T <sup>a</sup> . media agua red [°C]:	10,0	11,2	12,4	13,6	14,8	16,0	17,2	16,0	14,8	13,6	12,4	11,2	13,6
Rad. horiz. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	6.362	9.798	14.150	19.552	21.184	23.530	25.874	22.986	16.118	10.762	7.326	6.263	15.325
Rad. inclin. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	11.283	14.874	17.629	19.781	18.473	19.159	21.547	21.754	18.371	12.693	12.532	12.161	16.688

Tabla 4 - Datos relativos a la temperatura ambiente, del agua y radiación incidente

En último lugar, se establece 20°C como temperatura interior operativa en invierno, dentro de los límites de confort fijados por el RITE para residencias, así como 35°C la temperatura de funcionamiento del suelo radiante.

## **4.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

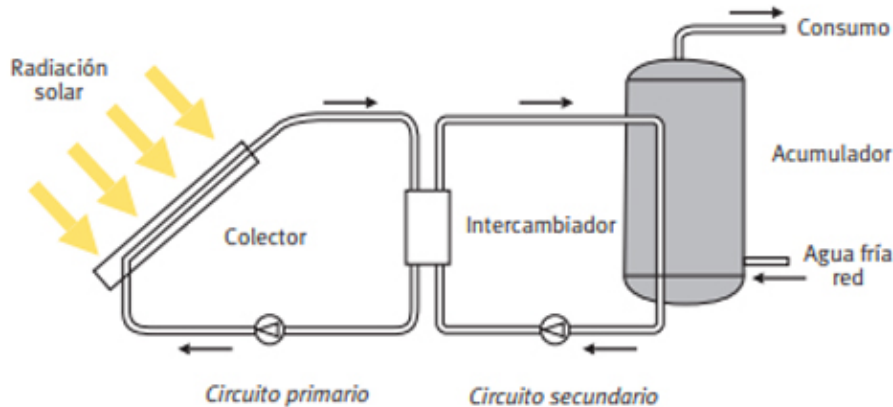
El funcionamiento de la instalación se basa en el aprovechamiento de la energía solar térmica, captando la radiación solar mediante un sistema de colectores solares para calentar un fluido caloportador que transferirá la energía térmica a un sistema de almacenamiento, que la suministrará cuando sea demandado.

Este sistema puede ser implementado tanto en circuito abierto como circuito cerrado. En el primer caso el fluido que circula a través de los captadores solares es el agua que posteriormente será utilizada para el consumo o para el sistema de climatización. Sin embargo, estos sistemas son poco usados en la actualidad ya que presenta diversos inconvenientes, destacando los problemas de higiene.

En consecuencia, se ha elegido implementar un sistema de circuito cerrado, formado por un circuito primario y otro secundario, independientes entre ellos. De esta manera se evita que al agua destinada al consumo o sistema de calefacción pase directamente a través de los colectores solares, sino que será un fluido caloportador que circulará por el circuito primario. El calor capturado por este fluido en los colectores será transferido al agua de consumo, el circuito secundario en un intercambiador de calor, pasando a continuación al acumulador. Como podemos observar en la Figura 15, el acumulador es alimentado por el agua caliente procedente del intercambiador y por el agua fría proveniente de la red, produciéndose un fenómeno de transferencia de calor por conducción. Dado que la densidad del agua caliente es menor, este se acumula en la parte superior de manera natural, por lo que la distribución para el consumo se produce directamente desde la parte superior del acumulador. Por otro lado, gracias a este intercambio el agua fría proveniente de la red que se sitúa en la parte inferior del acumulador también aumenta de temperatura, algo que mejorará la eficiencia del sistema ya que el salto de temperatura en el intercambiador será menor.

Remarcar que el intercambiador y el acumulador pueden integrarse en uno solo, un interacumulador, donde el fluido del circuito primario circula por un serpentín integrado,

cediendo la energía al agua destinada al consumo, pero sin mezclarse ambos fluidos en ningún momento.



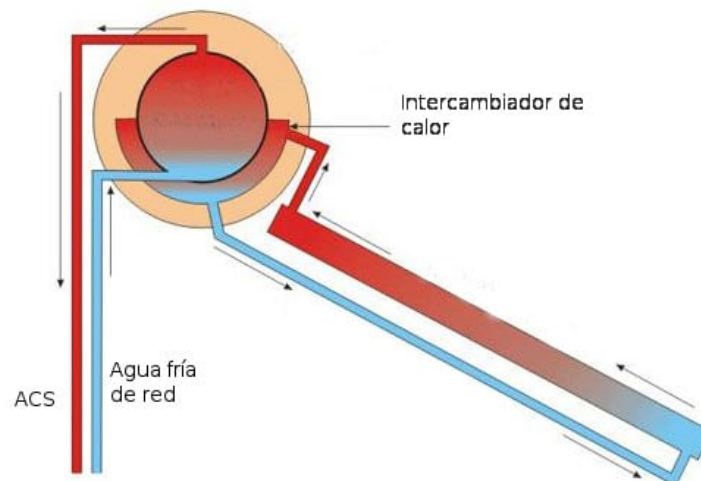
*Figura 15 - Esquema circuito cerrado [IDAE06]*

Considerando que el suministro de energía solar térmica es intermitente, dado que está condicionado por el periodo del año y las condiciones climatológicas, al mismo tiempo que los momentos de máxima demanda energética no van a coincidir necesariamente con los momentos de mayor aporte energético solar, y dado que la energía no se puede almacenar por un tiempo ilimitado, es necesario incluir en la instalación una fuente de energía auxiliar, que en el caso de nuestro proyecto será el sistema existente en la actualidad. El reparto del aporte energético estará condicionado por las características de nuestra instalación solar, siempre respetando las cubrir una demanda mínima estipulada en el CTE, que calcularemos más adelante.

También es necesario comprender como se produce el fenómeno de circulación del fluido que podemos clasificar en dos grupos:

Circulación natural o termofisión, sistemas en los que el acumulador debe situarse a mayor altura que los colectores, lo que provoca que el fluido circule gracias al principio de convección natural, que hace que el fluido caliente ascienda de los

colectores al acumulador que se encuentra en la parte superior, siempre que el gradiente de temperaturas sea el necesario. Los puntos positivos de estos sistemas son la facilidad de instalación y más económicos, además de no necesitar mantenimiento y ser autónomos, ya que no requieren un a bomba de circulación. Como contrapartida, el rendimiento es menor ya que la fuerza impulsora que se produce de manera natural es inferior a la de un a bomba, además de ser instalaciones muy condicionadas por el diseño para permitir la convección natural y por última estéticamente ocupan mucho más espacio en los tejados, que además deben tener la resistencia suficiente para aguantar el peso del acumulador.



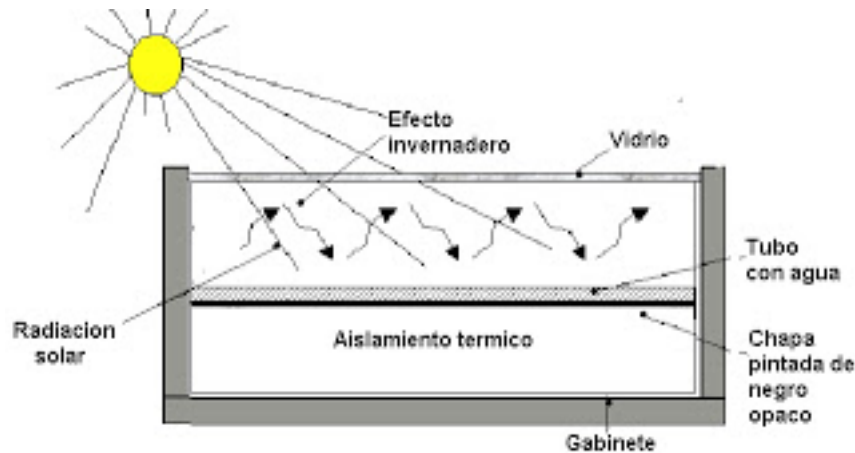
*Figura 16 - Esquema sistema solar por termofisión.*

Circulación forzada, hace referencia a los sistemas que requieren de una bomba para mover el fluido. Esto permite situar el acumulador en la parte inferior en un lugar a libre disposición, algo que permite aumentar la capacidad y por lo tanto aumentar la producción de manera considerable. Como contrapartida, este sistema requiere un mayor gasto energético ya que se debe utilizar energía eléctrica tanto para la bomba como para el sistema de regulación que es necesario para su control. Como consecuencia, el coste de estos sistemas también es más elevada, tanto por el coste de la instalación como por el gasto energético suplementario.

Este segundo sistema es el elegido para nuestra instalación dado que la demanda es considerablemente importante, se prefiere premiar el rendimiento ante el bajo coste y no se desea estar condicionado por la ubicación del acumulador.

#### **4.2.1 TECNOLOGÍA DE LA ENERGÍA SOLAR**

En este punto vamos a detallar el principio de funcionamiento de la parte del sistema que se encarga de la captación de la energía solar térmica. Para ello, se utilizan colectores cuya función es capturar la radiación proveniente del sol y la transformarla en energía térmica, que es conducida mediante un fluido caloportador hasta el intercambiador, cuyo funcionamiento ha sido presentado en el punto de Principio de funcionamiento. Es fundamental reducir las pérdidas energéticas que se producen por convección y conducción, para ello se intenta imitar el fenómeno natural conocido como “efecto invernadero”, proceso en el que se permite pasar a través de la atmosfera la mayor parte de la radiación solar para calentar la superficie terrestre, pero cuando esta emite la radiación absorbida, como gran parte de las longitudes de onda han cambiado, estas no pueden traspasar la atmosfera quedando la radiación atrapada en el interior provocando un aumento de temperatura. Este principio se imita en los colectores solares, al situar el conducto por el que circula el liquido a calentar cubierto por un material absorbedor, cuya función es por un lado favorecer la incidencia de la radiación solar al mismo tiempo que esta es reflejada. Todo esto se encuentra en un espacio vacío cubierto por un vidrio, que evita que la radiación reflejada escape consiguiendo de esta manera que se alcancen temperaturas mucho mayores.



*Figura 17 - Esquema del principio de funcionamiento por efecto invernadero.*

### **4.3 COMPONENTES**

En este punto se busca detallar las características de los componentes fundamentales del sistema, además de presentar las distintas opciones disponibles para poder elegir aquellas que se adapten mejor a las exigencias de la instalación.

#### **4.3.1 CAPTADORES**

Como se ha presentado en Tecnología de la energía solar, la función de los captadores es transferir la energía solar térmica absorbida de la radiación incidente, a un fluido en forma de calor.

Los captadores están divididos en dos grandes grupos, los de baja temperatura, que son los que nos conciernen en este caso ya que son los más indicados para usos domésticos como puede ser ACS, calefacción o climatización de piscinas. El segundo grupo corresponde a los colectores de alta temperatura, en los que mediante un sistema de espejos parabólicos se busca redirigir la radiación a un punto determinado para producir vapor que moverá una turbina y generará electricidad. Estos sistemas solo son utilizados para la producción de electricidad a gran escala, por lo que en este proyecto solo vamos a interesarnos por los de baja temperatura, entre los que distinguimos:

## **Colector solar plano**

Modelo cuyo uso está más extendido, cuyos elementos vamos a detallar a continuación.

Cubierta que puede ser de plástico algo que reduce de manera importante el coste, pero como contrapartida las pérdidas son mucho mayores, o bien puede ser de vidrio, modelo más extendido y en el cual nos vamos a interesar. Imita el efecto de la atmósfera, cuya función es por una parte provocar el efecto invernadero, pero también conseguir la estanqueidad para evitar en lo posible las pérdidas por convección y evitar que los tubos estén a la intemperie protegiéndolo de fenómenos meteorológicos como el viento. Si nos fijamos, debe tener un alto coeficiente de transmisión para las longitudes de onda de 0,25 a 2,5  $\mu\text{m}$ , pero que este coeficiente sea lo más bajo posible a partir de 3  $\mu\text{m}$  para que evitar que cuando la radiación sea reflejada por el absorbedor esta pueda escapar.

Tubos o conductos, soldados entre ellos y situados en el fondo de la caja, son frecuentemente de color oscuro para favorecer el aumento de temperatura y por ellos circula el fluido caloportador que se pretende calentar.

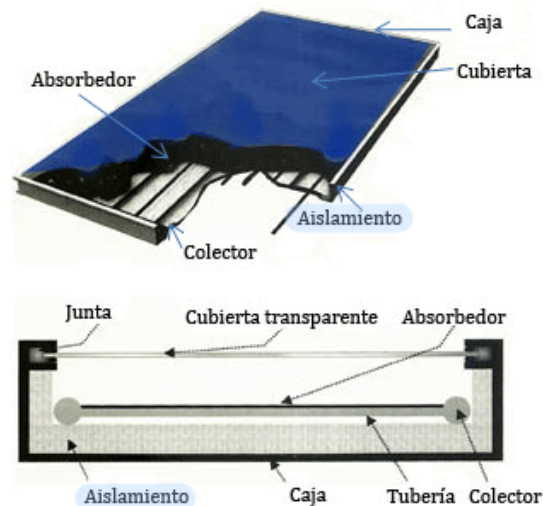
Absorbedor, elemento plano que recibe la radiación solar y por un lado la convierte en energía térmica y, por otro lado, la refleja con longitudes de onda mayores para que esta no puede atravesar la cubierta y quede atrapada, aumentando la temperatura y en consecuencia el rendimiento. Se usan materiales compuestos, ya que el objetivo es conseguir la mayor absorción de radiación posible al mismo tiempo que se reducen las pérdidas por emisión.

Canal de aire, espacio normalmente vacío dimensionado para evitar que las temperaturas alcanzadas no sean demasiado elevadas al mismo tiempo que se evita que sea demasiado grande para evitar pérdidas elevadas por convección.

Aislante cuya función es evitar en todo lo posible las pérdidas de calor hacia el exterior, por lo que se cubren todas las superficies de la caja excepto la cubierta. Para la elección del aislante debe considerarse el coeficiente de aislamiento que debe ser lo más elevado posible, pero sin sobrepasar la temperatura de trabajo máxima lo que aumentaría el desgaste de los

componentes. Los aislantes más comunes son las espumas de poliuretano, resinas de melamina y lana de roca.

En la Figura 18 se presenta un dibujo en el que podemos apreciar los distintos componentes.



*Figura 18 - Esquema colector solar plano.*

### **Colector solar de tubo vacío**

Este tipo de colector está formado por hileras de tubos vacíos de vidrio transparente, en cuyo interior se encuentra otro tubo por el cual circula el fluido a calentar y recubierto de un material especial para favorecer la absorción de la radiación. El mayor beneficio de estos tubos es la minimización de las pérdidas por convección ya que se crea un vacío muy elevado entre el tubo exterior e interior. Otro importante beneficio es la versatilidad de instalación que permiten, ya que gracias a su forma circular la radiación siempre incide de forma perpendicular lo que permite mayor libertad tanto en la orientación como en la inclinación a la hora de la instalación además de obtener mejores rendimientos en condiciones climatológicas adversas como la nubosidad o bajas temperaturas. Como contrapartida, su uso puede presentar problemas en las zonas cuyas temperaturas sean más suaves, o las diferencias entre el invierno y el verano sean importantes ya que como el rendimiento es

mayor, puede producirse sobrecalentamiento en las épocas más calurosas al existir menor demanda, por ejemplo, al no necesitarse los sistemas de calefacción. Por ello, se elegirá un colector solar plano.



*Figura 19 - Colector solar de tubos vacíos.*

### **4.3.2 DEPÓSITOS**

Los depósitos son una parte fundamental del sistema, ya que permite acumular el agua caliente generada por los colectores hasta el momento en el que sea demandada, lo que otorga flexibilidad al sistema ya que permite almacenar en aquellos momentos en los que la incidencia solar sea mayor (las horas centrales del día) para después permitir su consumo en los momentos de máxima demanda (por ejemplo, al final de la tarde cuando la gente regresa a casa).

El funcionamiento se basa en la estratificación, lo que supone que en el interior de los depósitos se formen distintas capas de agua según la temperatura siempre que se consiga evitar corrientes en el interior. Debido a las diferencias de densidad, el agua más fría se sitúa en la parte inferior donde se encuentra la salida hacia el circuito primario, y el agua caliente, menos densa, se sitúa en la parte superior por donde saldrá hacia el consumo.

Podemos distinguir dos grupos:

- **Acumuladores:** Almacena el agua caliente proveniente de un intercambiador externo. Basado en ciclos de carga y descarga, aíslan el calor producido por el sistema de captación para utilizarlo después. Requieren de una bomba que circule el agua entre el intercambiador de calor y el depósito.
- **Interacumulador:** Integran en una sola unidad el intercambiador de calor y el depósito. Existen dos tipos, los de doble envolvente, utilizados en instalaciones pequeñas, en los que el agua circula rodeando al acumulador, por una envolvente exterior al depósito, que a su vez es rodeada por un aislamiento. El segundo tipo es el más extendido, y son aquellos que cuentan con un serpentín en el interior por el que circula el agua caliente del circuito primario, transfiriendo el calor al agua acumulada destinada al consumo. Para nuestro proyecto se elegirá un depósito interacumulador con serpentín.

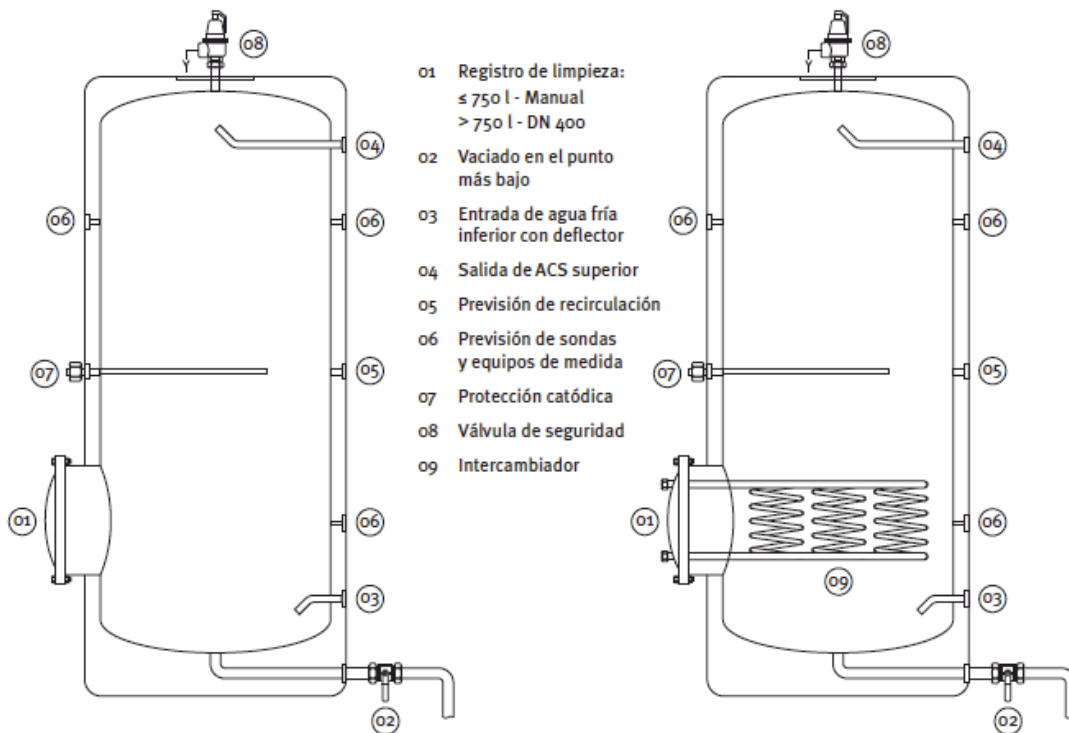
#### ***4.3.2.1 Elementos de diseño***

El IDAE establece ciertos requerimientos en cuanto a los materiales, elementos y conexiones que deben disponer los acumuladores.

En primer lugar, es fundamental la elección del material, destacando tres tipos fundamentales [IDAE10]:

- Acero inoxidable.
- Acero con tratamientos especiales, lo más frecuente con resinas epoxi.
- Acero con esmalte vitrificado, frecuentemente usado en pequeños volúmenes.

El segundo aspecto es la presión de trabajo, siendo lo recomendable 8 bar, estableciéndose el mínimo en 6 bar. El siguiente aspecto es la temperatura, que en ningún caso debe ser inferior a 60°C, como está estipulado en la Guía para la prevención de la legionelosis [SUBD03].



*Figura 20 - Esquema acumulador e interacumulador con las conexiones necesarias [IDAE10]*

La Guía Técnica de Agua caliente sanitaria [IDAE10] estipula una serie de conexiones que deben tener todos los acumuladores y que se detallarán a continuación:

- Entrada de agua de consumo con un deflector que la dirija hacia la parte inferior del depósito, de manera que se reduzca la zona de mezcla favoreciendo la estratificación del agua en su interior.
- Salida del agua caliente hacia el consumo debe estar situada en la parte superior, preferentemente situada a una altura entre el 50% y 75% de la total del acumulador.
- Vaciado en la parte inferior para la purga de lodos y para la toma de muestras para los análisis de legionela.
- Registro para limpieza; para capacidades inferiores a 750 l se admiten tamaños de registro que permitan la limpieza interior manual; para capacidades superiores el

tamaño mínimo del registro será DN 400 (Boca de Hombre) que permite el acceso de una persona a su interior.

- Tomas para la conexión, bien con intercambiadores exteriores, o bien con serpentines interiores. Estas deben permitir la desconexión individual del acumulador sin que se interrumpa el funcionamiento del circuito.
- Otro tipo de conexiones para sondas de regulación, termómetros, válvula de seguridad, recirculación de ACS, etc.
- Protecciones catódicas, al tratarse de equipos metálicos con riesgo de corrosión.

Asimismo, se estipula que, para los sistemas de acumulación solar, se utilice un solo depósito si es posible, colocado de forma vertical y situado en una zona interior.

El último aspecto destacado que debemos considerar a la hora de elegir un acumulador es su volumen, y ello depende de diversos factores, siendo la superficie de colectores solares el más destacado. Estos previamente dimensionados para cubrir la demanda mínima, se estima un volumen de 75L por metro cuadrado de colector según establece al Guía solar térmica elaborada por el IDAE. Otros factores que considerar son la temperatura o presión máxima de trabajo.

### **4.3.3 TUBERÍAS**

Las tuberías son los elementos del sistema que se encargan de conectar los diferentes componentes del circuito. Para el circuito primario, se permite la utilización de “tuberías de cobre, de acero negro o de acero inoxidable compatible con el fluido que utilizan, que soporten las condiciones extremas de funcionamiento en función de su ubicación. Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y sus uniones serán realizadas por accesorios a presión que soporten las condiciones extremas en forma de vapor o mediante soldadura por capilaridad que se realizará mediante soldadura fuerte”, según está estipulado en la Guía solar térmica [IDAE10]. La mayoría de las tuberías contienen cobre, lo que evita posibles problemas de corrosión siempre que se mantenga el fluido de caloportador sin reposición ya que el circuito es hermético. En el exterior se evita la corrosión aplicando los tratamientos

adecuados. Como norma general se evita el uso de materiales plásticos ya que son más vulnerables a las altas temperaturas.

Para el circuito secundario, es la Guía técnica de las instalaciones de ACS quien establece los requerimientos, siendo los aspectos considerados para la elección del material la compatibilidad con el fluido, la presión y temperatura de trabajo. En el apartado 6.2 del documento HS4 del CTE, se indica que el agua debe ser considerada como agua de consumo humano, de esta manera las tuberías no deben alterar la potabilidad del agua. Por ello, siempre se deberá comprar cuando se reciba el material que el material esta correctamente certificado. De esta manera lo materiales a utilizar son los siguientes:

**Metálicos:**

- Acero galvanizado, UNE-EN 10.255 serie M (solo en agua fría).
- Acero inoxidable, UNE-EN 10.312, series 1 y 2.
- Cobre, UNE-EN 1.057.

**Termoplásticos:**

- Policloruro de vinilo no plastificado (PVC), UNE-EN 1.452.
- Policloruro de vinilo clorado (PVC-C), UNEEN ISO 15.877.
- Polietileno (PE), UNE-EN 12.201.
- Polietileno reticulado (PE-X), UNE-EN ISO 15.875.
- Polibutileno (PB), UNE-EN ISO 15.876.
- Polipropileno (PP) UNE-EN ISO 15.874.
- Multicapa polímero/aluminio/polietileno (PE-RT), UNE 53.960 EX.
- Multicapa polímero/aluminio/polietileno (PE-X), UNE 53.961 EX.

Se prohíbe expresamente la utilización de tubos de aluminio y los que contengan plomo.

En cuanto a la temperatura de trabajo, como norma general se estipula que las tuberías deben soportar de manera recurrente 70°C, para la prevención de la legionelosis. También es necesario tener en cuenta la presión de trabajo. Como norma general, los materiales metálicos, excepto el galvanizado, no presentan problema con la presión. Si lo hacen los termoplásticos, ya que cuanto mayor sea la temperatura que deban soportar menor será la presión. Dado que en el HS4 se estipula que se debe garantizar en todos los puntos de consumo la presión debe estar entre 1 bar y 5 bar, y teniendo en cuenta que las válvulas de los depósitos suelen estar taradas a 8 bar, esta será la presión adecuada a la hora de realizar la elección de los materiales termoplásticos.

El último punto que considerar es el aislamiento térmico, cuya función es minimizar las pérdidas de calor para evitar el empeoramiento del rendimiento de la instalación, ya que el ambiente siempre estará a menor temperatura que los elementos del sistema. Los materiales aislantes más utilizados son los materiales fibrosos (por ejemplo, la fibra de vidrio), los materiales celulares (por ejemplo, las resinas sintéticas) y los materiales granulares (por ejemplo, el vermiculite). Los espesores están regulados por el RITE, en los puntos 1.2.4.2.1 y 1.2.4.2.2, que establecen los espesores mínimos en el interior y exterior de edificios respectivamente y que podemos ver a continuación.

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

*Tabla 5 - Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios [RITE13]*

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido ( °C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

Tabla 6 - Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios [RITE13]

#### 4.3.4 CONEXIÓN CON EL CIRCUITO CONVENCIONAL

La conexión entre la instalación solar y el circuito convencional se puede realizar en serie o en paralelo, pero se hará preferentemente en serie, de manera que la instalación solar aporte el agua precalentada. Como se ha mencionado anteriormente, para garantizar el suministro de ACS, es necesaria la instalación de una fuente de energía auxiliar, que vamos a considerar en este punto ya que se encuentra entre la instalación solar y el circuito convencional.

##### Conexión en serie

La fuente de energía auxiliar esta conectada en serie con la instalación solar, de esta manera solo actúa cuando es necesario un aporte energético suplementario para alcanzar la temperatura requerida. De manera general, la temperatura del agua a la salida del sistema solar será superior a 60°C, por lo que es necesario incorporar una válvula termostática mezcladora en la alimentación al circuito de distribución del agua caliente para el consumo humano, como se muestra en la Figura 21, para evitar que sobrepase los 60°C y así evitar quemaduras.

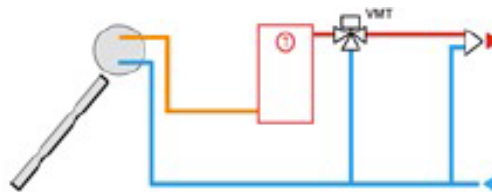
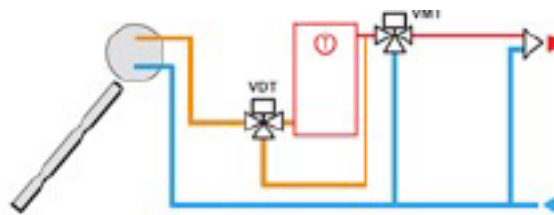


Figura 21 - Esquema conexión en serie con válvula termostática [IDAE18]

Otra posibilidad es la utilización de una válvula de tres vías a la salida del sistema solar como muestra la Figura 22, que permite conducir el fluido directamente al circuito de distribución de agua caliente para el consumo si se supera una determinada temperatura.

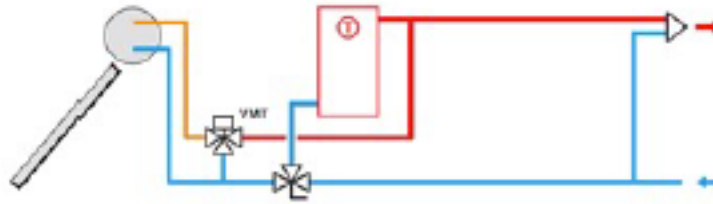


*Figura 22 - Esquema conexión en serie con válvula de tres vías [IDAE18]*

### **Conexión en paralelo**

Su uso es excepcional, y solo está permitido para situaciones en las que “el recorrido de la tubería de agua caliente desde el acumulador solar hasta el punto de consumo más lejano sea superior a 15 metros lineales a través del sistema de apoyo de forma que se eviten los consumos de agua y de energía que se producen en caso de largas distancia”, según estipula la Guía técnica de la energía solar. También se puede utilizar este tipo de conexión cuando se utilizan fuentes de energía auxiliar ya existentes, que pueden no admitir una entrada para el agua calentada proveniente de la instalación solar.

El principio básico de estas instalaciones es el hecho de poder abastecer el agua caliente para el consumo bien desde la instalación solar, o bien desde el sistema auxiliar. Se requiere que el agua del acumulador tenga una temperatura mínima de 50°C y en el momento en que se descienda de dicha temperatura, será el sistema auxiliar quien aportará el agua para el consumo. Esta conmutación se puede realizar de manera automática o manual, idealmente con una válvula de tres vías como se muestra en la Figura 23, donde el acumulador aparece integrado en el colector solar.



*Figura 23 - Esquema de conexión en paralelo con válvula de tres vías [IDAE18]*

Cabe destacar que, en este apartado, se ha tratado la conexión del sistema solar con el circuito convencional de agua caliente para el consumo, las opciones expuestas también pueden ser consideradas para la conexión con otros sistemas. En particular, la conexión con el sistema de calefacción y con la piscina, se harán igualmente en serie y utilizando una válvula de tres vías, que de apoyo a las distintas instalaciones.

## **4.4 CÁLCULOS**

### **4.4.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN**

El componente principal del sistema de captación es el conjunto de colectores solares, encargados de absorber la radiación solar incidente y transferir la energía térmica a un fluido. El CTE da libertad en cuanto al método de cálculo a utilizar y en este proyecto ha elegido utilizar una hoja de cálculo basada en el método f-Chart. Este método permite dimensionar de manera sencilla el número de colectores necesario a partir de los valores mensuales de demanda energética (carga calorífica), teniendo en cuenta el rendimiento de los colectores y otra serie de factores de corrección.

En primer lugar, se presentarán los cálculos en los que se basa el método, para obtener tanto el rendimiento del colector como la demanda energética para después entrar en las particularidades del método f-Chart.

#### **Estimación de la demanda energética**

Por un lado, es necesario conocer una estimación energética mensual para satisfacer la demanda de ACS anteriormente establecida. Este cálculo se hace a partir de la temperatura media mensual tanto de la red como de acumulación, junto con el calor específico y el consumo.

$$DE_{ACS} = Q_{ACS/dia} * C_p * (t_{uso} - t_{red\ fri}) * N_{dias}$$

### **Potencia absorbida por los colectores**

Por otro lado, es necesario calcular la potencia que es capaz de extraer el colector y que puede ser aprovechada para aumentar la temperatura del fluido caloportador, a partir de la radiación incidente. De manera general la potencia absorbida por el colector viene dada por la siguiente formula:

$$P_{cap} = m_{cap} * C_p * (t_s - t_e) = \eta * A * I_t$$

Siendo:

$m_{cap}$ : Caudal másico que circula por el captador

$C_p$ : Calor específico a presión constante del fluido caloportador  $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$

$t_s$ : Temperatura de salida del captador (°C)

$t_e$ : Temperatura de entrada del captador (°C)

$\eta$ : Rendimiento del captador

A: Superficie del colector ( $m^2$ )

$I_t$ : Irradiación total sobre la superficie del colector ( $W/m^2$ )

La formula precedente hace referencia a la potencia absorbida, pero es necesario considerar las pérdidas que se producen en el mismo las cuales aparecen en el rendimiento, que depende de las características del modelo elegido y que se calcula según la siguiente expresión:

$$\eta = F_R - (F_R \cdot U_L) * \frac{(t_e - t_a)}{It}$$

Siendo:

$F_R$ : Factor de eficiencia del colector o factor óptico de ganancia  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}\right)$

$F_R \cdot U_L$ : Coeficiente global de pérdidas  $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$

$t_e$ : Temperatura de entrada del fluido caloportador al captador ( $^\circ\text{C}$ )

$t_a$ : Temperatura media del ambiente ( $^\circ\text{C}$ )

$It$ : Irradiación total sobre la superficie del colector ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

### Procedimiento de cálculo del método f-Chart

1. Cálculo de la demanda energética, como se ha mostrado en el punto anterior. Remarcar que, aunque se esté presentando el caso para ACS, este mismo método puede ser perfectamente utilizado para el dimensionado de colectores solares para un sistema de calefacción, con el simple cambio de la demanda energética.  $\rightarrow DE_{ACS}$
2. Cálculo de la radiación solar incidente para el método f-Chart. Dada la amplitud del sistema de cálculo se introducen una serie de factores de corrección para adaptarse lo máximo posible a la realidad.

Por un lado, la energía absorbida

$$E_a = A * F_R * It * N_{\text{dias}} * FIC$$

Siendo:

$A$ : Superficie del colector ( $\text{m}^2$ )

$F_R$ : Factor de eficiencia del colector o factor óptico de ganancia

$It$ : Irradiación total sobre la superficie del colector ( $\text{J}/\text{m}^2$ )

$FIC$ : Factor de corrección del intercambiador de calor

Por otro lado, se calcula la cantidad de energía perdida

$$E_p = A * (F_R \cdot U_L) * FIC * (100 - t_a) * \Delta T * CV * CT$$

Siendo:

$A$ : Superficie del colector ( $m^2$ )

$F_R \cdot U_L$  : Coeficiente global de pérdidas del colector ( $\frac{J}{m^2 * ^\circ C}$ )

$I_t$ : Irradiación total sobre la superficie del colector ( $J/m^2$ )

$FIC$ : Factor de corrección del intercambiador de calor

$t_a$ : Temperatura media del ambiente ( $^\circ C$ )

$\Delta T$  : Tiempo de funcionamiento (segundos de funcionamiento en el mes dado que es el periodo que nos interesa)

$CV$ : Corrección de volumen de acumulación,  $CV = \left(\frac{V/A}{75}\right)^{-0,25}$   
(siendo  $V$  el volumen de acumulación solar y  $A$  la superficie de colectores)

$CT$ : Corrección por temperatura de agua caliente

*El cálculo de los factores de corrección que conciernen las pérdidas térmicas será especificado en Pérdidas de calor.*

3. Determinación de dos parámetros adimensionales,  $X$  e  $Y$  que representan las pérdidas y ganancias de la instalación, siendo:

$$X = \frac{E_p}{DE_{ACS}} \qquad Y = \frac{E_a}{DE_{ACS}}$$

4. A partir de los parámetros anteriormente mencionados determinar el gráfico  $f$  para cada mes, mediante la siguiente fórmula [IDAE 18]:

$$f = 1,029 * Y - 0,065 * X - 0,245 * Y^2 + 0,0018 * X^2 + 0,0215 * Y^3$$

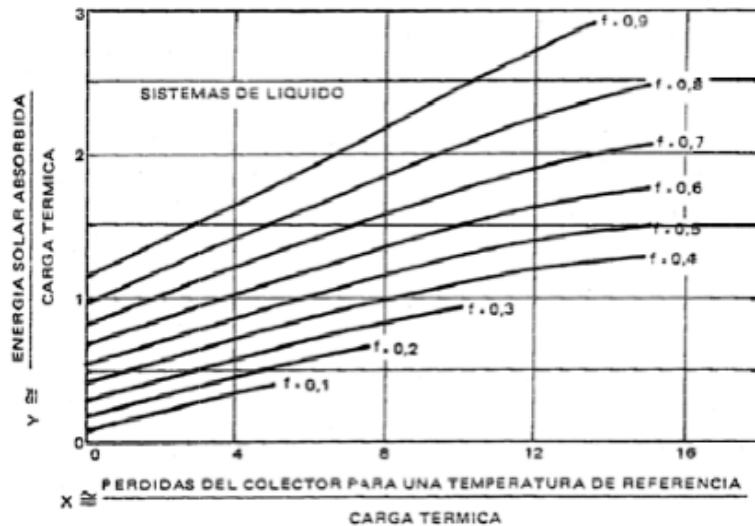


Figura 24 - Curvas de  $f$  para sistemas de líquidos

- Finalmente hemos obtenido  $f$ , que representa la fracción de aporte solar respecto a la demanda energética, por lo que para calcular el aporte solar simplemente debemos aplicar la siguiente fórmula:

$$E_{cobertura\ solar} = f * DE_{ACS}$$

Como se ha mencionado anteriormente, cambiando la demanda energética a la correspondiente a calefacción o piscina, se puede calcular la cobertura para dichos sistemas.

#### 4.4.2 CÁLCULO DE LA LIMITACIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA SEGÚN EL NUEVO CTE

En este punto se va a estudiar la contribución solar mínima necesaria según la demanda de ACS, como se estipula en la sección HE 4 del Documento Básico de Ahorro de Energía del

CTE. Según el ámbito de aplicación, las condiciones de aplicación nos conciernen ya que nos encontramos en el caso de reforma del sistema de generación térmica de un edificio con una demanda superior a los 100L/d. Dicho documento solo hace referencia a la demanda de ACS y climatización de piscina, por lo que en lo que respecta al sistema de suelo radiante se va a suponer una contribución mínima solar del 30%, cuya viabilidad se analizará en el estudio económico final.

Para el cálculo de la demanda ACS, tomaremos el valor de referencia especificado en el Anejo F del Documento Básico HE Ahorro de Energía, correspondiente a las residencias, 41L/d-persona. Este valor, orientativo, es calculado a la temperatura de referencia de 60°C.

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

Tabla 7 - Demanda orientativa de ACS para usos distintos al residencial privado [DBHE19]

De esta manera podemos calcular:

$$Q_{acs} = 41 * 84 = 3444 \text{ L/día}$$

De acuerdo con la sección HE 4, y cito textualmente, “la contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables cubrirá al menos el 70% de la demanda energética anual

para ACS y para climatización de piscina, obtenida a partir de los valores mensuales, e incluyendo las pérdidas térmicas por distribución, acumulación y recirculación. Esta contribución mínima podrá reducirse al 60% cuando la demanda de ACS sea inferior a 5000 l/d" [DBHE19].

De esta manera, nuestra instalación debe cubrir el **60% de la demanda anual** de ACS y climatización de la piscina, y como hemos indicado anteriormente, de manera no impuesta el 30% de la demanda de calefacción por suelo radiante. Dado que la piscina solo se climatizará en los meses de verano en los que el suelo radiante no es necesario, un sistema dimensionado para cubrir la demanda establecida de ACS y suelo radiante también será suficiente para climatizar la piscina.

Retomando los datos de consumo diarios, podemos calcular la demanda energética mediante el método de cálculo f-Chart, obtenemos las siguientes tablas de demanda energética, que serán utilizadas para el correcto dimensionado de los captadores.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Consumo de agua [m <sup>3</sup> ]:	106,8	96,4	106,8	103,3	106,8	103,3	106,8	106,8	103,3	106,8	103,3	106,8	1257,1
Incremento T <sup>a</sup> . [°C]:	50,0	48,8	47,6	46,4	45,2	44,0	42,8	44,0	45,2	46,4	47,6	48,8	
Ener. Nec. [Kcal·1000]:	5.338	4.706	5.082	4.794	4.826	4.546	4.569	4.698	4.670	4.954	4.918	5.210	58.311

Tabla 6 - Cálculo de la demanda energética de ACS

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Grados-día [°C]:	406,1	322,0	248,0	150,0	71,3	0,0	0,0	0,0	0,0	124,0	273,0	384,4	1978,8
Ener. Nec. [Kcal·1000]:	20.299	16.095	12.397	7.498	3.564	0	0	0	0	6.198	13.646	19.215	98.912

Tabla 7 Cálculo de la demanda energética de suelo radiante

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Pérd. Cond. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	1.836	-112	223	2.268	0	0	0	4.216
Pérd. Conv. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	2.688	-163	327	3.320	0	0	0	6.172
Pérd. Rad. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	7.563	5.978	6.289	7.949	0	0	0	27.780
Pérd. Agua [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	300	264	310	345	0	0	0	1.219
Pérd. Evap. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	18.305	16.368	16.869	18.728	0	0	0	70.270
Ap. Sol. Dir. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	-17.732	-20.148	-17.899	-12.146	0	0	0	-67.926
Pérd. Glob. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	12.960	2.186	6.119	20.464	0	0	0	41.729

Tabla 8 - Cálculo de la demanda energética de piscina climatizada

### 4.4.3 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

#### 4.4.3.1 Pérdidas de calor

Las primeras pérdidas por calor a considerar son aquellas que se producen directamente en el sistema de captación, en los colectores solares, y en segundo lugar el resto de las pérdidas que tienen lugar en los distintos elementos del circuito, desde la salida de los colectores hasta la entrada al sistema de apoyo.

En proyecto, todas las pérdidas térmicas son consideradas en la herramienta de cálculo f-chart. Las pérdidas en los colectores dependen directamente del coeficiente global de pérdidas ( $F_R \cdot U_L$ ), proporcionado por el fabricante en las especificaciones técnicas del producto. En ocasiones dicho coeficiente podrá ser calculado a partir de dos factores de pérdidas A1 (lineal) y A2 (cuadrático), siendo  $(F_R \cdot U_L) = A1 + 40 * A2$ .

El resto de las pérdidas térmicas intervienen en los cálculos como coeficientes de corrección, principalmente en el FIC (Factor de Corrección de Intercambiador), también conocido como  $\frac{Fr'}{Fr}$  muy conveniente de aplicar en las instalaciones que cuenten con un circuito primario y otro secundario, como es nuestro caso. En el cálculo interviene la eficiencia del intercambiador, el caudal y capacidades caloríficas de los fluidos del primario y secundario, y se podría decir que engloba las pérdidas térmicas producidas en el mismo, así como en los elementos de su entorno.

$$FIC = \left( 1 + \frac{F_R \cdot U_L}{m_p * C_{pp}} \left( \frac{m_p * C_{pp}}{\varepsilon * C_{min}} - 1 \right) \right)^{-1}$$

Siendo:

$F_R \cdot U_L$  : Coeficiente global de pérdidas del colector  $\left( \frac{J}{m^2 * ^\circ C} \right)$

$\varepsilon$ : Eficiencia del intercambiador

$m_p$ : Caudal másico en el circuito primario  $\left( \frac{kg}{m^2 * s} \right)$

$C_{pp}$ : Calor específico en el circuito primario  $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$

$C_{min}$ : Capacidad térmica mínima calculada como  $C_{min} = (m * C_p)_{min}$ , considerando el fluido primario y secundario.

En segundo lugar, en el CT (Corrección de Temperatura de agua caliente), desarrollado para instalaciones en las que la carga de ACS es mayor al 20% de la correspondiente a calefacción o la totalidad de la carga. Las pérdidas de energía dependen en gran medida de la temperatura media de funcionamiento del sistema, que a su vez viene determinada por la temperatura mínima aceptable del agua caliente y la temperatura de agua fría de la red. Dicho factor, utilizado en el cálculo de la energía perdida mostrado anteriormente viene determinado por:

$$CT = \frac{11,6 + 1,18 * t_{cons} + 3,86 * t_{red\ fria} - 2,36 * t_a}{100 - t_a}$$

Siendo:

$t_a$ : Temperatura media del ambiente (°C)

$t_{red\ fria}$ : Temperatura del agua fría de la red (°C)

$t_{cons}$ : Temperatura del agua de consumo (°C)

Además, en los colectores se producen pérdidas relativas a la orientación, inclinación y sombras que se producen sobre los mismos, con unos porcentajes máximos admisibles especificados en el CTE. Este tipo de pérdidas será tratado en el Capítulo 5 (Instalación solar) de manera específica, una vez se haya hecho la elección del modelo de colector a utilizar.

#### **4.4.4 CÁLCULO DE PÉRDIDA DE CARGA EN LOS CONDUCTOS**

Uno de los componentes principales de la instalación es el fluido caloportador, encargado de distribuir la energía térmica desde los colectores solares a los distintos puntos de

consumo, pasando por el intercambiador. Esto se produce a través de tuberías, donde se producen pérdidas por carga debido a la fricción entre el fluido y las paredes de esta, así como por otro tipo de obstáculos.

Podemos distinguir dos tipos de pérdidas en los conductos, las pérdidas por fricción, perdidas lineales que se producen en los tramos rectos de tubería y perdidas singulares, que se producen en elementos como codos o válvulas.

### **Perdidas de carga por fricción**

Las pérdidas de carga por fricción en los tramos rectos de las tuberías son calculadas mediante la ecuación de dinámica de fluidos de Darcy-Weisbach. Muy extendida en hidráulica, nos permite evaluar la pérdida de carga según factores como las dimensiones de la tubería o velocidad media del fluido, sin importar el tipo de flujo. La fórmula viene dada por:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

*Ecuación 1*

Siendo

$h_f$ : Pérdida de carga por fricción (m.c.a)

$f$ : Coeficiente de fricción de Darcy

$L$ : Longitud de tubería (m)

$D$ : Diámetro de tubería (m)

$v$ : Velocidad media del fluido en la tubería ( $m/s$ )

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ )

Una vez establecido el diseño de las tuberías, todos los parámetros serán conocidos excepto el coeficiente de fricción. Dicho coeficiente depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería, por lo que también depende del régimen de flujo, que va a determinar la formula que vamos a usar para calcular el coeficiente. En nuestro caso, para evitar el cálculo iterativo, se han considerado las tuberías como lisas, pudiendo aplicar de esta manera la ley de Blasius, que nos permite calcular el coeficiente de fricción siguiendo esta formula.

$$f = 0,3164 * Re^{-0,25}$$

Calculando el número de Reynolds de la siguiente forma.

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu}$$




Siendo

$\rho$ : Densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

$\mu$ : Viscosidad del fluido ( $N * s/m^2$ )

### **Pérdidas de cargas singulares**

Como se ha mencionado anteriormente estas hacen referencia a puntos singulares del circuito como puede ser codos, válvulas, estrechamientos y otros tipos de elementos que alteran el curso natural del fluido. Para calcular este tipo de pérdidas de carga el método más común es establecer una longitud de tubería equivalente, que introduciremos en la ecuación de Darcy-Weisbach Ecuación 1. Dichas longitudes equivalentes vienen dadas por la siguiente tabla.

	Diámetro nominal de la tubería					
	18	22	28	35	42	54
Curva de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Codo de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Curva de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducción	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T 	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T 	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T 	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Válvula antirretorno de clapeta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

*Tabla 8 - Longitud de tubería equivalente para pérdidas de carga singulares [CODI20]*

En último lugar, remarcar que, a la hora de calcular las pérdidas de carga totales, además de las producidas en los conductos, no debemos olvidar las ligadas al intercambiador y colectores, que deberán ser especificadas por el fabricante en ambos casos.

## Capítulo 5. INSTALACIÓN SOLAR

### 5.1 CONSIDERACIONES

Teniendo en consideración todos los factores anteriormente presentados, así como la oferta disponible actualmente en el mercado, el colector elegido para este proyecto es el modelo **Sol 250** de la marca **Baxi** por su notable rendimiento que va a permitir reducir la superficie de captación necesaria, siendo el precio muy competitivo para las características que ofrece. Los criterios que se deben considerar son la ubicación en el emplazamiento de estudio, la inclinación y la orientación de los colectores y el estudio de sombras. Otros aspectos menos relevantes, pero no se deben dejar de considerar especialmente en las instalaciones de gran tamaño son la organización de los colectores para evitar grandes recorridos de los sistemas de distribución, o el emplazamiento del sistema de acumulación debido a las grandes dimensiones y peso de este.

En nuestro caso se ha elegido instalar los colectores en la cubierta principal de la residencia, plana y sin elemento alguno en la misma que pueda perturbar la instalación o su funcionamiento. El único elemento que considerar es el anexo del lateral de la propia residencia, que sobresale 3,5m susceptible de crear sombras sobre la cubierta. Dicha geometría ha sido detallada en el apartado Emplazamiento y será considerada a la hora de planificar la disposición de los colectores sobre la cubierta. Así mismo, estos se colocarán formando un ángulo de  $45^\circ$  con la cubierta, utilizando los soportes que comercializa el mismo fabricante. Por su parte, los depósitos se colocarán en la planta baja debido al peso.



*Figura 25 - Colector solar SOL 250 de Baxi*

## 5.2 CÁLCULOS

### 5.2.1 PÉRDIDAS

Son tres los tipos de pérdidas a considerar a la hora de situar los colectores: Los generadas por desviación respecto al Sur geográfico, considerada la orientación óptima, las pérdidas derivadas de la inclinación respecto al suelo y por último las pérdidas por sombras que puedan generar elementos del entorno de los captadores. El IDAE establece unos límites para estas pérdidas, que deben ser inferiores a lo estipulado en la siguiente tabla.

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

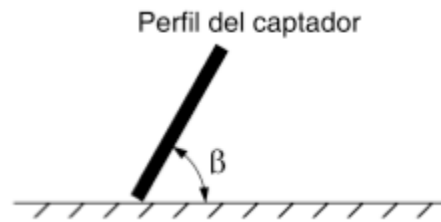
*Tabla 9 - Límites de pérdidas permitidas [IDAE09]*

El caso que concierne a este proyecto es el de Superposición, que hace referencia a la colocación de los colectores de forma paralela a la envolvente del edificio, y en una disposición no horizontal, por lo que las pérdidas de orientación e inclinación deben ser inferiores al 20% y por sombras inferiores al 15%.

#### **Perdidas por orientación e inclinación**

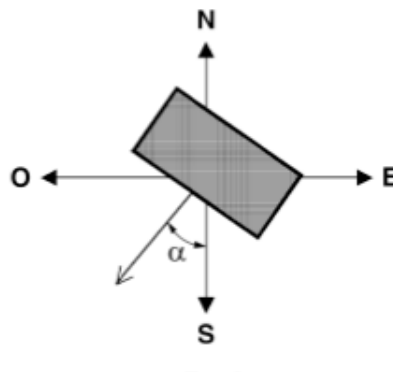
Son dos los factores para tener en cuenta para el cálculo de este tipo de pérdidas.

- Ángulo de inclinación  $\beta$ , hace referencia a la inclinación de la superficie de los captadores respecto a la horizontal. Dicho ángulo varía entre los 0° y 90°. Figura 26



*Figura 26 - Angulo de inclinación  $\beta$*

- Angulo de azimut  $\alpha$ , ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del emplazamiento. Los valores típicos son  $0^\circ$  para captadores orientados al Sur,  $-90^\circ$  para captadores orientados al Este y  $+90^\circ$  para captadores orientados al Oeste. Figura 27



*Figura 27 - Angulo azimut*

La residencia esta orientada ligeramente hacia el SE, con un ángulo de azimut de  $-15^\circ$ , según la Figura 28. Siguiendo el procedimiento estipulado en Pliego de Condiciones Técnicas elaborado por el IDAE, dicha figura es valida para la latitud  $\phi=40^\circ$ , procediendo de la siguiente forma:

- Conocido el ángulo de azimut, determinamos en la Figura 28 los límites de inclinación para la latitud  $\phi=41^\circ$ . Dado que estamos en el caso de superposición, las perdidas máximas son del 20%. Los valores de inclinación máxima y mínima son los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de azimut, en nuestro caso:

Conocido que el ángulo de azimut en nuestro caso es  $-15^\circ$ , y nuestro limite es de 20%, tenemos que fijarnos en el punto de corte de la recta correspondiente a 15 con el borde exterior de la región 80%-90%, obteniendo los valores:

- Inclinación mínima  $\phi=41^\circ$ :  $9^\circ$
- Inclinación máxima  $\phi=41^\circ$ :  $68^\circ$
- Si no hay intersección entre ambas, se considera que las pérdidas son superiores a las permitidas por lo que la instalación no cumpliría con los límites, pero vemos que en nuestro caso si hay intersección por lo que si se cumplen dichos límites. Sin embargo, dado que nuestra latitud es diferente a  $\phi=41^\circ$ , debemos corregir los valores máximos y mínimos, siguiendo las siguientes fórmulas:
  - Inclinación máxima = inclinación ( $\phi=41^\circ$ )– ( $41^\circ$ – latitud) =  $68^\circ$ – ( $41^\circ$  –  $40^\circ$ ) =  $67^\circ$
  - Inclinación mínima = inclinación ( $\phi=41^\circ$ )– ( $41^\circ$ – latitud) =  $9^\circ$ – ( $41^\circ$  –  $40^\circ$ ) =  $0^\circ$  (ya que es el valor mínimo que considerar, no podemos tomar un número negativo)

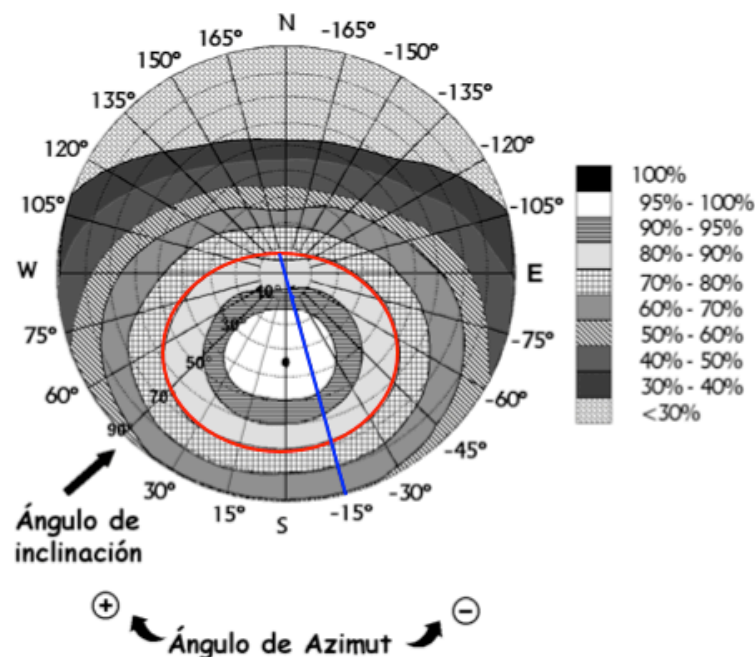


Figura 28 - Pérdidas según el ángulo de azimut y la inclinación [IDAE09]

De esta manera, la inclinación de los colectores  $\beta=45^\circ$  cumple con los requisitos de pérdidas por orientación e inclinación, por lo que no se deberán considerar en los cálculos.

### **Pérdidas por sombra**

Estas pérdidas hacen referencia a las pérdidas de radiación solar de los colectores debido a las sombras producidas por elementos circundantes. Estas pérdidas serán calculadas como un porcentaje, comparando el perfil de los obstáculos con el diagrama de trayectorias aparentes del Sol. En nuestro caso, el único elemento que produce sombra sobre la cubierta es un anexo lateral como se mencionó en el apartado Emplazamiento, pero en el próximo punto se calculará la distancia necesaria a la que debemos colocar los colectores de dicho elemento para evitar las sombras. De esta manera, podemos decir que las pérdidas por sombra son del 0%.

### **Distancia mínima entre filas de captadores**

En este punto calcularemos en primer lugar la distancia a la cual debemos colocar los colectores del muro que crea sombra sobre la cubierta, y después calcularemos la distancia mínima entre filas para garantizar un mínimo de 4 horas de sol entorno al mediodía.

La distancia viene dada por la fórmula

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

*Ecuación 2*

Siendo

*d*: Distancia entre elementos (m)

*h*: Altura del obstáculo (m)

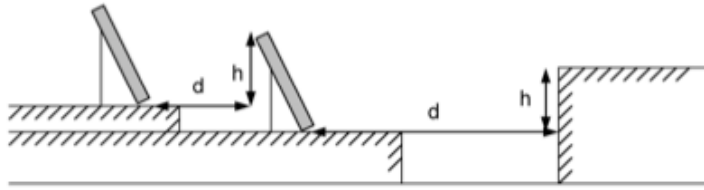


Figura 29 - Ejemplo de las magnitudes  $d$  y  $h$  [IDAE09]

Retomando la Ecuación 2, podemos generalizar para nuestro emplazamiento lo siguiente:

$$d = h / \tan (61^\circ - \text{latitud}) = h / \tan (61^\circ - 40,29^\circ) = h \cdot 2,645$$

Como se muestra en la Figura 14, el muro tiene una altura de 3,5 m por lo que aplicando la fórmula anterior deducimos:

$$d = h \cdot 2,645 = 9,257 \text{ m}$$

Por lo que debemos dejar un mínimo de 9,26 m entre el muro situado en el lateral Oeste de la cubierta y los colectores.

Por otro lado, dado que el modelo elegido de captadores se colocará con una inclinación de  $45^\circ$  respecto a la horizontal, y tienen una longitud de 2,187m, podemos calcular la altura:

$$h = 2,187 * \sin 45^\circ = 1,546 \text{ m}$$

Y podemos calcular la distancia mínima entre filas que será:

$$d = h / \tan (61^\circ - \text{latitud}) = 1,546 \cdot 2,645 = 4,09 \text{ m}$$

De esta manera podemos concluir que las filas de captadores deben estar separadas por un mínimo de 4,1m.

## 5.2.2 HOJA DE CALCULO DEL NÚMERO DE COLECTORES

Para calcular el número de colectores necesarios se ha seguido el método **f-Chart**, creado en 1977 por Beckman, Klein y Duffie para dimensionar sistemas solares térmicos de calefacción y ACS, y es uno de los más extendidos en España por su sencillez ya que utilizando valores medios mensuales y una serie limitada de parámetros del sistema, se obtienen resultados con rapidez y efectividad. La precisión de este método es considerada como suficiente, en una simulación anual, en comparación con otros softwares para determinar los ahorros energéticos mensuales según la contribución solar. En el caso particular de este proyecto se usa una adaptación a través de una hoja de cálculo Excel desarrollada por el ingeniero Luis Javier Mata García y se basa en los cálculos mostrados en el apartado Sistema de captación.

El método cuenta con ciertas limitaciones, como el no incluir el circuito de distribución del sistema, no se contempla alcanzar las temperaturas máximas de los componentes o el hecho de ser necesario incorporar el coeficiente de pérdidas de segundo orden del colector. Los rangos admisibles de los parámetros a utilizar los podemos encontrar en la Tabla 10.

Parámetro	Rango admisible
Eficiencia óptica	$0.6 < (\tau\alpha)_h < 0.9$
Área captación ajustada	$5 < F_R \cdot A_c < 120 \text{ m}^2$
Coefficiente de pérdidas térmicas	$2.1 < U_L < 8.3 \text{ W/m}^2\text{C}$
Inclinación	$30^\circ < \beta < 90^\circ$
Razón de acumulación	$37.5 < V/A_c < 300 \text{ L/m}^2$
Producto del coeficiente de pérdidas térmicas y del área superficial del acumulador	$83 < (UA)_h < 667 \text{ W/C}$

Tabla 10 - Rangos de validez del f-chart para distintos parámetros [IDAE18]

Mediante el uso de esta herramienta, considerando las necesidades energéticas y los mínimos que se deben cubrir, calculamos que 24 colectores son necesarios para satisfacer el 70% de la demanda energética de ACS. Se ha calculado con un margen del 10% respecto al mínimo

exigido, para que juntamente con los ahorros de la piscina climatizada se respete el mínimo establecido del 60%.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal·1000]:	5.338	4.706	5.082	4.794	4.826	4.546	4.569	4.698	4.670	4.954	4.918	5.210	58.311
Ahorros [Kcal·1000]:	2.370	2.834	3.670	3.892	3.778	3.774	4.237	4.341	3.704	2.697	2.543	2.539	40.379
Ahorros [%]:	44,4	60,2	72,2	81,2	78,3	83,0	92,7	92,4	79,3	54,4	51,7	48,7	69,2

*Tabla 11 - Cálculo de porcentaje de ahorro ACS gracias a la energía solar*

En la siguiente etapa se ha calculado el número de colectores necesarios para cubrir un 30% de la demanda energética del sistema de calefacción mediante suelo radiante. En este caso, no existe un porcentaje de ahorro mínimo exigido, pero se ha establecido dicho porcentaje con el objetivo de que el sistema sea viable económicamente, como se estudiará posteriormente. El cálculo establece que 24 colectores son necesarios para cubrir el 30%, como se muestra a continuación.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal·1000]:	20.299	16.095	12.397	7.498	3.564	0	0	0	0	6.198	13.646	19.215	98.912
Ahorros [Kcal·1000]:	2.984	3.639	4.675	4.674	3.519	0	0	0	0	3.054	3.179	3.219	28.943
Ahorros [%]:	14,7	22,6	37,7	62,3	98,7	100,0	100,0	100,0	100,0	49,3	23,3	16,8	29,3

*Tabla 12 - Cálculo de porcentaje de ahorro suelo radiante gracias a la energía solar*

Como se puede observar en la Tabla 12, se ha considerado que, entre los meses de junio y septiembre, el sistema de calefacción por suelo radiante no estará operativo. Los captadores solares que estaban destinados a cubrir la demanda de dicho sistema, serán utilizados para la climatización de una piscina exterior, como se muestra en la siguiente tabla.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	12.960	2.186	6.119	20.464	0	0	0	41.729
Ahorros [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	6.038	2.186	6.119	5.724	0	0	0	20.067
Ahorros [%]:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,6	100,0	100,0	28,0	0,0	0,0	0,0	48,1

*Tabla 13 - Cálculo de porcentaje de ahorro piscina climatizada gracias a la energía solar*

Finalmente, comprobamos como se alcanza la cobertura mínima establecida por el IDAE, cubrir el 60% de la demanda energética del sistema de ACS y la piscina climatizada, gracias a la energía solar.

Necesidades acs+piscina	5.338	4.706	5.082	4.794	4.826	17.507	6.756	10.816	25.134	4.954	4.918	5.210	<b>100.040</b>
Aporte acs+piscina	2.370	2.834	3.670	3.892	3.778	9.812	6.423	10.460	9.428	2.697	2.543	2.539	<b>60.446</b>
Rendimiento acs+piscina	44,39%	60,23%	72,21%	81,19%	78,29%	56,06%	95,08%	96,70%	37,51%	54,44%	51,71%	48,72%	<b>60,42%</b>

Tabla 14 - Cálculo de porcentaje de ahorro conjunto de ACS y piscina climatizada gracias a la energía solar

Sumando los cálculos obtenemos que lo idóneo es la instalación de **48 colectores**, del modelo Sol 250 de la marca Baxi anteriormente mencionado, ya que por un lado se garantiza cubrir los mínimos de demanda para ACS y piscina de manera conjunta el 60%, al mismo tiempo que se cubre el 30% de la demanda energética del sistema de climatización mediante suelo radiante. Cada colector cuenta con una superficie de apertura de  $2,37 m^2$ , siendo la superficie de captación total de  $113,76 m^2$ . De los mismos cálculos podemos deducir que será necesario un sistema de acumulación de 8000L. El resultado de los cálculos para la instalación en su conjunto es el que se puede apreciar en la siguiente figura.

### NECESIDADES Y AHORROS

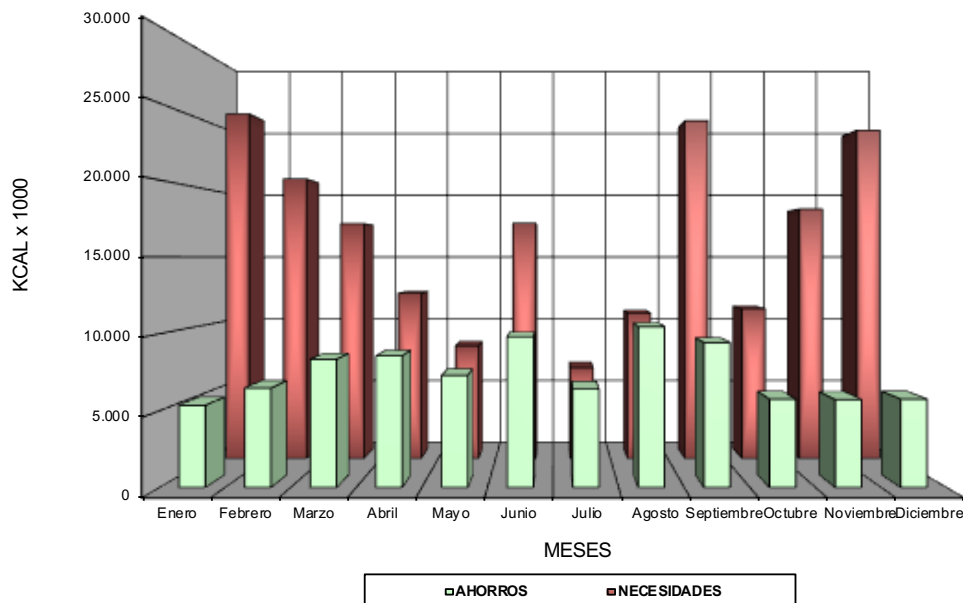


Figura 30 – Gráfico de las necesidades y ahorros del sistema en su conjunto.

### 5.2.3 ESTRUCTURA PARA SOPORTE Y ANCLAJE

En este apartado se detallará el sistema de soporte y anclaje elegido para los colectores, que será el propio de la marca, pero antes de ello es necesario conocer de que forma se van a distribuir los captadores en la cubierta de edificio.

#### Disposición de los captadores

Cada conjunto de captadores que comparte una estructura común de soporte se conoce como batería, y su comportamiento es equivalente a un captador de gran tamaño. En nuestro caso, contaremos con baterías constituidas por 6 captadores, inferior al máximo de 10 que estipula el fabricante, conectados en paralelo interno. El rendimiento del conjunto será igual a la de los captadores de manera individual, y se considerará la temperatura de entrada la misma para todos.

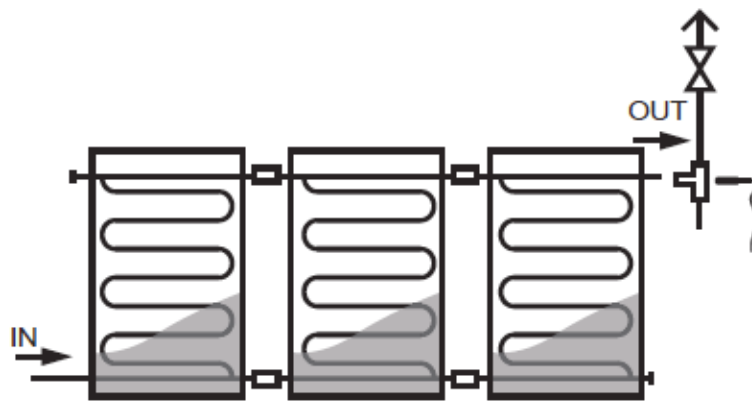
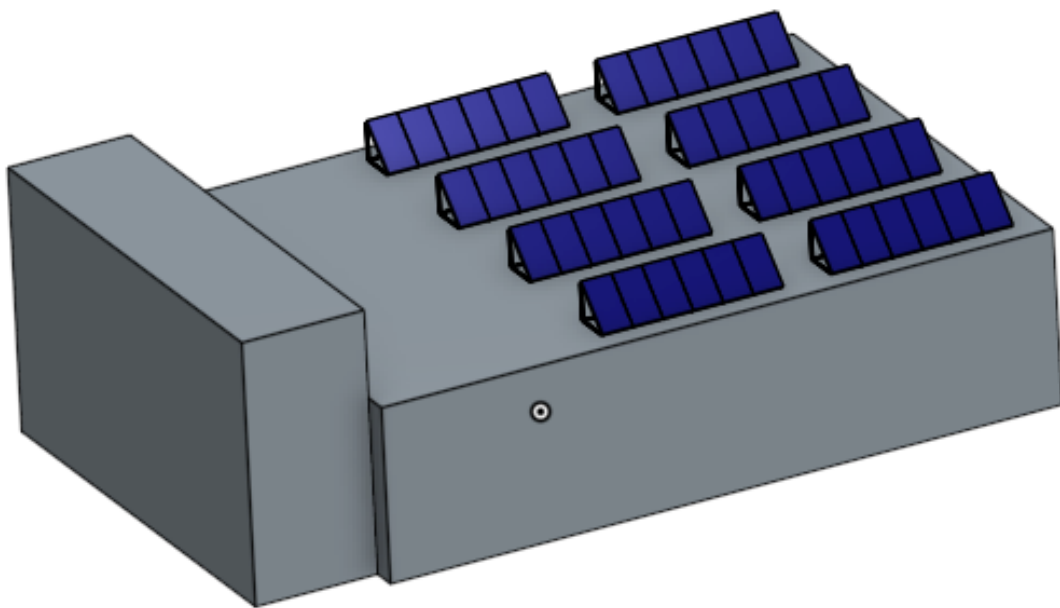


Figura 31 - Ejemplo de batería de 3 captadores en paralelo [BAXI20]

La conexión de las 8 baterías de captadores con las que contará nuestro sistema también se hará en paralelo, ya que la conexión en serie provoca un importante aumento de la temperatura del fluido caloportador, disminuyendo la eficacia global de la instalación. Por ello, al no necesitar altas temperaturas (por ello se ha escogido el suelo radiante como opción de climatización) se ha elegido colocar las baterías de captadores también en paralelo. A

continuación, se muestra la distribución sobre la cubierta. Cada batería de 6 captadores tiene, una vez situada sobre el sistema de soporte una longitud de 7,4m con una base de 1,525m de ancho. El sistema de captación contará con un total de 8 baterías con dichas características, distribuidas de manera simétrica en la cubierta, respetando 9,25m con el muro lateral para evitar las sombras. También se respeta en todo punto una distancia mínima de 1m con el borde de la cubierta.

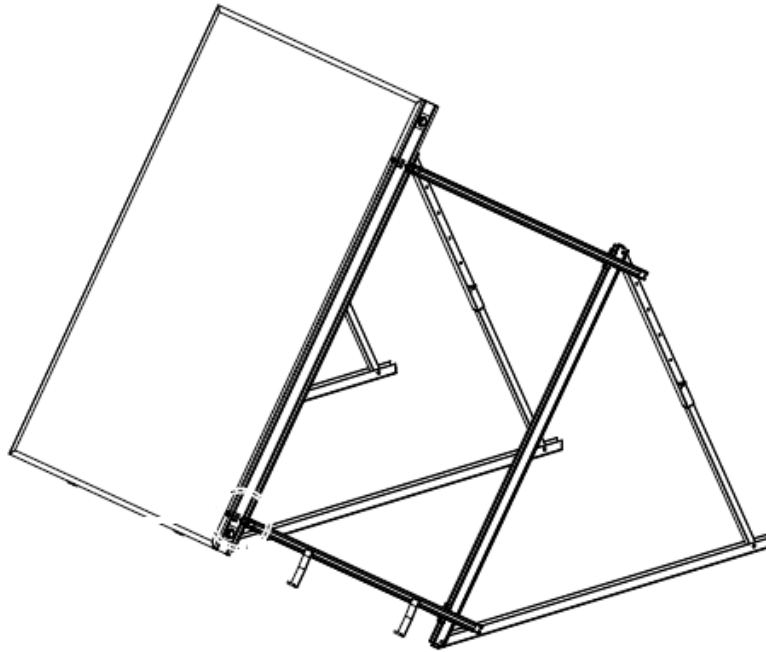


*Figura 32 - Modelo 3D de la disposición de los captadores en la cubierta*

### **Sistema de soporte y anclaje**

Como se ha mencionado anteriormente, se va a utilizar el sistema de soporte de la marca BAXI, específico para los modelos Sol250/200 que se puede ver en la Figura 33. Dichos soportes se entregan premontados, lo que facilita su instalación sobre la cubierta, con un manual y todos los accesorios necesarios para la instalación como tornillos, tuercas y pasadores. El catálogo ofrece soportes individuales, para dos colectores y suplementos a montar a partir del tercer colector. En el caso particular de nuestra instalación, por cada

batería de 6 colectores se montará un soporte para dos colectores y cuatro suplementos. De esta manera, como se ha mencionado en un punto anterior, el sistema de soporte para cada batería de colectores medirá en su base 7,4m de largo y 1,525m de ancho.



*Figura 33 - Soporte para dos colectores planos en cubierta plana [BAXI20]*

El sistema seleccionado debe disponer de la documentación que demuestre que las características de dicha estructura cumplen la normativa vigente, que establece el resistir al peso propio, la sobrecargar por uso y a fenómenos meteorológicos como la carga de nieve o el viento. Así mismo se debe asegurar que las dilataciones térmicas no tendrán una repercusión sobre la estructura, alterando su funcionamiento.

En el caso particular de nuestra instalación, el fabricante establece un valor de máxima carga de nieve  $s_k = 1,9 \text{ kN/m}^2$  y la máxima presión del viento como  $q_p = 1,91 \text{ kN/m}^2$ . Dichos límites de carga máxima son ampliamente superiores a los que establece la normativa en el “Documento Básico SE-AE Seguridad de Estructural: Acciones en la edificación”,

elaborado por la Comunidad de Madrid y que establece un valor de sobrecarga de nieve de  $s_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$  para la ciudad de Madrid como se puede ver en la Tabla 15.

Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante/Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	S. Sebastián/Donosita	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida/Lleida	150	0,5	Sevilla	10	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	<b>Madrid</b>	<b>660</b>	<b>0,6</b>	Tenerife	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense/Ourense	130	0,4	Valencia/València	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	690	0,4
Coruña/A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria/Gasteiz	520	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	650	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Tabla 15 - Sobrecarga de nieve en las capitales de provincia [SEAE09]

El mismo documento establece el valor básico de la velocidad del viento en las distintas zonas geográficas. Dicho valor corresponde a la velocidad media del viento, medida durante 10 minutos en una zona plana y desprotegida frente al viento. Como se puede ver en la Figura 34, Madrid pertenece a la zona A, cuya presión dinámica es  $q_p = 0,42 \text{ kN/m}^2$ , valor inferior al máximo permitido por del sistema de anclaje.



Figura 34 - Valor básico de la velocidad del viento [SEAE09]

De esta manera podemos confirmar que el sistema de soporte elegido cumple las exigencias de la ubicación en la que se va a instalar.

#### **5.2.4 DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES**

- ***FLUIDO CALOPORTADOR***

Este fluido circula por el circuito primario, atravesando los captadores absorbiendo la energía proveniente de la radiación solar, hasta el intercambiador de calor. Dado que el circuito primario es un circuito cerrado, cuyo fluido no se mezcla con el agua de consumo en ningún momento.

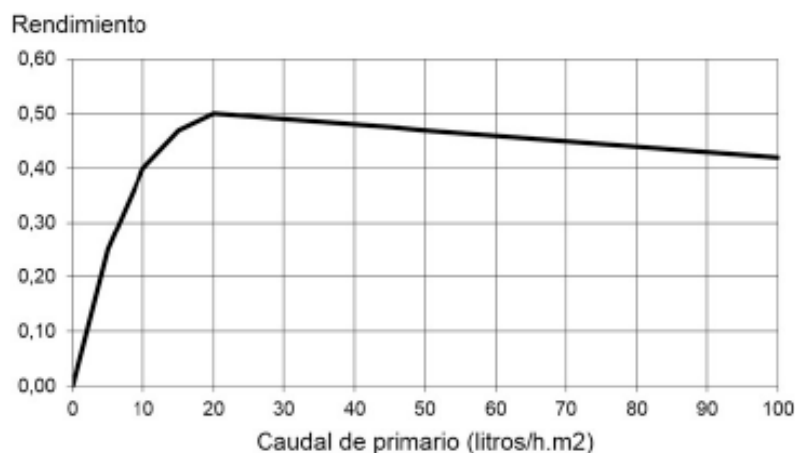
Considerando que dicho fluido debe circular por zonas exteriores del edificio en invierno, las bajas temperaturas en esta época del año que se pueden alcanzar en Madrid pueden llegar a provocar la congelación del fluido, obstaculizando el funcionamiento del sistema. Dicha situación puede empeorar si se producen heladas, que provocarían que la temperatura en las superficies será aún menor. Por ello, lo más común es un fluido caloportador mezcla de agua con anticongelante.

Según datos de *AEMET*, la temperatura mínima absoluta alcanzada en la ciudad de Madrid es de  $-10,1^{\circ}\text{C}$ , alcanzada en el mes de enero de 1945, y con una temperatura media mínima que en los meses de invierno se sitúa entorno a  $+3,4^{\circ}\text{C}$ , se estima conveniente el uso de un fluido caloportador que soporte una temperatura mínima de  $-15^{\circ}\text{C}$ . Se ha escogido el propilenglicol como anticongelante, en particular el líquido solar FAC 10 que propone la misma empresa que fabrica los captadores, ya que además de las propiedades como anticongelante, destaca por la baja toxicidad y los aditivos anticorrosión. Una mezcla de 30% de propilenglicol y 70% de agua a  $20^{\circ}\text{C}$ , cumpliría con los requisitos mínimos de temperatura establecidos para la instalación.

El fluido caloportador, para dicha composición tendría las características que se especifican a continuación, calculadas a partir de las características técnicas proporcionadas por el fabricante y para la proporción de mezcla escogida.

- Densidad:  $1024 \text{ kg/m}^3$
- Calor específico:  $0,92 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$
- Viscosidad:  $0,0055 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

En último lugar es necesario conocer el caudal del circuito primario, que dependerá de los valores recomendados por el fabricante y de las propias características de la instalación. Dicho caudal debe ser definido con el objetivo de minimizar las pérdidas (térmicas y de carga) al mismo que se maximiza el aporte energético de los colectores. Se plantea un intervalo de  $40\text{-}60 \text{ l/h}\cdot\text{m}^2$  como el recomendado, ya que el hecho de adoptar un criterio conservador seleccionando un caudal alto, permite tener margen de seguridad evitando rendimientos menores al estimado en el caso que las pérdidas de carga reales sean superiores a las estimadas.



*Figura 35 - Variación del rendimiento de la instalación con el caudal del circuito primario [IDAE18]*

Por ello, basándose el intervalo proporcionado y en la variación de rendimiento representada en la Figura 35, se establece como caudal  $50 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2$ , y considerando que la superficie de captación de la instalación es de  $113,76 \text{ m}^2$ , el caudal total del circuito primario que será:

$$Q = 5.688 \text{ l/h}$$

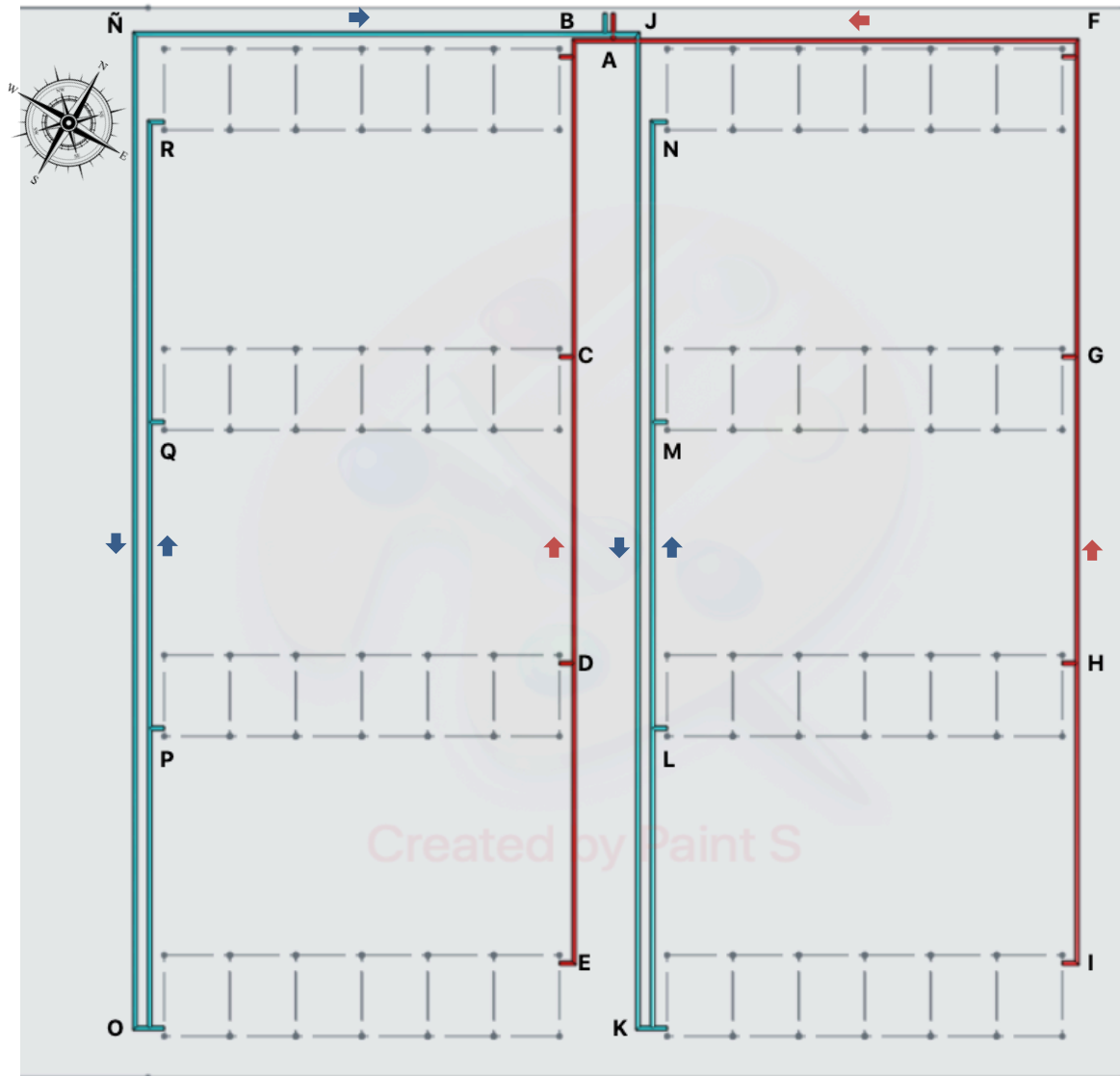
### • **TUBERÍAS**

Dado que el circuito se encuentra en el exterior se ha seleccionado tuberías de **cobre** UNE 1507, que destacan por su durabilidad y fiabilidad, así como la alta resistencia a la corrosión. Dichas tuberías serán “*tubos estirados en frío y uniones por capilaridad (UNE 37153)*”, según se establece en el Pliego de Condiciones Técnicas [IDAE09]

Para el dimensionado de las tuberías se seguirán las leyes de dinámica de fluido y serán varias las limitaciones para tener en cuenta:

- Pérdida de carga lineal en las tuberías inferior a  $40 \text{ mmca/m}$
- Velocidad media inferior a  $2 \text{ m/s}$ , ya que a pesar de situarse en el exterior las tuberías discurren por un entorno habitado.
- Se evitarán los codos en la medida de lo posible y se intentará que las longitudes de tubería sean lo más cortas posible.

Se ha decido que la disposición de las tuberías en la cubierta sea la que se muestra en la Figura 36. Para garantizar una distribución equilibrada del caudal, se ha decidido equilibrar el circuito utilizando el método del retorno invertido, cuyo objetivo es equilibrar las pérdidas de carga asegurando una distribución uniforme obteniendo recorridos de tubería iguales.



*Figura 36 - Disposición del circuito primario en la cubierta del edificio*

Para el dimensionado del tramo de tuberías entre los colectores y el depósito, donde estará integrado el intercambiador de calor, se utilizará la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot s = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Siendo

$v$ : Velocidad media del fluido en un tramo ( $m/s$ )

$D$ : Diámetro interior de la tubería ( $mm$ )

$Q$ : Caudal ( $l/h$ )

Y dicha fórmula la podemos simplificar de la siguiente manera, obteniendo la velocidad del fluido en función del caudal y el diámetro elegido:

$$Q = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow v = 1,273 \cdot \frac{Q}{D^2}$$

Por otro lado, retomaremos la Ecuación 1 presentada en el apartado de Cálculo de pérdida de carga en los conductos, para asegurarse de que no se supera el valor máximo de pérdida de carga en ninguno de los diferentes tramos. Así mismo, se distingue el diámetro proporcionado por el fabricante del diámetro interior, el que se utilizará en los cálculos obtenido considerando el espesor de la tubería igualmente proporcionado por el fabricante.

	Tramo	Longitud (m)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Caudal (l/h)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (mmca)	Pérd. unitarias (mmca/m)
<i>Circuito agua caliente</i>	AB	0,73	42	41	2844	0,599	12,52292884	17,15469704
	BC	5,61	35	34	2133	0,653	141,5472996	25,2312477
	CD	5,61	28	27	1422	0,690	208,1080411	37,0959075
	DE	5,61	22	21	711	0,571	204,1374092	36,38812998
	AF	8,66	42	41	2844	0,599	148,5596764	17,15469704
	FG	5,61	35	34	2133	0,653	141,5472996	25,2312477
	GH	5,61	28	27	1422	0,690	208,1080411	37,0959075
	HI	5,61	22	21	711	0,571	204,1374092	36,38812998
<i>Circuito agua fría</i>	AJ	0,73	42	41	2844	0,599	12,52292884	17,15469704
	JK	18,6	42	41	2844	0,599	319,077365	17,15469704
	KL	5,61	35	34	2133	0,653	141,5472996	25,2312477
	LM	5,61	28	27	1422	0,690	208,1080411	37,0959075
	MN	5,61	22	21	711	0,571	204,1374092	36,38812998
	AÑ	8,66	42	41	2844	0,599	148,5596764	17,15469704
	ÑO	18,6	42	41	2844	0,599	319,077365	17,15469704
	OP	5,61	35	34	2133	0,653	141,5472996	25,2312477
	PQ	5,61	28	27	1422	0,690	208,1080411	37,0959075
	QR	5,61	22	21	711	0,571	174,967421	31,1884886
							3146,320952	

*Tabla 16 - Cálculo de los distintos tramos de tuberías del circuito primario en la cubierta del edificio*

Considerando que el acumulador y fuente de energía auxiliar se situaran en la planta baja del edificio, en la sala de calderas, es necesario dimensionar un tramo vertical de tuberías, desde la base del edificio donde se encuentra la sala de calderas hasta la cubierta.

Vertical frío	7	54	52,8	5688	0,722	121,4774796	17,35392565
Vertical caliente	7	54	52,8	5688	0,722	121,4774796	17,35392565
						242,9549591	

*Tabla 17 - Cálculo de los distintos tramos de tuberías en el lateral del edificio*

Finalmente, el montaje y unión de los distintos tramos de tuberías se realizará mediante soldadura fuerte en las tuberías por las que circule el agua caliente y soldadura blanda para los tramos de agua fría, ayudándose de los accesorios que se muestran en la Tabla 18. Cuatro de los codos corresponden a las tuberías verticales, para cambiar del plano horizontal a vertical en la cubierta, y pasar del plano vertical a horizontal en la planta inferior del edificio, por lo que no pueden apreciarse en la Figura 36.

<b>Tipo accesorio</b>	<b>Cantidad</b>
<i>Codo</i>	14
<i>Te (y Te reductora)</i>	14

*Tabla 18 - Accesorios circuito primario*

- ***AISLAMIENTO***

Como se ha presentado anteriormente, el RITE exige la incorporación de aislamiento a las tuberías, como esta estipulado en la Tabla 6. Considerando los diámetros seleccionados para los distintos tramos del circuito y los espesores mínimos establecidos en dicha tabla, basándonos en la temperatura a la cual circulará el fluido, podemos afirmar:

- En los tramos con diámetro menor a 35mm se utilizará un aislamiento de 35mm.
- En los tramos con diámetro mayor a 35mm se utilizará un aislamiento de 40mm.

Se ha elegido un aislamiento de la marca Armacell, en particular se ha escogido un aislante en forma de coquilla, de la gama Armaflex creada de acuerdo con el reglamento RITE. Este aislamiento térmico de espuma elastomérica de célula cerrada, cuenta con un recubrimiento

de copolímero de poliolefina que sirve de protección, resistente a la radiación UV, por lo que su uso está especialmente recomendado para el exterior de edificios.

- ***INTERACUMULADOR***

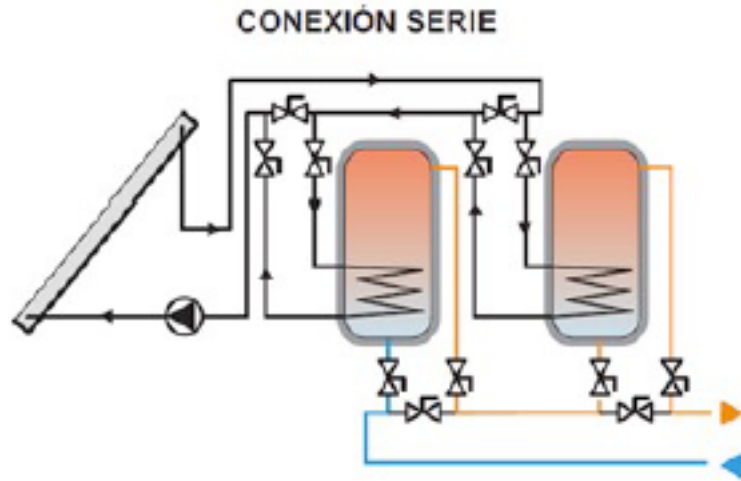
Como se ha calculado previamente, se estima que para la superficie de captación del sistema será necesario un volumen de acumulación de 8000L. Siguiendo las recomendaciones de la guía solar térmica elaborada por el IDAE, se utilizarán dos interacumuladores iguales, de 4000L cada uno, garantizando la desconexión individual sin interrumpir el funcionamiento de la instalación. Serán conectados en serie de manera invertida, como se muestra en la Figura 37 ya que esto maximiza la estratificación del conjunto, y se hará de la siguiente forma:

Acumulador más próximo al circuito secundario:

- Entrada de agua caliente proveniente del sistema de captación en el lateral, directamente al serpentín.
- Salida en la parte lateral inferior (salida del serpentín), hacia el segundo acumulador.
- Salida del agua caliente en la parte superior hacia el circuito de distribución.

Acumulador más próximo al sistema de captación:

- Entrada de agua caliente proveniente del primer acumulador en el lateral, directamente al serpentín.
- Salida de agua en la parte lateral inferior (salida del serpentín), de nuevo hacia el sistema de captación.
- Salida del agua caliente en la parte superior hacia el circuito de distribución.
- Entrada de agua de retorno del circuito de distribución (agua fría de la red en el caso de ACS) en el lateral inferior.



*Figura 37 - Conexión de dos intercambiadores en serie invertida [IDAE18]*

Los depósitos contarán con un intercambiador de calor incorporado, en la forma de serpentín cuya potencia nominal será de 0,7 kW por metro cuadrado de superficie de captación, por lo que en nuestro caso:

$$P_{nom} = 0,7 \text{ kW/m}^2 \cdot S = 79,63 \text{ kW}$$

Y el valor de mínimo será el 75% de dicho valor, por lo que la potencia del intercambiador será como mínimo de **59,724 kW**.

Se ha elegido el modelo **MVV-4000-SV** de la marca Junkers. Este depósito este fabricado en acero vitrificado, con un intercambiador interior en la forma de serpentín de acero inoxidable, con una superficie de intercambio sobredimensionada acorde a las exigencias del CTE. Igualmente de acuerdo con el reglamento cuenta con una boca de hombre DN-400 y un aislamiento de un espesor de 80mm. Como se ha mencionado anteriormente, serán necesarios dos depósitos conectados en serie, con las siguientes características a considerar:

- Temperatura máxima de acumulación: 90°C
- Presión máxima de acumulación: 8 bar

- Temperatura máxima en el circuito primario: 200°C
- Presión máxima en el circuito primario: 25 bar
- Conductividad térmica:  $0,025 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- Intercambiadores: 8
- Volumen serpentín: 31,4 l
- Superficie intercambio:  $6,7 \text{ m}^2$
- Peso en vacío: 1040 kg
- Pérdidas de energía:  $6,6 \text{ kW} \cdot \text{h/d}$

Como se aprecia en la figura se utilizan válvulas de corte que permiten cortar el caudal en cualquier momento en el caso que se produzcan daños o alteraciones en el sistema.



Figure 38 - Acumulador solar MVV - 4000 -SB

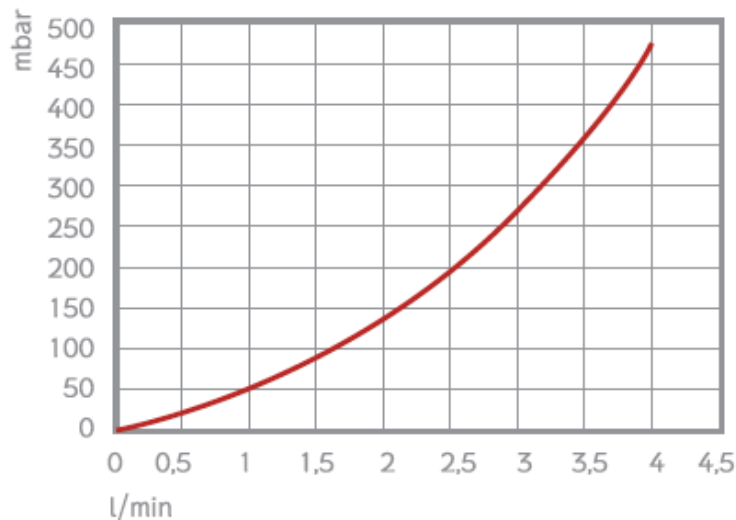
### • **BOMBA DE CIRCULACIÓN**

Este elemento es fundamental para el funcionamiento de un sistema de circulación forzada, ya que su función es mantener la caída de presión en valores aceptablemente bajos. Para evitar el funcionamiento a temperaturas muy elevadas, se colocará de manera preferente en las zonas más frías del circuito primario, en nuestro caso a la salida del depósito acumulador

con el eje de rotación en horizontal. Según establece el Pliego de Condiciones Técnicas, en instalaciones cuya superficie de captación sea superior a  $50 \text{ m}^2$  como es nuestro caso, se utilizarán dos bombas en paralelo que funcionarán de manera alternativa, dejando una de ellas en la reserva [IDAE09]. Además, en ningún caso la potencia de las bombas sobrepasará el 1% la potencia térmica nominal de la instalación.

Para la correcta elección de las bombas, debemos calcular previamente la pérdida de carga total de nuestra instalación, que será la suma de las pérdidas de cargas de las tuberías y otros elementos del circuito hidráulico, las pérdidas de carga en los colectores y la pérdida de carga en el intercambiador.

En primer lugar, las pérdidas de carga en los colectores son un dato proporcionado por el fabricante, según la siguiente gráfica.



*Figura 39 - Pérdidas de carga en un colector solar Sol 250 [BAXI20]*

Conociendo que el caudal por colector es de  $118,5 \text{ l/h}$ , que es lo mismo que  $1,975 \text{ l/min}$ , lo que significa unas pérdidas de por batería de 125 mbar. Esto se ha calculado a partir de el dato de pérdida de carga individual por colector proporcionado por el fabricante, ya que, al

estar situados en paralelo, la pérdida de carga en una batería equivale a la de un colector individual.

$$\Delta P_{colec} = 1,275 \text{ m. c. a}$$

En segundo lugar, las pérdidas en el intercambiador vienen dadas por el fabricante. En nuestro caso particular, el fabricante no proporciona las pérdidas, pero sí se especifica que el intercambiador cumple las exigencias del CTE, donde se indica que la pérdida de carga de diseño debe ser menor a 20 kPa, cifra que tomaremos en cuenta.

$$\Delta P_{inter} = 2 \text{ m. c. a}$$

Por último, se deben calcular las pérdidas de carga en las tuberías. Dicho dato ha sido previamente calculado en el apartado dedicado a dimensionar las tuberías, sin embargo, en dichos cálculos no se ha tenido en cuenta las pérdidas de carga en elementos singulares de la instalación. Para ello utilizaremos el método de longitud equivalente presentado en el punto Cálculo de pérdida de carga en los conductos, retomando la hoja de Excel utilizada para modelizar el diámetro y las longitudes del circuito primario, cuyo resultado podemos ver a continuación. Dada la simetría de la instalación, se hacen los cálculos para la mitad del circuito de agua caliente y la mitad del circuito de agua fría, y después se multiplican por dos. Se han considerado térs, reducciones y codos, incluido los 4 codos utilizados para acoplar las tuberías verticales.

	Tramo	Diámetro interior (mm)	L. equivalente (m)	Caudal (l/h)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (mmca)	Pérd. unitarias (mmca/m)
Circuito agua caliente	Codo B	41	1,32	2844	0,599	22,6442001	17,15469704
	Te B+reduc	41	1,5	2844	0,599	25,73204557	17,15469704
	Te C+reduc	34	1,25	2133	0,653	31,53905962	25,2312477
	Te D+reduc	27	0,95	1422	0,690	35,24111213	37,0959075
	Codo E	21	0,63	711	0,571	22,92452189	36,38812998
	Codo vertical	52,8	1,71	5688	0,722	29,67521287	17,35392565
Circuito agua fría	Codo J	41	1,32	2844	0,599	22,6442001	17,15469704
	Codo K	41	1,32	2844	0,599	22,6442001	17,15469704
	Te K+reduc	41	1,5	2844	0,599	25,73204557	17,15469704
	Te L+reduc	34	1,25	2133	0,653	31,53905962	25,2312477
	Te M+reduc	27	0,95	1422	0,690	35,24111213	37,0959075
	Codo N	21	0,63	711	0,571	22,92452189	36,38812998
	Codo vertical	52,8	1,71	5688	0,722	29,67521287	17,35392565
	Te A	52,8	5	5688	0,722	86,76962826	17,35392565
						444,9261327	
				Considerando la simetría		889,8522654	

Tabla 19 - Pérdida de carga en puntos singulares del circuito primario

Ahora ya se conocen todos los datos necesarios para calcular la pérdida de carga total en el circuito primario, las pérdidas de carga en puntos singulares 0,889 m.c.a, en las tuberías de la cubierta, 3,146 m.c.a y en las tuberías verticales, 0,242 m.c.a.

$$\Delta P_{tub} = 4,277 \text{ m. c. a}$$

De esta forma, las perdidas de carga totales pueden ser calculadas como la suma de las halladas anteriormente:

$$\Delta P = \Delta P_{colec} + \Delta P_{inter} + \Delta P_{tub} = 7,552 \text{ m. c. a} = 74,06 \text{ kPa}$$

Y la potencia mínima que debe suministrar la bomba elegida vendrá dada por dichas pérdidas y el caudal que la atraviesa, con lo que podemos calcular:

$$P = \Delta P * Q = 117 \text{ kW}$$

Considerando el caudal total del circuito, de  $Q = 5.688 \text{ l/h}$ , que la bomba se sitúa con un salto  $H = 7\text{m}$  respecto a la superficie de colectores y la potencia necesaria previamente calculada, se han escogido dos bombas que funcionaran en paralelo de manera alternativa del grupo **Grundfos**, modelo **MAGNA1 25-120**.



*Figura 40 - Bomba de circulación MAGNA1 25-120*

### • **PURGADORES Y DESAIRADORES**

Los purgadores se utilizan en el circuito primario con la finalidad de evacuar las posibles burbujas de aire que se formen en la instalación, evitando la retención de vapor en el interior. De manera general se recomienda evitar el uso de purgadores automáticos ya que pueden provocar fugas de fluido en casos de vaporización, por ello se utilizará un sistema de purga manual. Se recomienda acompañarlo de una válvula de corte y situarlo en zonas más altas del circuito, más susceptibles a la formación de microburbujas. Los purgadores serán acompañados de un botellín de desaireación.

En nuestra instalación se instalarán a la salida de cada batería de captadores, sumando en total 8 sistemas de purga “Purgador boya altas temperaturas”.

- ***DEPOSITO DE EXPANSIÓN***

La función del vaso de expansión es de absorber las variaciones de volumen que se producen en el circuito primario, un circuito cerrado, debido a las importantes variaciones de presión y temperatura. El depósito actúa absorbiendo las variaciones de volumen de fluido en su interior evitando el aumento de la presión en las tuberías y se situará en la aspiración de la bomba de circulación.

La elección del depósito de expansión se hará acorde a la norma UNE 100155, “Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión”. Dicha norma estipula que el volumen de dicho depósito se calcula según la siguiente formula:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p$$

*Ecuación 3*

Siendo

$V_t$ : Volumen total del vaso de expansión (l)

$V$ : Volumen total de fluido en el circuito primario (l)

$C_e$ : Coeficiente de expansión

$C_p$ : Coeficiente de presión

En primer lugar, será necesario calcular el volumen total de fluido en el circuito primario, que será la suma de:

- Volumen en los colectores: El volumen de cada colector según esta especificado en el catálogo es de 2,3l, por lo que en total será de **110,4l**.
- Volumen en el sistema de intercambio: Cada depósito cuenta con un intercambiador, que según es especificado por el fabricante tiene un volumen de 31,4l. El sistema cuenta con dos interacumuladores cada uno con un serpentín por lo que el volumen total será de **62,8l**.

- Volumen en las tuberías: El calculo se realizará tramo por tramo considerando el diámetro interior y la longitud. El volumen total en las tuberías es de **145,55l** como se puede ver en la siguiente tabla.

	Tramo	Longitud (m)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Volumen (l)
<b>Circuito agua caliente</b>	AB	0,73	42	41	0,9638
	BC	5,61	35	34	5,0934
	CD	5,61	28	27	3,2120
	DE	5,61	22	21	1,9431
	AF	8,66	42	41	11,4334
	FG	5,61	35	34	5,0934
	GH	5,61	28	27	3,2120
	HI	5,61	22	21	1,9431
<b>Circuito agua fría</b>	AJ	0,73	42	41	0,9638
	JK	18,6	42	41	24,5567
	KL	5,61	35	34	5,0934
	LM	5,61	28	27	3,2120
	MN	5,61	22	21	1,9431
	AÑ	8,66	42	41	11,4334
	ÑO	18,6	42	41	24,5567
	OP	5,61	35	34	5,0934
	PQ	5,61	28	27	3,2120
	QR	5,61	22	21	1,9431
	Vertical frío	7	54	52,8	15,3269
	Vertical caliente	7	54	52,8	15,3269
					<b>145,5559</b>

*Tabla 20 - Cálculo del volumen de fluido en los distintos tramos de tubería*

En total obtenemos un volumen en el circuito primario de: **V=318,75l**

A continuación, se calculará el coeficiente de expansión, utilizando la siguiente formula:

$$C_e = (-1,75 + 0,034 \cdot T + 0,0036 \cdot T^2) \cdot 10^{-3}$$

La única variable es la temperatura máxima de funcionamiento del sistema, que en nuestro caso se ha fijado en 130°C. Para dicho valor, se puede calcular  $C_e = 0,06351$ . Se debe considerar que el fluido que circula por el circuito primario no es solo agua, sino una mezcla

con anticongelante, por lo que debemos aplicar un factor de corrección según lo establecido en la Tabla 21. De esta forma, se obtiene como valor final  $C_e = 0,0768$

t (°C)	G = 20%	G = 25%	G = 30%	G = 35%	G = 40%	G = 45%	G = 50%
30	1,59	2,04	2,13	2,14	2,17	2,28	2,51
35	1,54	1,96	2,03	2,02	2,05	2,15	2,36
40	1,49	1,88	1,94	1,93	1,94	2,03	2,24
45	1,45	1,81	1,86	1,84	1,85	1,93	2,13
50	1,41	1,75	1,79	1,76	1,77	1,85	2,03
55	1,38	1,70	1,73	1,69	1,69	1,77	1,95
60	1,35	1,65	1,67	1,63	1,63	1,70	1,87
65	1,32	1,61	1,62	1,58	1,57	1,63	1,80
70	1,29	1,57	1,57	1,53	1,52	1,58	1,74
75	1,27	1,53	1,53	1,48	1,47	1,53	1,68
80	1,24	1,50	1,49	1,44	1,42	1,48	1,63
85	1,22	1,46	1,45	1,40	1,38	1,43	1,58
90	1,20	1,43	1,42	1,36	1,34	1,39	1,53
95	1,18	1,41	1,38	1,33	1,31	1,36	1,49
100	1,17	1,38	1,35	1,30	1,28	1,32	1,45
105	1,15	1,36	1,33	1,27	1,25	1,29	1,42
110	1,13	1,33	1,30	1,24	1,22	1,26	1,38
115	1,12	1,31	1,28	1,21	1,19	1,23	1,35
120	1,10	1,29	1,25	1,19	1,16	1,20	1,32
125	1,09	1,27	1,23	1,17	1,14	1,18	1,29
130	1,08	1,25	1,21	1,14	1,12	1,15	1,27

Tabla 21 - Factor de corrección para el coeficiente de expansión [UNE]

Solo falta por calcular el coeficiente de presión, que se rige por la siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} = 1,052$$

Siendo

$P_M$ : La presión máxima de la instalación, 10 bar en nuestro caso (presión máxima soportada por los colectores).

$P_m$ : La presión mínima de la instalación, 0,5 bar en nuestro caso (presión de llenado).

Una vez conocemos todos los datos, podemos retomar la Ecuación 3 y calcular:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p = 318,75 * 0,0768 * 1,052 = 25,78l$$

Se ha escogido un modelo de 35 litros, para asegurar un margen de seguridad suficiente. En particular el modelo 35 SMR-P especialmente diseñado para instalaciones de energía solar, cuya ficha técnica se puede encontrar en el anexo.



*Figura 41 - Vaso de expansión 35 SMR-P*

### • ***SUBCONJUNTO DE REGULACIÓN Y CONTROL***

La función del sistema de control es de maximizar el rendimiento del sistema, asegurando el correcto funcionamiento, protegiendo de averías y procurando el buen aprovechamiento de la energía, incluyendo el uso adecuado del sistema auxiliar. Para todo ello, serán dos los sistemas a utilizar:

- Control de funcionamiento del sistema primario.
- Sistema de protección y seguridad.

El sistema de control debe vigilar que no se superen las temperaturas máximas soportadas por los distintos elementos, mediante un sistema de control diferencial que medirá el salto de temperatura del fluido caloportador entre la salida de la batería de colectores y la de los

interacumuladores. El primer sensor de temperatura se situará utilizando una vaina de inmersión a la salida de una batería de captadores que sea representativa, pudiéndose modificar en el futuro. El segundo sensor se situará en el en la zona media del intercambiador, en el interior del depósito.

Según establece la norma, el sistema actuará sobre el funcionamiento de las bombas asegurando que no estén en marcha cuando el salto de temperatura sea inferior a 2°C y que estén funcionando cuando dicha diferencia supere los 7°C, lo que garantiza que la temperatura en los colectores es suficiente para que el aporte de energía sea efectivo. Este régimen de histéresis además protege las bombas, evitando que se estén encendiendo y apagando constantemente. Dado que la instalación tiene tres aplicaciones distintas, cada una de ellas contará con un sistema individual para ponerla en marcha complementado por otro que controle el aporte de energía del equipo auxiliar. Esto se hará controlando el caudal regulando una válvula de tres vías.

El sistema de monitorización es de obligada instalación para instalación con una superficie de captación mayor a 20 m<sup>2</sup>, como es el caso, y su función es de proporcionar información de la situación de la instalación en distintos puntos. El Pliego de Condiciones Técnicas establece que la toma de medidas se debe realizar cada minuto, los valores medios deben ser registrados cada 10 minutos y los datos registrados deben ser almacenados como mínimo durante un año. Como mínimo se deben medir las siguientes variables, que permitirán el cálculo de la energía solar térmica:

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

Se ha escogido el modelo **CS 200** de la marca Junkers junto con el módulo **MS 200**, una centralita preparada para la gestión de ACS, apoyo a la calefacción y calentamiento de piscina.



*Figura 42 - Sistema de control CS 200*

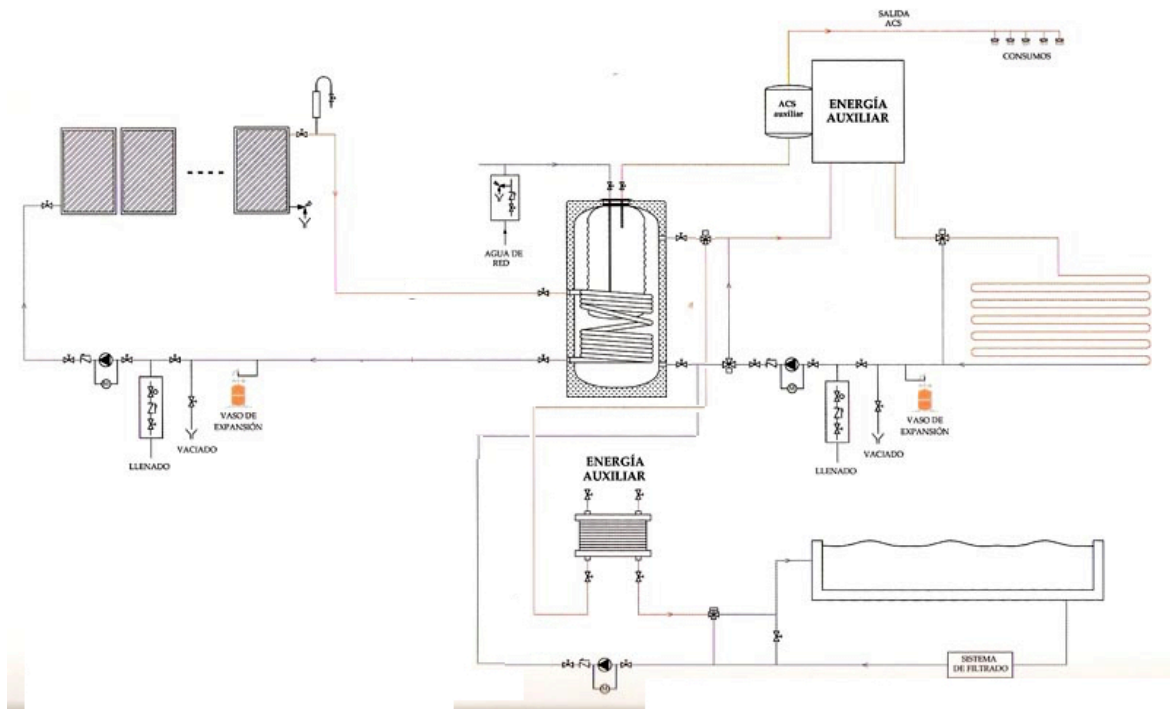
- ***CONEXIÓN CON EL SISTEMA CONVENCIONAL***

Hasta este momento se han detallado todos los componentes del circuito hasta los interacumuladores, por lo que falta detallar la conexión con el sistema convencional. Esto se hará en la planta baja del edificio, en la sala de calderas donde están situados los dos depósitos interacumuladores y de la siguiente forma:

- Circuito secundario, formado por una tubería desde los depósitos hasta un sistema de energía auxiliar convencional, que funcionará con gas natural, aprovechando el sistema actual. De este sistema partirá por un lado el circuito de distribución de ACS hacia el consumo y por otro lado mediante una válvula de tres vías, accionada por el sistema eléctrico para restringir su uso en los meses de verano, el circuito del sistema de climatización por suelo radiante. Este circuito, será un circuito cerrado que contará con otra bomba de circulación, un vaso de expansión y un sistema de llenado y vaciado, mientras que el circuito de ACS contará con una entrada de agua fría de la red.
- Circuito secundario para la piscina a partir de una válvula de tres vías en el circuito secundario de ACS y calefacción, antes del sistema auxiliar. Dicha válvula será controlada por el sistema eléctrico de forma que solo sea activada

en los meses en los que no se haga uso del sistema de climatización por suelo radiante. Este circuito también será cerrado, y contará con su propia bomba de circulación y sistema de energía auxiliar.

A continuación, se muestra el esquema de conexión con el circuito convencional que se ha elegido y explicado previamente para nuestra instalación, teniendo en cuenta que nuestra instalación cuenta con dos interacumuladores conectados en serie y no solo uno como en la Figura 43.



*Figura 43 - Esquema de conexión con el circuito convencional*

### • **OTROS ELEMENTOS**

Siguiendo las recomendaciones del IDAE, se complementará el circuito con diversos elementos de valvulería como:

### Válvula de corte

Su función es de aislar los diferentes componentes del circuito para poder realizar el mantenimiento sin tener que parar y vaciar el circuito. Las válvulas serán instaladas en:

- Entrada y salida de cada batería de colectores
- Entrada y salida de los interacumuladores y bombas
- Entrada y salida del circuito de distribución y consumo
- Entrada y salida del sistema de captación solar, para aislarla del sistema de apoyo

### Válvula de retención

Más comúnmente conocidas como válvula antirretorno, evitan que el fluido circule en sentido contrario al deseado. Se instalarán en los siguientes puntos:

- Entrada de agua fría de red al acumulador
- Impulsión de cada bomba

### Válvula de seguridad

Se instalará en cada circuito cerrado, tarada a la máxima presión que puede soportar el elemento con la mínima presión máxima. Se instalará en una zona próxima al vaso de expansión, en la zona fría del circuito, asegurando que en caso de descarga no provoque daños.

<b>Elemento</b>	<b>Presión máxima</b>
<b>Captadores</b>	10 bar
<b>Acumulador</b>	8 bar
<b>Bomba</b>	10 bar
<b>Vaso expansión</b>	10 bar

*Tabla 22 - Presión máxima soportada por los distintos componentes*

Basándose en la tabla previa, la válvula debe ser tarada en 8 bar.

### **Válvula de vaciado**

Sistema de drenaje que permite vaciar la instalación de manera parcial o total, según la sectorización elegida a la hora de disponer las válvulas de corte. Una válvula se situará en el circuito primario dado que se utiliza un líquido anticongelante, se conducirá el fluido a un depósito que permitan su recogida y posterior llenado. Una segunda válvula se instalará en el secundario, y se conducirá el líquido al sistema de desagüe de la residencia. De manera general se instalarán en las zonas más bajas del circuito.

### **Sistema llenado**

Se incluirá un sistema de llenado en cada circuito, formado por un reductor de presión, filtro válvula de retención y contador de caudal. En el primario dado que requiere anticongelante, el sistema debe permitir en primer lugar hacer la mezcla y después introducirla en el circuito. El circuito secundario considerando que trabaja con agua el llenado se hará directamente desde la red.

## **Capítulo 6. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA**

Este capítulo está destinado a analizar la viabilidad económica del proyecto, una vez se ha analizado la viabilidad técnica del mismo. Dicho análisis es de gran importancia ya que, aunque un proyecto cumpla las exigencias técnicas si no es rentable difícilmente podrá llevarse a cabo. Nos encontramos ante un proyecto energético de producción de calor cuya finalidad es satisfacer unas necesidades de confort, lo que provoca solo gastos a lo largo de la vida útil de la instalación. Esto provoca que no se puedan utilizar los índices de rentabilidad con los que estamos acostumbrados a tratar, por lo que nos limitaremos a comparar los costes de dos soluciones técnicas distintas, el sistema de gas natural actual y el nuevo sistema solar.

Para poder realizar el análisis de la viabilidad es necesario en un primer momento calcular la inversión inicial para instalar y poner en funcionamiento el sistema, así como los gastos anuales para mantenerla en funcionamiento.

### **6.1 INVERSIÓN Y GASTOS**

En primer lugar, se debe contabilizar el coste de compra de los diferentes componentes de la instalación.

Componente	Modelo	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Colector Solar	SOL 250 Baxi	48	503,68 €	24.176,64 €
Sistema soporte y anclaje	Soporte doble	8	298,00 €	2.384,00 €
	Complemento	32	134,00 €	4.288,00 €
Interacumulador	MVV-400-SV	2	6.755,75 €	13.511,50 €
Bomba	MAGNA1 25-120	2	690,25 €	1.380,50 €
Vaso de expansión	35 SMR-P	1	77,54 €	77,54 €
Sistema control	CS200+MS200	1	360,00 €	360,00 €
Tuberías de cobre	D. 22mm	22,4	4,41 €	98,78 €
	D. 28mm	22,4	5,33 €	119,39 €
	D. 35mm	22,4	7,60 €	170,24 €
	D. 42mm	55,98	9,99 €	559,24 €
	D. 54mm	14	11,36 €	159,04 €
Aislamiento	D. 22mm	22,4	7,47 €	167,33 €
	D. 28mm	22,4	8,76 €	196,22 €
	D. 35mm	22,4	9,87 €	221,09 €
	D. 42mm	55,98	14,56 €	815,07 €
	D. 54mm	14	16,79 €	235,06 €
Líquido anticongelante	FAC 10 BAXI	95,625	6,80 €	650,25 €
Valvulería	Diversos elementos	1	250,00 €	250,00 €
Purgador	Boya alta temperatura	8	14,00 €	112,00 €
				<b>49.931,90 €</b>

*Tabla 23 - Coste de los diferentes componentes de la instalación solar*

El gasto de compra de los diferentes elementos del sistema asciende a **49.931,90€**.

Es igualmente necesario considerar el coste del transporte, mano de obra de la instalación, así como gastos derivados de la redacción y supervisión del proyecto. Dicho gasto se estimará en un 5% del coste de los diferentes elementos de la instalación, por lo que el gasto de instalación asciende a **2.500€**.

Por último, la instalación tendrá asociados unos costes anuales, correspondientes al mantenimiento y aportación eléctrica necesaria para el funcionamiento de los distintos elementos. Se establece que el coste de mantenimiento anual nunca será superior a 1.000€. En cuanto a los elementos que requieren electricidad para su funcionamiento encontramos:

- Bomba electrocirculadora, con una potencia de 180W
- Sistema de regulación y control, con una potencia de 5W

Lo que supone 185W, y considerando el precio de 0,119893 €/kWh fijado por Endesa en su tarifa de luz estándar, en Julio de 2019, el gasto anual sería de 194,30€, y sumado al mantenimiento haría un total de **1.194,30€**.

Podemos concluir que la instalación solar térmica requiere una inversión inicial de **52.431,90€** y unos gastos anuales de **1.194,30€**.

## **6.2 ESTUDIO ECONÓMICO**

Este análisis se va a basar en tres indicios que se consideran los más importantes a la hora de valorar el factor económico de los proyectos: el valor actual neto (VAN), la tasa interna de rentabilidad (TIR) y el periodo de retorno (PR), que se deducen a partir del flujo de caja.

En primer lugar, calcularemos el VAN que representa la rentabilidad absoluta de nuestro proyecto, por lo que este será rentable cuando el VAN sea positivo. Lo haremos mediante la siguiente formula:

$$VAN = \frac{FC_1}{(1+d)^1} + \frac{FC_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{FC_N}{(1+d)^N} - INV$$

Siendo

*FC*: El flujo de caja, que en el caso de nuestro proyecto coincide con el ahorro anual (considerando los gastos de mantenimiento) gracias al uso de la instalación térmica solar respecto a un sistema convencional de gas natural.

*d*: Tasa de descuento anual, que puede ser calculada a partir del WACC (Weighed Average Capital Cost), que indica la rentabilidad mínima del proyecto para cubrir el coste de los fondos propios y la deuda.

*INV*: Inversión inicial, calculada en el apartado anterior

Por otro lado, el PR corresponde al tiempo necesario para recuperar la inversión inicial, que será un número N que hace que el VAN sea 0.

$$PR = \frac{MB}{INV}$$

Por último, TIR representa la máxima rentabilidad del proyecto en un número determinado N de años, y demuestra si el proyecto es o no rentable comparándola con el WACC. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{TIR}{1 - \frac{1}{(1+TIR)^N}} = \frac{MB}{INV}$$

En el caso particular de nuestro proyecto, en primer lugar, calcularemos los ahorros mensuales a partir de los datos de ahorro gracias al sistema térmico solar. Esto lo haremos multiplicando el ahorro energético por el precio del gas natural fijado por Iberdrola para edificios de gran consumo en 0,044937 €/kWh y considerando los gastos de mantenimiento anuales.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
<b>Necesidad total [Kcal·1000]</b>	25637,49	20801,35	17478,48	12291,94	8389,73	17506,54	6755,75	10816,26	25134,12	11152,11	18564,19	24424,68	<b>198952,6</b>
<b>Ahorro total [Kcal·1000]</b>	5.333	6.454	8.324	8.547	7.279	9.804	6.415	10.452	9.420	5.732	5.702	5.736	<b>89.199</b>
<b>Rendimiento global [%]</b>	20,80%	31,03%	47,63%	69,53%	86,76%	56,00%	94,96%	96,63%	37,48%	51,40%	30,72%	23,49%	<b>44,83%</b>
<b>Ahorro económico</b>	278,70 €	337,32 €	435,04 €	446,69 €	380,41 €	512,38 €	335,26 €	546,23 €	492,31 €	299,57 €	298,01 €	299,78 €	<b>4.661,7 €</b>

*Tabla 24 - Ahorro económico mensual y anual*

Por otro lado, como se puede observar en Figura 44 la evolución del precio del gas y la electricidad en los últimos años ha sido muy pareja, por lo que se ha decidido despreciar la

evolución temporal a la hora de calcular la rentabilidad. Esto significa que no se usará la tasa de descuento anual, ya que, aunque se producirán variaciones del precio de la electricidad, probablemente un aumento, que conllevará el aumento gradual de los costes anuales de mantenimiento, dicha variación será similar a la del precio del gas, lo que conllevaría un aumento similar del ahorro (de hecho, bastante mayor ya que tratamos con valores mucho mayores).

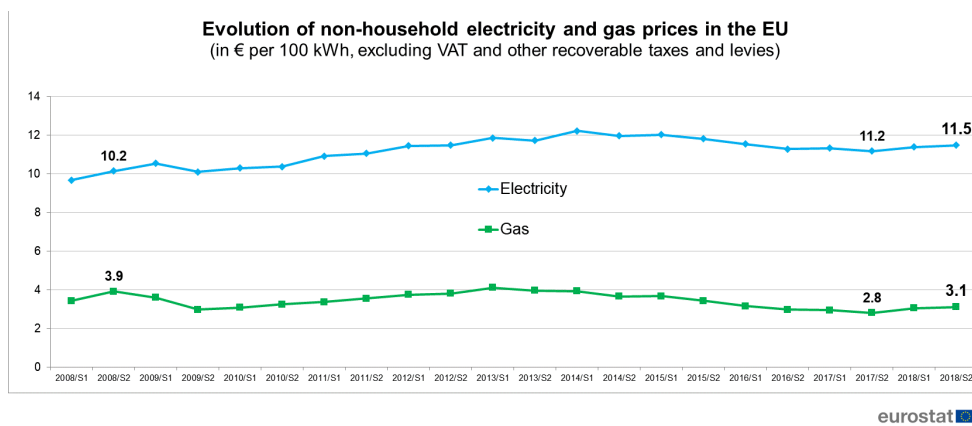


Figura 44 - Evolución del precio del gas y la electricidad en la Unión Europea [EURO19]

Despreciando la evolución temporal como se ha justificado previamente, se obtienen los siguientes resultados de los parámetros de rentabilidad para los primeros 15 años de uso de la instalación.

AÑO	2020 [0]	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035 [15]
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
INV	52.432 €	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
FC (año N)	0 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €	4.662 €
VAN	/	-47.770 €	-43.108 €	-38.447 €	-33.785 €	-29.123 €	-24.462 €	-19.800 €	-15.138 €	-10.477 €	-5.815 €	-1.153 €	3.509 €	8.170 €	12.832 €	17.494 €
TIR	/	-91%	-65%	-45%	-32%	-22%	-15%	-11%	-7%	-4%	-2%	0%	1%	2%	3%	4%

Tabla 25 - Cálculo del VAN y TIR a partir de la inversión inicial y flujo de caja

Dichos resultados nos muestran que la instalación será rentable a partir del año 11, lo que podemos confirmar calculando el periodo de retorno

$$PR = \frac{MB}{INV} = 11,25 \text{ años}$$

## **Capítulo 7. IMPACTO AMBIENTAL**

### ***7.1 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) DE NACIONES UNIDAS.***

Como se ha presentado en los objetivos del proyecto, uno de los principales es el de contribuir a la sostenibilidad medioambiental. En particular, considerando los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas, nuestro proyecto está estrechamente ligado al ODS número 13, que insta a tomar urgentemente acciones para combatir el impacto del cambio climático. Esto es una realidad que afecta a todos y cada uno de los países del planeta, y que ya en la actualidad tiene consecuencias negativas en la vida de la gente, y en el futuro solo irá a peor si no se hace nada para remediarlo.

Una de las consecuencias más visibles es el aumento gradual de la temperatura media que se viene produciendo en los últimos años, lo que está provocando entre otras cosas el aumento del nivel del mar o fenómenos meteorológicos cada vez más extremos y destructivos. La principal causa de este aumento son las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero debido al aumento de actividades humanas por todo el planeta. Es por ello por lo que el objetivo de nuestro proyecto es reducir las emisiones de gases contaminantes respecto al sistema que existe en la actualidad.

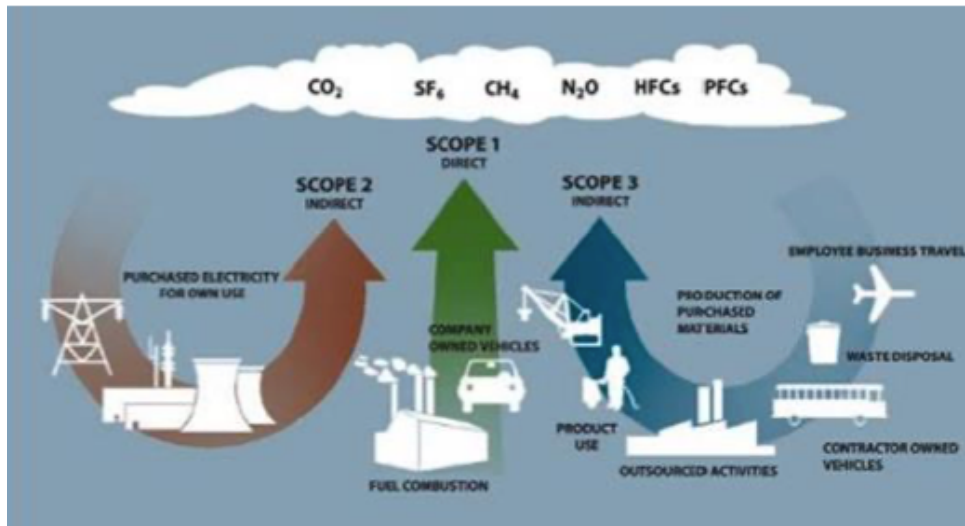
Este proyecto pretende demostrar que frenar el cambio climático es una carrera que debemos ganar todos juntos, ya que nos encontramos ante un reto que no entiende de fronteras. En los últimos años se está produciendo un cambio de actitud, siendo cada vez más común el uso de energías renovables. Nuestro proyecto pretende sumarse a este movimiento y demostrar que si cada uno pone de su parte se podrá conseguir importantes reducciones a gran escala. Para ello lo único necesario es sustituir los sistemas convencionales de ACS y calefacción con los que cuentan la mayor parte de viviendas y edificios, por un sistema sostenible que usa energías renovables y que permite reducir en gran medida las emisiones como se

cuantificará a continuación gracias a una inversión que se rentabilizará en menos de la mitad del tiempo de vida útil de la instalación.

## **7.2 ESTUDIO DE LAS EMISIONES**

En este punto se va a proceder a cuantificar como este proyecto contribuye con los ODS, en particular con la reducción de las emisiones de gases contaminantes. Se centrará la atención en el  $CO_2$ , demostrando que es posible reducir el impacto ambiental y demostrar que si todo el mundo pone de su parte para reducir el uso de combustibles fósiles es posible frenar el efecto invernadero.

Con el fin de poder cuantificar este impacto, nos basaremos en la “Guía para el cálculo de la huella de carbono” del Ministerio de Transición Ecológica [CARB15]. Solo se tendrán en cuenta las emisiones directas, que son aquellas que se producen en el propio lugar que se lleva a cabo la actividad, que corresponden al Alcance 1 según la guía previamente mencionada.



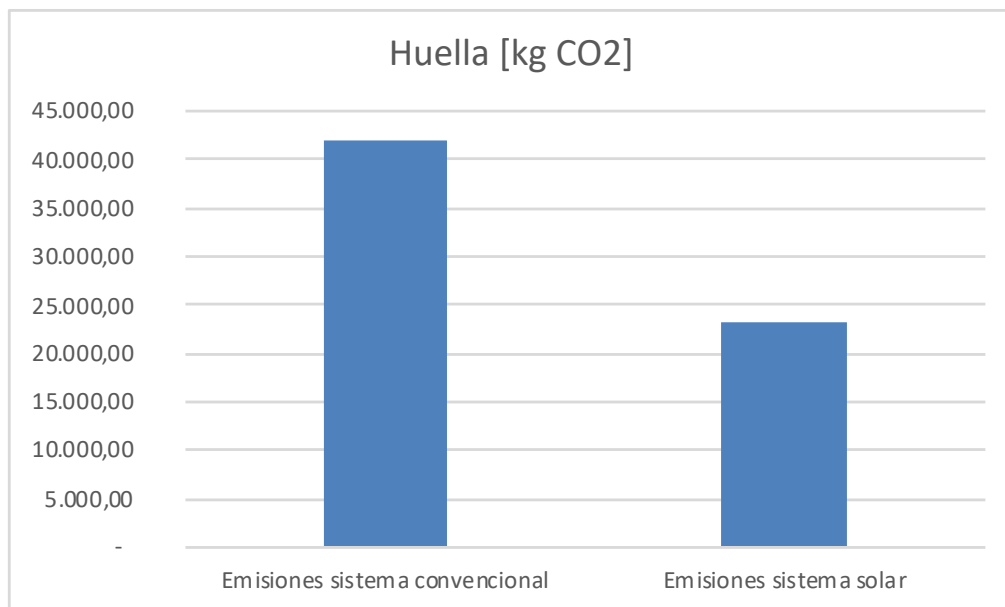
*Figura 45 - Esquema de los elementos que componen los tres tipos de Alcances [CARB15]*

Para calcular el dato concreto de la huella de carbono se utilizará la siguiente fórmula.

$$\text{Huella } CO_2 = \text{dato actividad} \times \text{factor de emisión}$$

En nuestro caso particular el dato de actividad será la cantidad de gas natural demandada en kWh y el factor de emisión la cantidad de  $CO_2$  emitido por cada unidad. El factor de emisión del gas natural para el año 2019 según se establece en el “Inventario Nacional de Emisiones de España” es de  $0,182 \text{ kg } CO_2 / kWh$ . De esta forma podemos calcular, considerando que la demanda energética total es de  $231.227,6 \text{ kWh}$  y el ahorro gracias a la instalación solar térmica es del 44,83%.

- *Huella  $CO_2$  instalación gas natural: 42.111,5 kg  $CO_2$*
- *Reducción Huella  $CO_2$  instalación solar: 18.880,44 kg  $CO_2$*
- *Huella  $CO_2$  tras el proyecto: 23.231,07 kg  $CO_2$*



*Figura 46 - Comparación de las emisiones de una instalación convencional y una instalación solar*

Como ilustra la Figura 46 la instalación que utiliza la energía solar térmica permite reducir las emisiones de  $CO_2$  prácticamente a la mitad. Para ilustrar lo que esto significa, el impacto equivale a realizar 8 veces un viaje de ida y vuelta en avión entre Madrid y Nueva York.

## Capítulo 8. CONCLUSIONES

Para concluir este proyecto, se puede constatar como se han estudiado y analizado los distintos puntos expuestos en los objetivos al principio de este proyecto proporcionando una solución que mediante la instalación de placas solares para el ahorro de agua caliente sanitaria, suelo radiante y piscina en una residencia ha conseguido mejorar la eficiencia energética del sistema existente además de obtener ahorros económicos muy significativos

En primer lugar, se ha propuesto una solución técnica fundamentada en cálculos, que permite la instalación de un nuevo sistema energético basado en energías renovables, como es la energía solar. Este sistema ha sido perfectamente adaptado a la estructura del edificio ya existente y se ha diseñado acorde a la normativa existente permitiendo un ahorro energético de más del 40%, y más del 60% si solo consideramos el ACS y piscina como establece el IDAE en el HE4.

Por otro lado, se ha demostrado que el proyecto es viable económicamente, un punto fundamental para que pueda llevarse a cabo. A diferencia del sistema actual, se requiere una gran inversión inicial para poner en marcha la instalación, pero luego los gastos anuales de mantenimiento son muy inferiores al desembolso que se debe hacer en la actualidad para asegurar el suministro de gas natural. El estudio de viabilidad económica ha demostrado como en 11 años la inversión inicial será amortizada, y a partir de dicho momento el ahorro anual respecto al gas natural será de más de 4.000€. No menos importante es la reducción de emisiones de gases contaminantes, otro de los objetivos fundamentales del proyecto, acorde al ODS número 13. El estudio de impacto ambiental ha demostrado como la combinación del sistema tradicional de gas natural con la instalación que usa la energía solar térmica permite una reducción de 18.880,44  $kg CO_2$  cada año de funcionamiento.

Por ello, podemos concluir que los resultados son satisfactorios, ya que, gracias a la implantación de la energía solar como complemento del sistema convencional basado en el gas natural, se ha logrado reducir en el 45% la huella de carbono de la instalación al mismo

tiempo que se produce un importante ahorro económico que permitirá amortizar la instalación en 11 años.

## **Capítulo 9. ANEXOS**

### **9.1 ABREVIATURAS Y SIGLAS**

**ACS:** Agua Caliente Sanitaria

**IDAE:** Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía

**HE4:** Documento Básico de Ahorro de energía, sección que regula la contribución mínima de energía renovable para contribuir la demanda de agua caliente sanitaria.

**CTE:** Código Técnico de Edificación

**LOE:** Ley de Ordenación de la Edificación

**RITE:** Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios

**VAN:** Valor Actual Neto

**TIR:** Tasa Interna de Rentabilidad

**FC:** Flujo de Caja

**PR:** Periodo de Retorno

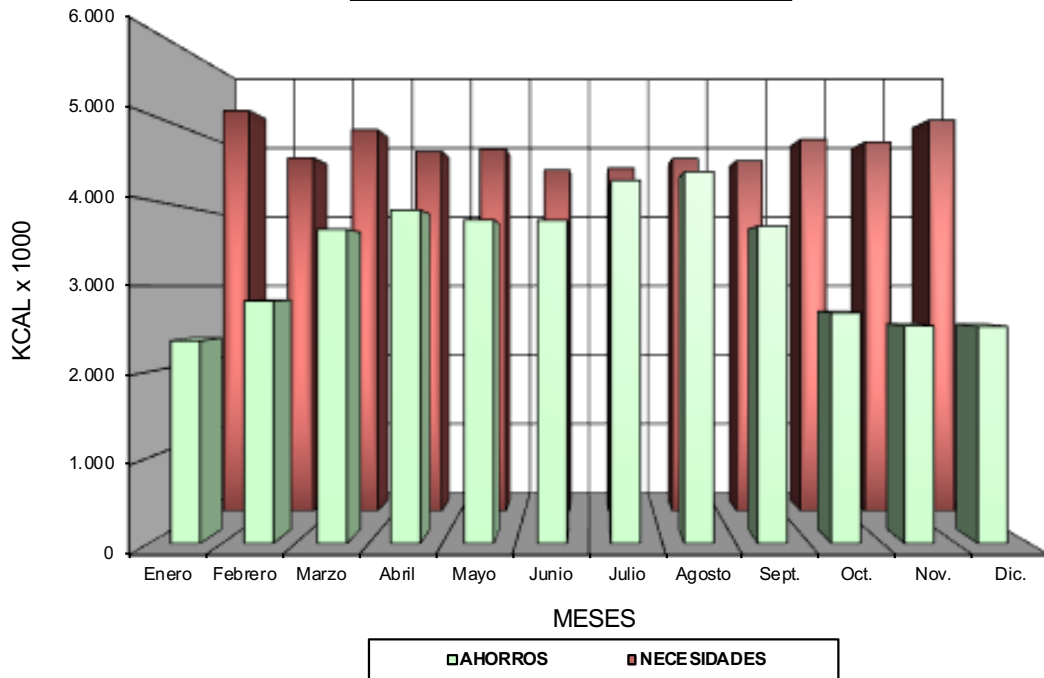
**ODS:** Objetivos de Desarrollo Sostenible

## 9.2 HOJAS DE CÁLCULO

### Hoja Excel con el cálculo de demanda y ahorro energético para ACS

PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE POR MEDIO DE ENERGÍA SOLAR													
Luis Javier Mata							12361 COIIMadrid						
DATOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS													
Provincia:											Madrid		
Latitud de cálculo:											40,42		
Latitud [°/min.]:											40,25		
Altitud [m]:											667,00		
Humedad relativa media [%]:											42,00		
Velocidad media del viento [Km/h]:											10,00		
Temperatura máxima en verano [°C]:											34,00		
Temperatura mínima en invierno [°C]:											-3,00		
Variación diurna:											15,00		
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):											1260 (Periodo Noviembre/Marzo)		
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):											1405 (Todo el año)		
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Tª. media ambiente [°C]:	4,90	6,50	10,00	13,00	15,70	20,60	24,20	23,60	19,80	14,00	8,90	5,60	13,9
Tª. media agua red [°C]:	10,0	11,2	12,4	13,6	14,8	16,0	17,2	16,0	14,8	13,6	12,4	11,2	13,6
Rad. horiz. [kJ/m²/día]:	6.362	9.798	14.150	19.552	21.184	23.530	25.874	22.986	16.118	10.762	7.326	6.263	15.325
Rad. inclin. [kJ/m²/día]:	11.283	#####	17.629	19.781	18.473	19.159	21.547	21.754	18.371	12.693	12.532	12.161	16.688
ORIGEN DE LOS DATOS:	Libro "Radiación Solar Sobre Superficies Inclinadas".												
ORGANISMO:	Centro de Estudios de la Energía (Ministerio de Industria y Energía).												
DATOS RELATIVOS A LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS													
Número de ocupantes:											84		
Consumo por ocupante [L/día]:											4*		
Consumo de agua a máxima ocupación [L/día]:											3.444		
Temperatura de utilización [°C]:											60		
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
% de ocupación:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ESTOS DATOS SON LOS QUE UTILIZA EL PROGRAMA PARA OBTENER LOS RESULTADOS, CUALQUIER VARIACION EN SU MAGNITUD INVALIDARÍA LOS MISMOS, POR LO QUE DEBERÁ COMUNICARSE TODA DISCONFORMIDAD CON ELLOS ANTES DE LA FIRMA DEL CONTRATO.													
DATOS RELATIVOS AL SISTEMA													
Curva de rendimiento del colector: $r = 0,812 - 3,478 * (t_e - t_a) / I_t$													
t <sub>e</sub> :											Temperatura de entrada del fluido al colector		
t <sub>a</sub> :											Temperatura media ambiente		
I <sub>t</sub> :											Radiación en [W/m²]		
Factor de eficiencia del colector:											0,812		
Coefficiente global de pérdida [W/(m²·°C)]:											3,478		
Volumen de acumulación [L/m²]:											70		
Caudal en circuito primario [(L/h)/m²] - [(Kg/h)/m²]:											50		
Caudal en circuito secundario [(L/h)/m²] - [(Kg/h)/m²]:											50		
Calor específico en circuito primario [Kcal/(Kg·°C)]:											0,92		
Calor específico en circuito secundario [Kcal/(Kg·°C)]:											1		
Eficiencia del intercambiador:											0,9		
CÁLCULO ENERGÉTICO													
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Consumo de agua [m³]:	106,8	96,4	106,8	103,3	106,8	103,3	106,8	106,8	103,3	106,8	103,3	106,8	1257,1
Incremento Tª. [°C]:	50,0	48,8	47,6	46,4	45,2	44,0	42,8	44,0	45,2	46,4	47,6	48,8	
Ener. Nec. [Kcal·1000]:	5.338	4.706	5.082	4.794	4.826	4.546	4.569	4.698	4.670	4.954	4.918	5.210	58.311
DATOS DE SALIDA													
Número de colectores:											24		
Area colectores [m²]:											100		
Inclinación [°]:											45		
Volumen de acumulación [L]:											4.000		
										Relación entre volumen/area			
										70,3235 entre 50 y80			
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal·1000]:	5.338	4.706	5.082	4.794	4.826	4.546	4.569	4.698	4.670	4.954	4.918	5.210	58.311
Ahorros [Kcal·1000]:	2.360	2.826	3.660	3.884	3.769	3.766	4.229	4.333	3.697	2.688	2.534	2.529	40.275
Ahorros [%]:	44,2	60,0	72,0	81,0	78,1	82,8	92,5	92,2	79,2	54,3	51,5	48,5	69,1

**NECESIDADES Y AHORROS**



### Hoja Excel con el cálculo de demanda y ahorro energético para suelo radiante

#### CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE MEDIANTE ENERGÍA SOLAR

##### DATOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS

	Provincia:											Madrid	
	Latitud de cálculo:											40,42	
	Latitud [°/min.]:											40,25	
	Altitud [m]:											667,00	
	Humedad relativa media [%]:											42,00	
	Velocidad media del viento [Km/h]:											10,00	
	Temperatura máxima en verano [°C]:											34,00	
	Temperatura mínima en invierno [°C]:											-3,00	
	Variación diurna:											15,00	
	Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):											1260 (Periodo Noviembre/Marzo)	
	Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):											1405 (Todo el año)	
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Tª. media ambiente [°C]:	4,90	6,50	10,00	13,00	15,70	20,60	24,20	23,60	19,80	14,00	8,90	5,60	7,1
Tª. media agua red [°C]:	10,0	11,2	12,4	13,6	14,8	16,0	17,2	16,0	14,8	13,6	12,4	11,2	13,6
Rad. horiz. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	6.362	9.798	14.150	19.552	21.184	23.530	25.874	22.986	16.118	10.762	7.326	6.263	15.325
Rad. inclin. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	11.283	14.874	17.629	19.781	18.473	19.159	21.547	21.754	18.371	12.693	12.532	12.161	16.688
ORIGEN DE LOS DATOS:	Libro "Radiación Solar Sobre Superficies Inclinadas".												
ORGANISMO:	Centro de Estudios de la Energía (Ministerio de Industria y Energía).												

##### DATOS RELATIVOS A LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

	Superficie a calefactar [m <sup>2</sup> ]:											1150	
	Temperatura interior del local [°C]:											20	
	Temperatura de utilización [°C]:											35	
	KG según CT-79 [Kcal/(h · m <sup>2</sup> · °C)]:											0,77	
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
% de ocupación:	100	100	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	67

ESTOS DATOS SON LOS QUE UTILIZA EL PROGRAMA PARA OBTENER LOS RESULTADOS, CUALQUIER VARIACIÓN EN SU MAGNITUD INVALIDARÍA LOS MISMOS, POR LO QUE DEBERÁ COMUNICARSE TODA DISCONFORMIDAD CON ELLOS ANTES DE LA FIRMA DEL CONTRATO.

##### DATOS RELATIVOS AL SISTEMA

	Curva de rendimiento del colector: $r = 0,812 - 3,478 \cdot (t_e - t_a) / I_t$											
	t <sub>e</sub> :	Temperatura de entrada del fluido al colector										
	t <sub>a</sub> :	Temperatura media ambiente										
	I <sub>t</sub> :	Radiación en [W/m <sup>2</sup> ]										
	Factor de eficiencia del colector:											0,812
	Coefficiente global de pérdida [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]:											3,478
	Volumen de acumulación [L/m <sup>2</sup> ]:											70
	Caudal en circuito primario [(L/h)/m <sup>2</sup> ] - [(Kg/h)/m <sup>2</sup> ]:											50
	Caudal en circuito secundario [(L/h)/m <sup>2</sup> ] - [(Kg/h)/m <sup>2</sup> ]:											50
	Calor específico en circuito primario [Kcal/(Kg·°C)]:											0,92
	Calor específico en circuito secundario [Kcal/(Kg·°C)]:											1
	Eficiencia del intercambiador:											0,9

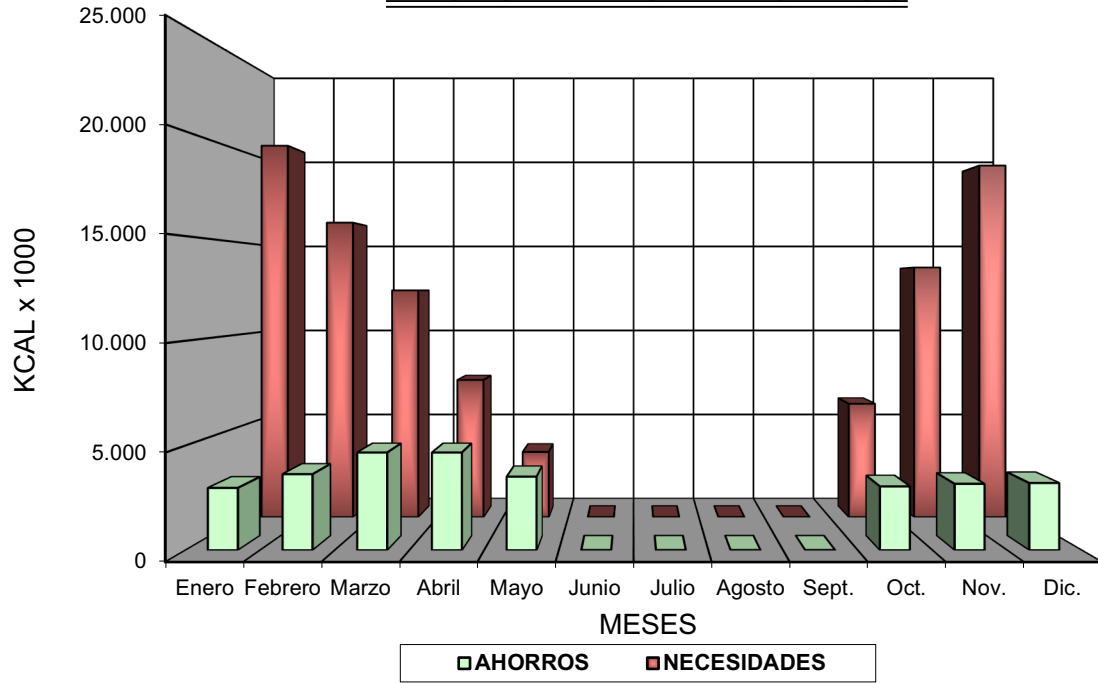
##### CÁLCULO ENERGÉTICO

	Grados-día [°C]:	406,1	322,0	248,0	150,0	71,3	0,0	0,0	0,0	0,0	124,0	273,0	384,4	1978,8
	Ener. Nec. [Kcal·1000]:	20.299	16.095	12.397	7.498	3.564	0	0	0	0	6.198	13.646	19.215	98.912

##### DATOS DE SALIDA

	Número de colectores:											24	
	Area colectores [m <sup>2</sup> ]:											56,88	
	Inclinación [°]:											102	
	Volumen de acumulación [L]:											4.000	
												70,3235	
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal·1000]:	20.299	16.095	12.397	7.498	3.564	0	0	0	0	6.198	13.646	19.215	98.912
Ahorros [Kcal·1000]:	2.972	3.629	4.664	4.663	3.510	0	0	0	0	3.044	3.168	3.207	28.858
Ahorros [%]:	14,6	22,5	37,6	62,2	98,5	100,0	100,0	100,0	100,0	49,1	23,2	16,7	29,2

### NECESIDADES Y AHORROS



## Hoja Excel con el cálculo de demanda y ahorro energético para piscina climatizada

### CLIMATIZACIÓN DE PISCINA POR MEDIO DE ENERGÍA SOLAR

#### DATOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS

Provincia:	Madrid
Latitud de cálculo:	40,42
Latitud [°/min.]:	40,25
Altitud [m]:	667,00
Humedad relativa media [%]:	42,00
Velocidad media del viento [Km/h]:	10,00
Temperatura máxima en verano [°C]:	34,00
Temperatura mínima en invierno [°C]:	-3,00
Variación diurna:	15,00
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	1260 (Período Noviembre/Marzo)
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	1405 (Todo el año)

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Tª. media ambiente [°C]:	4,90	6,50	10,00	13,00	15,70	20,60	24,20	23,60	19,80	14,00	8,90	5,60	13,9
Tª. media agua red [°C]:	10,0	11,2	12,4	13,6	14,8	16,0	17,2	16,0	14,8	13,6	12,4	11,2	13,6
Rad. horiz. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	6.362	9.798	14.150	19.552	21.184	23.530	25.874	22.986	16.118	10.762	7.326	6.263	15.325
Rad. inclin. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	11.283	14.874	17.629	19.781	18.473	19.159	21.547	21.754	18.371	12.693	12.532	12.161	16.688

ORIGEN DE LOS DATOS: Libro "Radiación Solar Sobre Superficies Inclinadas".  
 ORGANISMO: Centro de Estudios de la Energía (Ministerio de Industria y Energía).

#### DATOS RELATIVOS A LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Ubicación de la piscina [Interior/Exterior]:	Exterior												
Superficie de la piscina [m <sup>2</sup> ]:	150												
Volumen de la piscina [m <sup>3</sup> ]:	250												
Humedad relativa [%]:	42												

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Temp. deseada [°C]:	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Temp. ambiente [°C]:	4,9	6,5	10	13	15,7	20,6	24,2	23,6	19,8	14	8,9	5,6	14
% de tiempo sin manta:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ESTOS DATOS SON LOS QUE UTILIZA EL PROGRAMA PARA OBTENER LOS RESULTADOS, CUALQUIER VARIACIÓN EN SU MAGNITUD INVALIDARÍA LOS MISMOS, POR LO QUE DEBERÁ COMUNICARSE TODA DISCONFORMIDAD CON ELLOS ANTES DE LA FIRMA DEL CONTRATO.

#### DATOS RELATIVOS AL SISTEMA

Curva de rendimiento del colector: $r = 0,812 - 3,478 * (te - ta) / It$	
te:	Temperatura de entrada del fluido al colector
ta:	Temperatura media ambiente
It:	Radiación en [W/m <sup>2</sup> ]
Factor de eficiencia del colector:	0,812
Coefficiente global de pérdida [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]:	3,478
Caudal en circuito primario [(L/h)/m <sup>2</sup> ] - [(Kg/h)/m <sup>2</sup> ]:	50
Caudal en circuito secundario [(L/h)/m <sup>2</sup> ] - [(Kg/h)/m <sup>2</sup> ]:	50
Calor específico en circuito primario [Kcal/(Kg·°C)]:	0,92
Calor específico en circuito secundario [Kcal/(Kg·°C)]:	1
Eficiencia del intercambiador:	0,9

#### CÁLCULO ENERGÉTICO

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Pérd. Cond. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	1.836	-112	223	2.268	0	0	0	4.216
Pérd. Conv. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	2.688	-163	327	3.320	0	0	0	6.172
Pérd. Rad. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	7.563	5.978	6.289	7.949	0	0	0	27.780
Pérd. Agua [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	300	264	310	345	0	0	0	1.219
Pérd. Evap. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	18.305	16.368	16.869	18.728	0	0	0	70.270
Ap. Sol. Dir. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	-17.732	-20.148	-17.899	-12.146	0	0	0	-67.926
Pérd. Glob. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	12.960	2.186	6.119	20.464	0	0	0	41.729

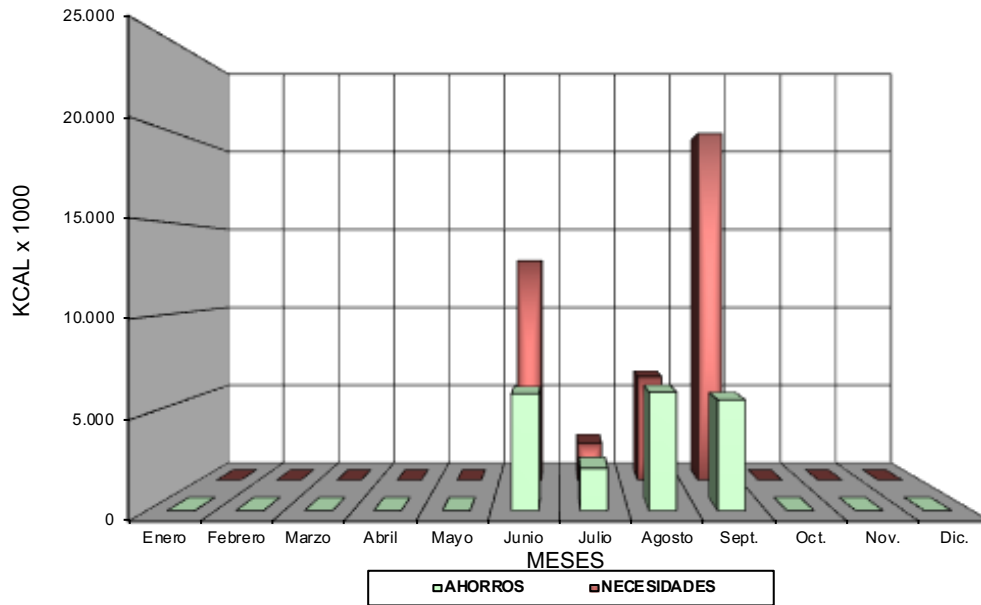
#### DATOS DE SALIDA

Número de colectores:	104												
Area colectores [m <sup>2</sup> ]:	56,88												
Inclinación [°]:	45												

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Ener. Nec. [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	12.960	2.186	6.119	20.464	0	0	0	41.729
Ahorros [Kcal·1000]:	0	0	0	0	0	6.038	2.186	6.119	5.724	0	0	0	20.067
Ahorros [%]:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,6	100,0	100,0	28,0	0,0	0,0	0,0	48,1

**NECESIDADES Y AHORROS**

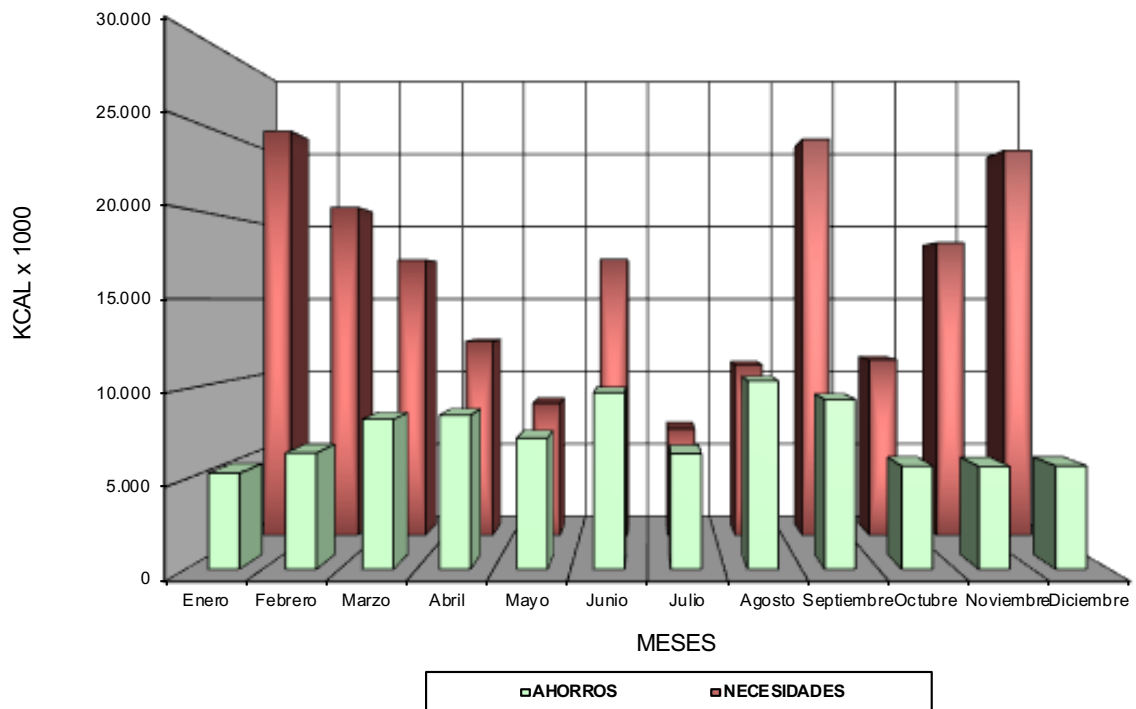


**Hoja Excel con el cálculo de demanda y ahorro energético para el conjunto de la instalación**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
<b>Necesidades acs</b>	5.338	4.706	5.082	4.794	4.826	4.546	4.569	4.698	4.670	4.954	4.918	5.210	<b>58.311</b>
<b>Ahorro acs</b>	2.360	2.826	3.660	3.884	3.769	3.766	4.229	4.333	3.697	2.688	2.534	2.529	<b>40.275</b>
<b>Necesidades calefaccion</b>	20.299	16.095	12.397	7.498	3.564	0	0	0	0	6.198	13.646	19.215	<b>98.912</b>
<b>Ahorro calefacción</b>	2.972	3.629	4.664	4.663	3.510	0	0	0	0	3.044	3.168	3.207	<b>28.858</b>
<b>Necesidades piscina</b>	0	0	0	0	0	12.960	2.186	6.119	20.464	0	0	0	<b>41.729</b>
<b>Ahorro piscina</b>	0	0	0	0	0	6.038	2.186	6.119	5.724	0	0	0	<b>20.067</b>
<b>Necesidad total</b>	<b>25.637</b>	<b>20.801</b>	<b>17.478</b>	<b>12.292</b>	<b>8.390</b>	<b>17.507</b>	<b>6.756</b>	<b>10.816</b>	<b>25.134</b>	<b>11.152</b>	<b>18.564</b>	<b>24.425</b>	<b>198.953</b>
<b>Ahorro total</b>	<b>5.333</b>	<b>6.454</b>	<b>8.324</b>	<b>8.547</b>	<b>7.279</b>	<b>9.804</b>	<b>6.415</b>	<b>10.452</b>	<b>9.420</b>	<b>5.732</b>	<b>5.702</b>	<b>5.736</b>	<b>89.199</b>
<b>Rendimiento global</b>	<b>20,80%</b>	<b>31,03%</b>	<b>47,63%</b>	<b>69,53%</b>	<b>86,76%</b>	<b>56,00%</b>	<b>94,96%</b>	<b>96,63%</b>	<b>37,48%</b>	<b>51,40%</b>	<b>30,72%</b>	<b>23,49%</b>	<b>44,83%</b>
<b>Necesidades acs+piscina</b>	5.338	4.706	5.082	4.794	4.826	17.507	6.756	10.816	25.134	4.954	4.918	5.210	<b>100.040</b>
<b>Aporte acs+piscina</b>	2.360	2.826	3.660	3.884	3.769	9.804	6.415	10.452	9.420	2.688	2.534	2.529	<b>60.342</b>
<b>Rendimiento acs+piscina</b>	<b>44,22%</b>	<b>60,05%</b>	<b>72,03%</b>	<b>81,01%</b>	<b>78,11%</b>	<b>56,00%</b>	<b>94,96%</b>	<b>96,63%</b>	<b>37,48%</b>	<b>54,26%</b>	<b>51,52%</b>	<b>48,54%</b>	<b>60,32%</b>

*Debe ser >60% para cumplir HE 4*

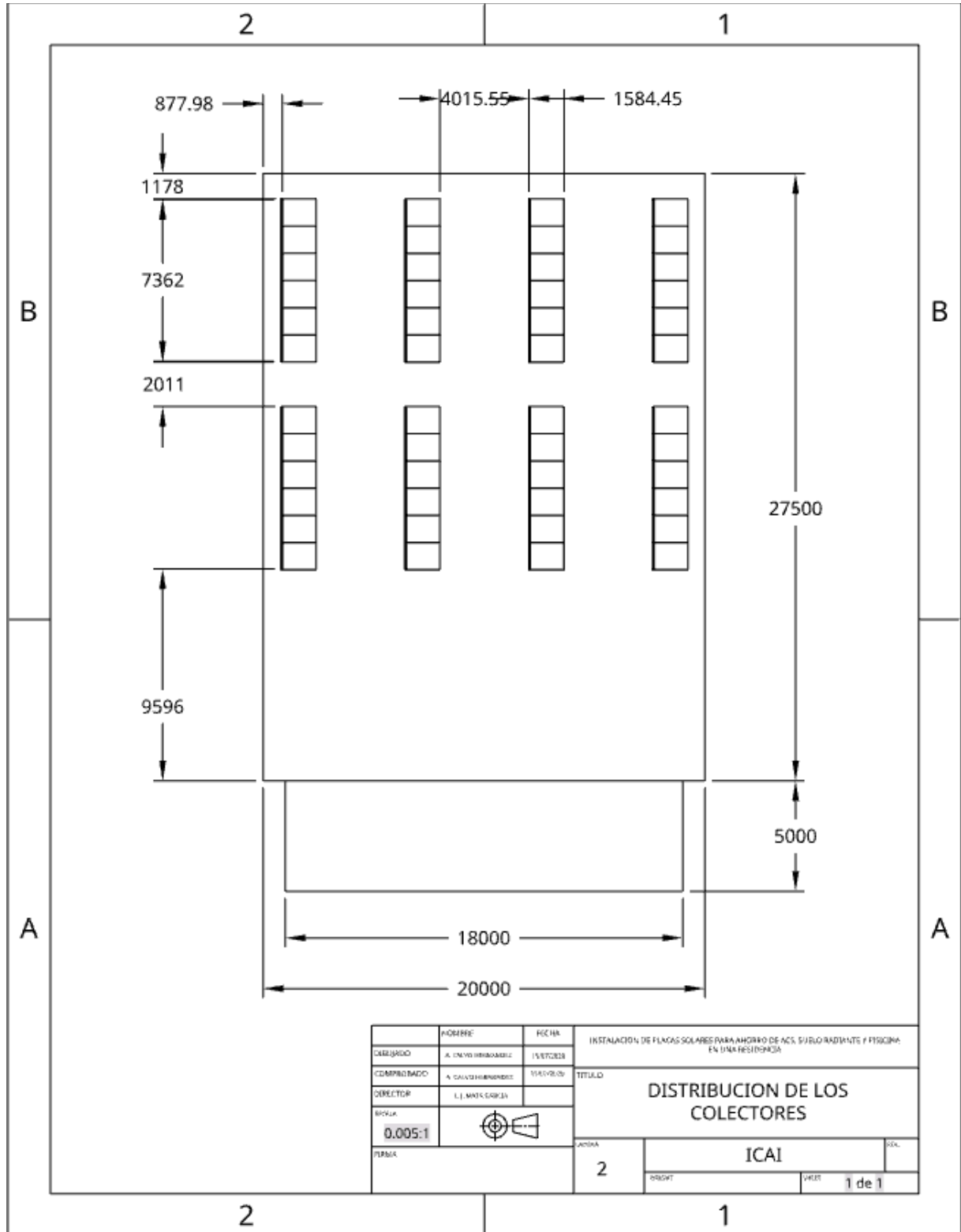
**NECESIDADES Y AHORROS**



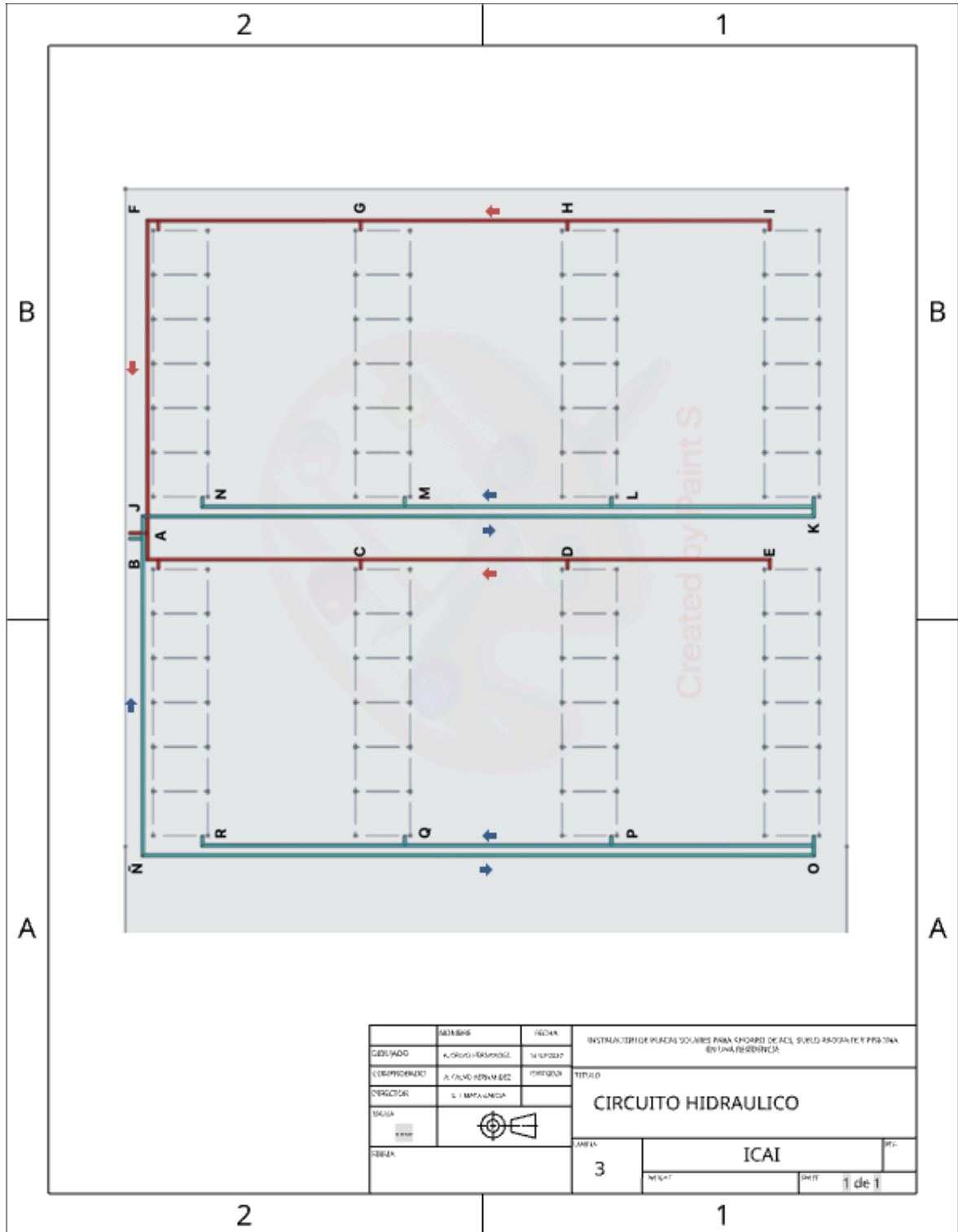
9.3 PLANOS



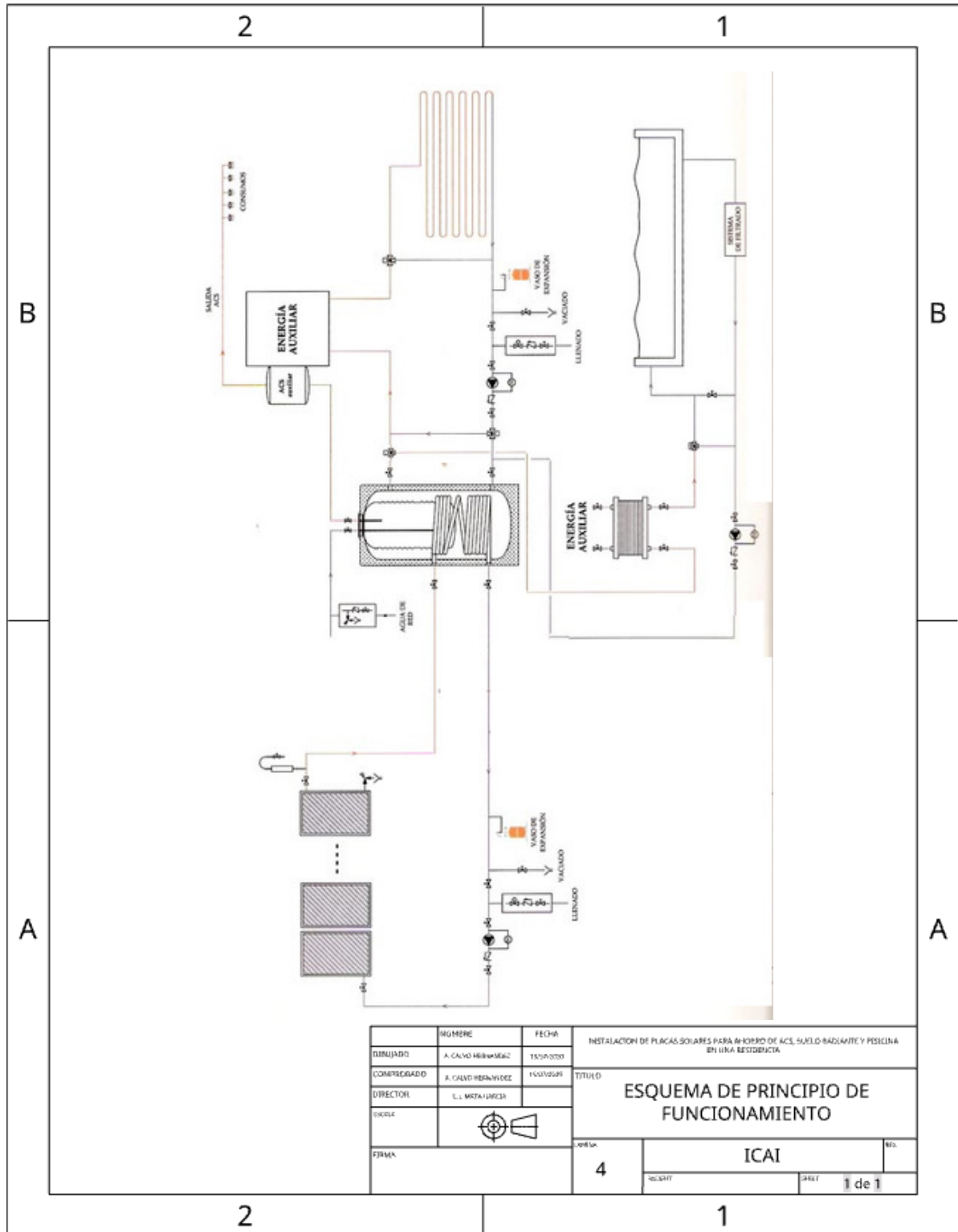
**Distribución de los colectores en la cubierta del edificio**



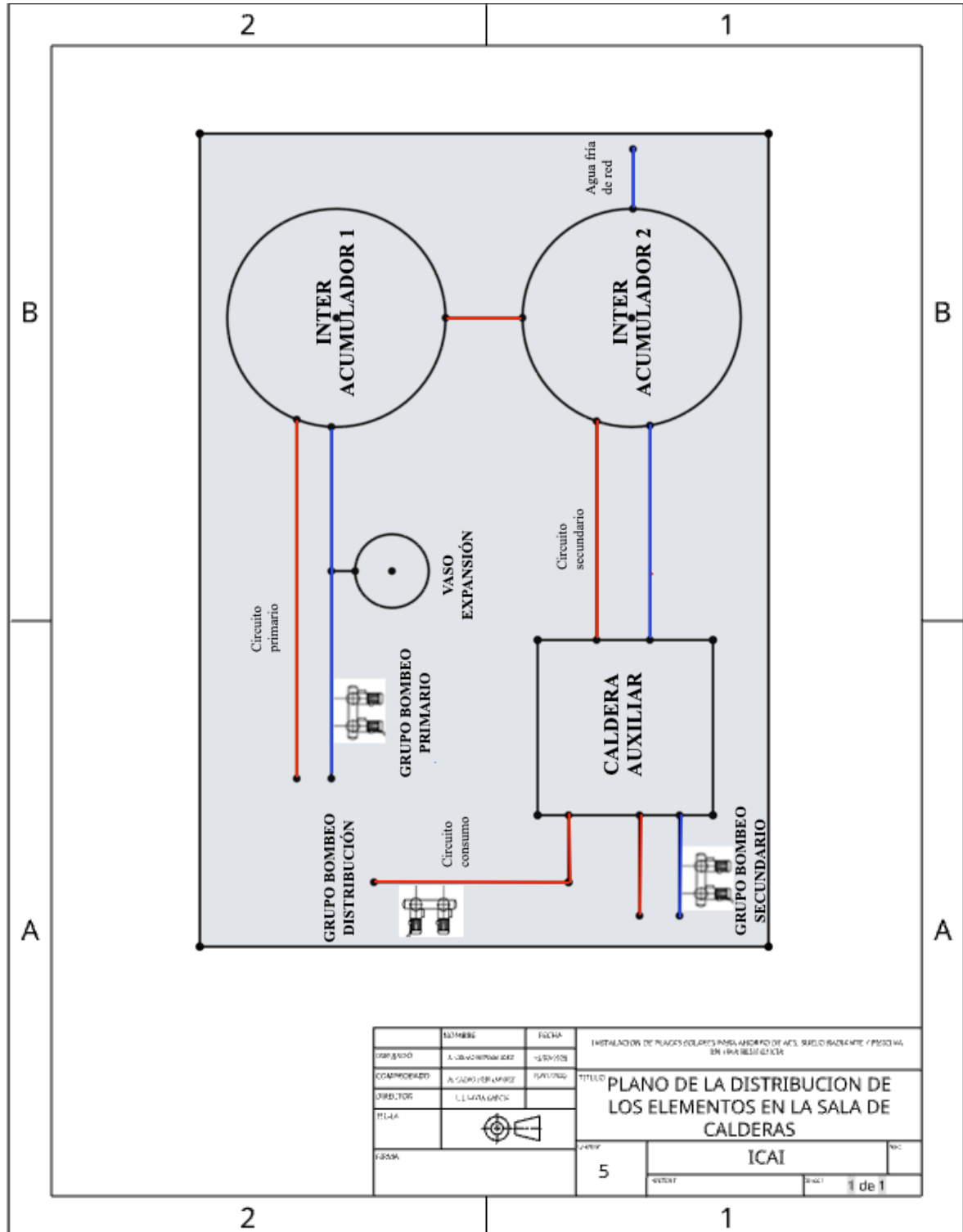
**Circuito hidráulico primario en la cubierta del edificio**



**Esquema del principio de funcionamiento de la instalación**

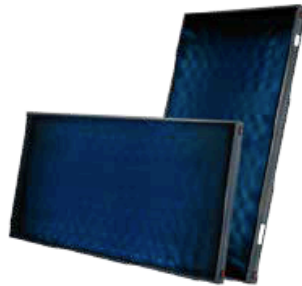
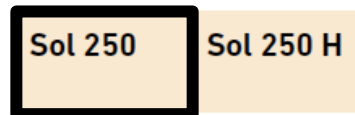


**Distribución de los elementos en la sala de calderas**



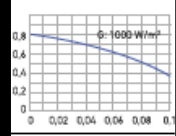
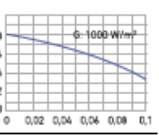
## 9.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Captadores solares

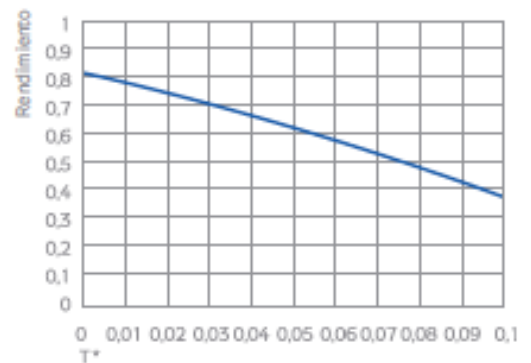


**BAXI**



	Vertical	Horizontal
Instalación	Vertical	Horizontal
Superficie total m <sup>2</sup>	2,5	2,5
Colectores por fila	Hasta 10	Hasta 10
Absorbedor	De aluminio, con tratamiento altamente selectivo	De aluminio, con tratamiento altamente selectivo
Espesor absorbedor mm	0,4	0,4
Absorbancia %	95	95
Emitancia %	5	5
Circuito hidráulico	Serpentin	Serpentin
Vidrio solar	Texturizado 3,2 mm.	Texturizado 3,2 mm.
Aislamiento posterior	Fibra de vidrio con velo negro de 40 mm	Fibra de vidrio con velo negro de 40 mm
Carcasa	De aluminio en color gris RAL7016	De aluminio en color gris RAL7016
Garantía (1) años	10	10
Superficie total m <sup>2</sup>	2,51	2,51
Superf. de apertura m <sup>2</sup>	2,37	2,37
Capacidad l	2,3	2,7
Peso vacío kg	47	49
Presión máx. trabajo bar	10	10
Temp. estancamiento °C	198	198
Curva de rendimiento		
Ecuación característica (2)	$\eta = 0,812 - 3,478 T^* - 0,018 GT^{*2}$	$\eta = 0,818 - 3,748 T^* - 0,016 GT^{*2}$
Contraseña certificación	GPS-8449	GPS-8450
Referencia	<b>720364401</b>	<b>720364501</b>
PVP	<b>787 €</b>	<b>820 €</b>
(1) Ver condiciones de garantía en la tarjeta que se adjunta con el producto		
(2) Respecto a la superficie de apertura		

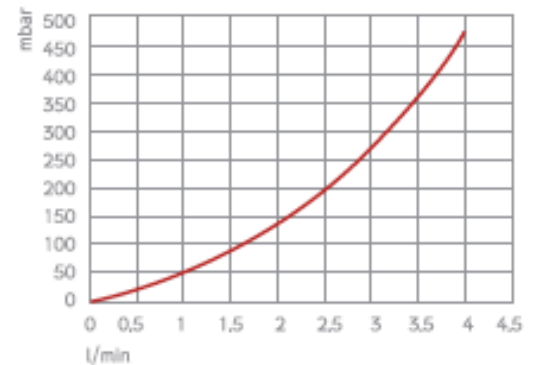
### Curvas de Rendimiento SOL 250



$$\mu = 0,812 - 3,478 T^* - 0,018 GT^{*2}$$

Contraseña de certificación GPS-8449

### Pérdidas de Carga



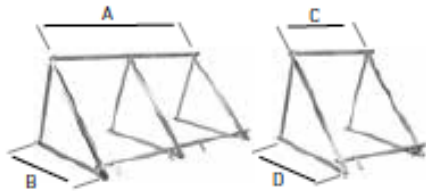
Sistema de soporte y anclaje

Sol 250/200

Soporte para colectores planos en  
**Cubierta plana**



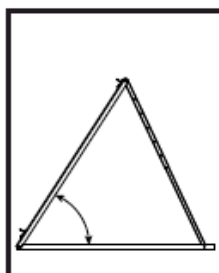

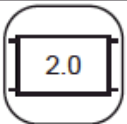

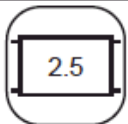
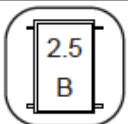




Soportes premontados para facilitar su instalación. Permiten variar la inclinación desde 35° a 55°. Para filas de más de dos colectores se deberán montar suplementos a partir del tercer colector. Por ejemplo, en una fila de 5 colectores se deberá montar un soporte para dos colectores y tres suplementos.



A mm	2.468		
B mm	1.525		
C mm	1.234		
D mm	1.525		
	2 colectores	1 colector	Suplemento
Referencia	7218884	7217027	7217031
PVP	298 €	197 €	134 €

ES

Valores de máxima carga característica de nieve ( $s_k$ ) y máxima presión de viento correspondiente a la velocidad pico ( $q_p$ ):

	 	  		
	 	 		
	qp (kN/m <sup>2</sup> )	sk (kN/m <sup>2</sup> )	qp (kN/m <sup>2</sup> )	sk (kN/m <sup>2</sup> )
35°-55°	1.91	1.9	1.56	1.9

**NOTA:** Este límite se reducirá en instalaciones con cambios de nivel que causen riesgos adicionales de acumulación o caída de nieve. En zonas donde se produzcan grandes cargas de nieve (superiores a 1kN/m<sup>2</sup>), se recomienda instalar una barrera paranieve a una distancia máxima de 0.5 m sobre el colector.

La carga máxima de viento a soportar por la estructura de montaje depende de la altura y zona geográfica del emplazamiento entre otros factores. Esta estructura debe instalarse de acuerdo con las disposiciones de la norma EN1991. Consulte su distribuidor oficial en caso de duda.

## Fluido caloportador



### Líquido solar FAC 10 y FAC 20

Compuestos de propilenglicol e inhibidores de la corrosión.

FAC 10: Debe ser mezclado con agua, para -10°C mezcla 25%, para -20°C mezcla 40%, para -30°C mezcla 50%. Se suministra en garrafas de 10 l.

FAC 20: Solución premezclada protege hasta -28°C. Se suministra en garrafas de 20 l.

FAC 10

FAC 20

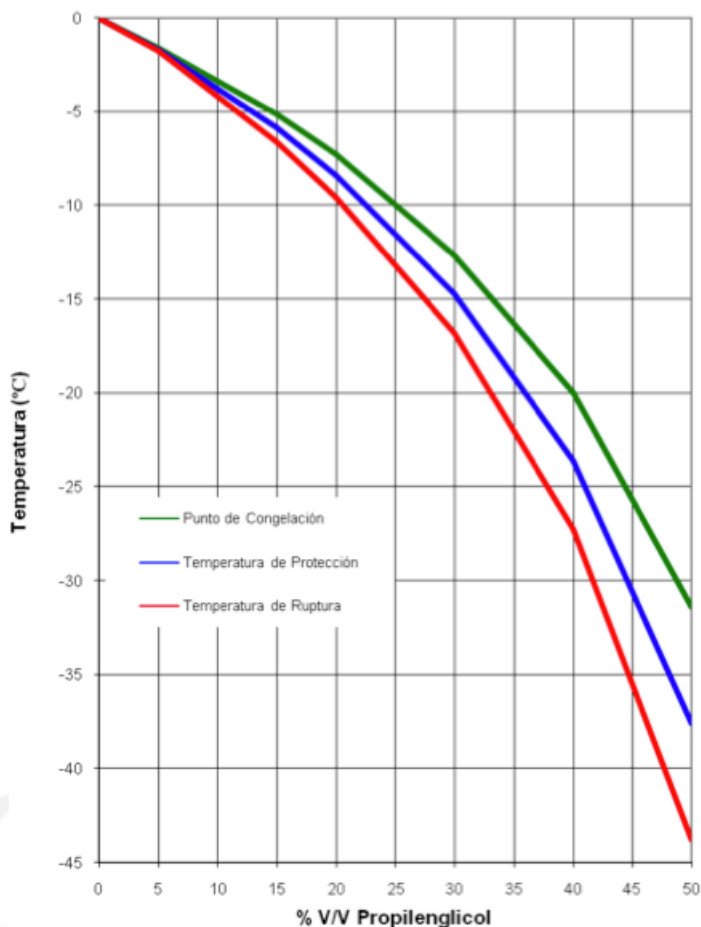
**144940013**

**144940037**

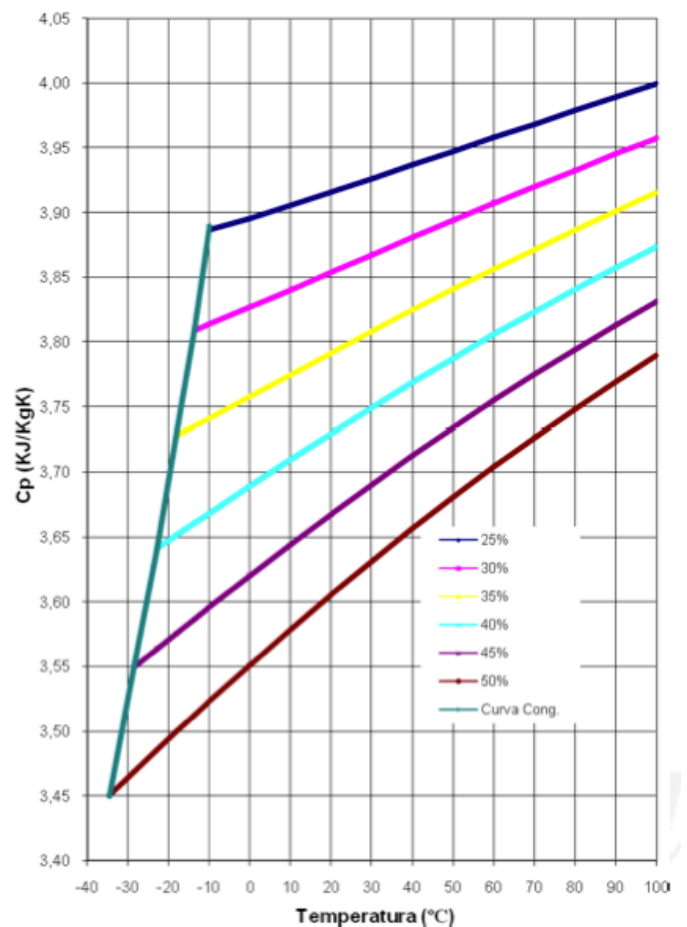
**68 €**

**107 €**

Temperatura de Protección .vs. %V/V Propilenglicol



Capacidad Calorífica .vs. %V/V Propilenglicol



## Tuberías de cobre

PVP ORIENTATIVO CON VARIACIONES EN FUNCION DEL MERCADO

### tubo de cobre rígido



CODIGO	DESCRIPCION	PVP
210012	TUBO COBRE RÍGIDO 12 x 1mm	2,80 €
210015	TUBO COBRE RÍGIDO 15 x 1mm	3,07 €
210018	TUBO COBRE RÍGIDO 18 x 1mm	3,64 €
210022	TUBO COBRE RÍGIDO 22 x 1mm	4,41 €
210028	TUBO COBRE RÍGIDO 28 x 1mm	5,33 €
210035	TUBO COBRE RÍGIDO 35 x 1mm	7,60 €
210042	TUBO COBRE RÍGIDO 42 x 1mm	9,99 €
210054	TUBO COBRE RÍGIDO 54 x 1,2 mm	11,36 €
210064	TUBO COBRE RÍGIDO 64 x 1,5mm	18,71 €
210076	TUBO COBRE RÍGIDO 76 x 1,5mm	30,00 €
210088	TUBO COBRE RÍGIDO 88,9 x 2mm	37,13 €
210108	TUBO COBRE RÍGIDO 108 x 2,5mm	58,67 €

## Aislamiento

### COQUILLAS R.I.T.E.

Longitud 2,0 m, gama de acuerdo al Reglamento R.I.T.E

Ø ext máx. de tubería [mm]	Aplicaciones INTERIOR edificios			Aplicaciones INTERIOR edificios		
	Referencia	m/cartón	€/m	Referencia	m/cartón	€/m
15	SH-24X015	36	6,80	SH-24X015	36	6,80
18	SH-24X018	36	7,11	SH-24X018	36	7,11
20	SH-24X020	36	7,28	SH-24X020	36	7,28
22	SH-24X022	36	7,47	SH-24X022	36	7,47
25	SH-24X025	32	8,11	SH-24X025	32	8,11
28	SH-24X028 <sup>1</sup>	32	8,76	SH-24X028 <sup>1</sup>	32	8,76
32	SH-24X032	24	9,33	SH-24X032	24	9,33
35	SH-24X035	24	9,87	SH-24X035	24	9,87
40	SH-30X040	18	13,49	SH-30X040	18	13,49
42	SH-30X042	18	14,56	SH-30X042	18	14,56
48	SH-30X048	18	15,56	SH-30X048	18	15,56
54	SH-30X054	16	16,79	SH-30X054	16	16,79
60	SH-30X060	12	17,94	SH-30X060	12	17,94
64	SH-30X064	12	19,66	SH-30X064	12	19,66
76	SH-30X076	10	20,87	SH-30X076	10	20,87
89	SH-30X089	8	23,76	SH-30X089	8	23,76
110	SH-30X110	8	30,45	SH-36X110	6	38,12
114	SH-30X114	8	30,72	SH-36X114	6	39,93
140	SH-30X140	6	35,42	SH-36X140	4	42,57
160	SH-36X160	4	56,25	SH-36X160	4	56,25
168	SH-36X168	4	59,05	SH-36X168	4	59,05

Tipo de material	Aislamiento: espuma elastomérica flexible (FEF) a base de caucho sintético de EPDM; fabricada según norma EN 14304. Recubrimiento: lámina de copolímero de poliolefina
Color	Recubrimiento disponible en color blanco o negro.
Aplicación	Aislamiento térmico para instalaciones de energía solar (incluyendo exteriores), sector industrial, líneas de gas caliente, y líneas de vapor y temperatura dual.
Peculiaridades	Resistente a la radiación UV
Observaciones	Declaración de Prestaciones disponible según el Artículo 7(3) del Reglamento (EU) No 305/2011 en nuestra página web: <a href="http://www.armacell.com/DoP">www.armacell.com/DoP</a>

Propiedades	Valor/Valoración	Ensayo <sup>1</sup>	Supervisión <sup>2</sup>	Comentarios
<b>Rango de temperaturas</b>				
Rango de temperaturas <sup>1</sup>	Temperatura máx. de trabajo	+ 150 °C (+ 85 °C para la cinta)	EU 5768	o/• Ensayos según: EN 14706 EN 14707 EN 14304
	Temperatura mín. de trabajo	-50 °C		
<b>Conductividad térmica</b>				
Conductividad térmica	$\rho_m$	40 °C	$\lambda =$	EU 5786 o/• Declarado según: EN ISO 13787 Ensayos según: EN ISO 8497
	Coquillas $\lambda$	$\leq 0,042$ W/(m · K)	$[36,92 + 0,125 \cdot \rho_m + 0,0008 \cdot (\rho_m - 30)^2] / 1000$	
<b>Resistencia a la difusión del vapor de agua</b>				
Resistencia a la difusión del vapor de agua	$\mu$	$\geq 4,000$	EU 5768	o/• Ensayo según: EN 13469
<b>Comportamiento al fuego</b>				
Reacción al fuego	Euroclase	E	EU 5768	o/• Clasificado según: EN 13501-1 Ensayo según: EN ISO 11925-2
<b>Comportamiento en caso de incendio</b>				
Comportamiento en caso de incendio	Autoxtinguible, no gotea, no propaga la llama			
<b>Otras características técnicas</b>				
Dimensiones y tolerancias	Según EN 14304, tabla 1		EU 5768	o/• Ensayos según: EN 822, EN 823, EN 13467
Resistencia a los rayos UV	Muy buena		TB 142, D5793	o Ensayo según EN ISO 4892-2 (Xenon)
Tiempo de almacenaje	Material no autoadhesivo: Indefinido; Adhesivos: 1 año			

1. Para temperaturas superiores a +125 °C o inferiores a -50 °C, consulte nuestro Departamento Técnico  
2. En aplicaciones en el exterior, en circunstancias especiales, el material puede sufrir decoloración y algún pequeño agrietamiento en la superficie. Estos cambios no tienen influencia en las propiedades físicas del material, como pueden ser la conductividad térmica y el comportamiento en caso de incendio.  
<sup>1</sup> Puede solicitar las documentaciones refiriéndose al código de las mismas  
<sup>2</sup> • Supervisión oficial realizada por institutos independientes y/o organismos oficiales  
o = Ensayos realizados en nuestros departamentos de calidad.  
Todos los datos e informaciones técnicas están basados en resultados obtenidos bajo condiciones normales de uso. Es responsabilidad de los receptores de estos datos e información, por su propio interés, consultar con Armacell a la hora de proyectar, a fin de que los datos e informaciones suministrados puedan ser aplicados sin alteraciones en las áreas de uso concebidas. Las instrucciones de instalación están disponibles en nuestro Manual de Instalación Armacell. Antes de instalar tuberías de acero inoxidable, consulte nuestro Departamento Técnico. Debe utilizarse adhesivo Armacell HT925 para asegurar una correcta instalación. Para temperaturas inferiores a -50 °C o superiores a +150 °C, consulte nuestro Departamento Técnico.

## Interacumulador








### MVV-SB

#### Depósitos de un serpentín (posibilidad de resistencia eléctrica)

Indicados para situaciones en las que se necesitan grandes cantidades de agua caliente sanitaria con energía solar en edificios multifamiliares.

- Capacidades de 2000, 3000, 4000 y 5000 litros.



Modelo	Clasificación energética	Referencia	Código EAN	Capacidad (litros)	Descripción	Medidas alto x Ø (mm.)	Precio base de venta €
<b>Acumuladores intercambiadores de 1 serpentín (con posibilidad de incorporar resistencia eléctrica)</b>							
CV - 800 - M1		7 709 500 214	4 047 416 252 742	800	Depósitos fabricados en acero vitrificado, dotados de intercambiadores de serpentín sobredimensionados, para ofrecer la máxima capacidad de producción de agua caliente sanitaria con altos caudales específicos. Con posibilidad de incorporación de resistencia eléctrica de calentamiento.	1.840 Ø 950	<b>3.160</b>
CV - 1000 - M1		7 709 500 215	4 047 416 252 759	1.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura máxima de acumulación: 90°C.</li> <li>- Presión máxima de acumulación: 8 bar.</li> <li>- Boca de hombre DN - 400. (Conforme al CTE).</li> <li>- Modelo de 1500 es suministrado sin forro (opcional)</li> </ul>	2.250 Ø 950	<b>3.670</b>
CV - 1500 - M1		7 736 501 304	4 051 516 689 636	1.500		2.320 Ø 1.160	<b>5.915</b>
MVV - 2000 - SB		7 709 500 217	4 047 416 252 773	2.000	Depósitos de gran capacidad fabricados en acero vitrificado, dotados de intercambiadores de serpentín desmontables (realizados en acero inoxidable) para la producción de agua caliente sanitaria en instalaciones de gran consumo. Con posibilidad de incorporación de resistencia eléctrica de calentamiento.	2.300 Ø 1.160	<b>6.700</b>
MVV - 3000 - SB		7 709 500 218	4 047 416 252 780	3.000		2.325 Ø 1.660	<b>8.425</b>
<b>MVV - 4000 - SB</b>		7 709 500 219	4 047 416 252 797	4.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Superficie de intercambio apta para el uso en sistemas solares (adaptada al CTE).</li> <li>- Se suministran sin forro (opcional).</li> </ul>	2.345 Ø 1.910	<b>10.650</b>
MVV - 5000 - SB		7 709 500 220	4 047 416 252 803	5.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura máxima de acumulación: 90°C.</li> <li>- Presión máxima de acumulación: 8 bar.</li> <li>- Temperatura máxima en el circuito primario: 200 °C.</li> <li>- Presión máxima en el circuito primario: 25 bar.</li> <li>- Boca de hombre DN - 400. (Conforme al CTE).</li> </ul>	2.750 Ø 1.910	<b>12.300</b>
Válvula de Seguridad (6,0 bar.)		7 719 000 779	4 010 009 050 933		Obligatoria instalación		<b>25</b>

## Bomba circulación

### Especificaciones

Producto: MAGNA1 25-120  
Código: 99221215  
Número EAN: 5712608941887  
Precio: 1.188,00 EUR

### Técnico

Caudal real calculado: 5744 l/h  
Altura resultante de la bomba: 7.14 m  
Altura máx.: 120 dm  
Clase TF: 110  
Homologaciones en la placa de características: CE,VDE,EAC,CN ROHS,WEEE  
Modelo: C

### Materiales

Carcasa de la bomba: Hierro fundido  
Carcasa de la bomba: EN-GJL-200  
Carcasa de la bomba: ASTM A48-200B  
Impulsor: PES 30 % FIBRA VIDRIO

### Instalación

Rango de temperaturas ambientes: 0 .. 40 °C  
Presión de trabajo máxima: 10 bar  
Conexión de tubería: G 1 1/2"  
Presión nominal: PN10  
Longitud puerto a puerto: 180 mm

### Líquido

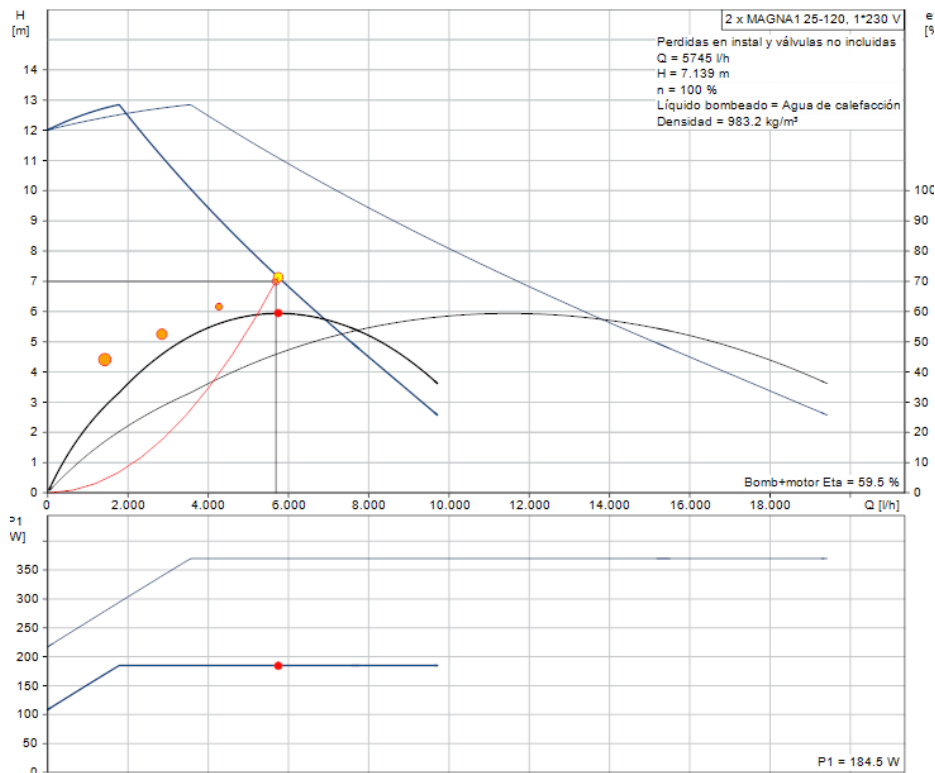
Líquido bombeado: Agua de calefacción  
Rango de temperatura del líquido: -10 .. 110 °C  
Densidad: 983.2 kg/m³

### Datos eléctricos

Potencia - P1: 8 .. 188 W  
Frecuencia de red: 50 / 60 Hz  
Tensión nominal: 1 x 230 V  
Consumo de intensidad máximo: 0.08 .. 1.51 A  
Grado de protección (IEC 34-5): X4D  
Clase de aislamiento (IEC 85): F

### Otros


Energía (IEE): 0.20  
Peso neto: 4.5 kg  
Peso bruto: 5 kg  
Volumen de transporte: 0.013 m³  
Finés: 4615234  
País de origen: DE  
Tarifa personalizada n.º: 84137030



**Purgador desairador**

**PURGADORES DE AIRE**



Código	Artículo	Pres. máx.	Altura mm (H)	Diám. mm (D)	Uds. caja	€
<b>PURGADOR DE BOYA DE COLUMNA</b>						
• Temperatura máxima: 110°C						
AC 01 021	Rosca 1/4"	10 bar	74	48	1	12,52
AC 01 022	Rosca 3/8" normal	10 bar	81	50	10	11,20
AC 01 026	Rosca 3/8" salida lateral	10 bar	46	40	16	11,41
AC 01 029	Rosca 3/8" "Mini"	6 bar	61	35	25	8,27
AC 01 024	Rosca 1/2" normal	10 bar	81	50	10	12,10
AC 01 019	Rosca 1/2" salida lateral	10 bar	46	40	16	10,60
AC 01 025	Rosca 3/4"	10 bar	68	35	10	17,50
<b>VÁLVULA RETENCIÓN PURGADOR</b>						
IM 29 201	Rosca 1/4" MH				25	3,90
AC 01 027	Rosca 3/8" MH				25	4,89
IM 29 203	Rosca 1/2" MH				50	2,63
IM 29 204	Rosca 1/2" M - 3/8" H				50	5,16
<b>PURGADOR BOYA GRAN CAPACIDAD</b>						
• Temperatura máxima: 80°C						
AC 01 028	Rosca 3/4" (Cuerpo fundición)	12 bar	160	140x120	1	280,18
AC 01 037	Rosca 1" (Cuerpo fundición)	12 bar	160	140x120	1	305,36
<b>PURGADOR BOYA ALTAS TEMPERATURAS</b>						
AC 01 038	Rosca 1/2" Temperatura max. 180°C	10 bar	78	47	10	14,00
• Temperatura máxima: 150°C						
AC 01 057	Rosca 3/8" PURG-O-MAT 100% acer inox	10 bar	81	44	10	178,46
AC 01 023	Rosca 3/8" PURG-INOX 2000	16 bar	122	84	1	118,30
<b>SEPARADORES DE AIRE</b>						
AC 01 102	Rosca 1"				1	91,45
AC 01 103	Rosca 1-1/4"				1	92,95
AC 01 104	Rosca 1-1/2"				1	138,25
AC 01 105	Rosca 2"				1	135,60
AC 01 106	Rosca 2-1/2"				1	306,85
AC 01 107	Rosca 3"				1	359,15

## Vaso de expansión

### IT 1.3.4.2.4

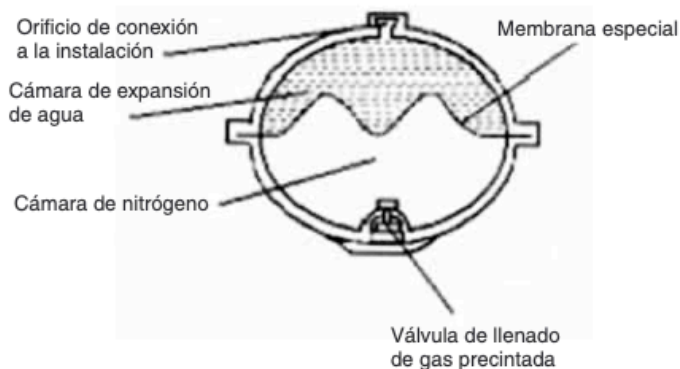
Los circuitos cerrados de agua o soluciones acuosas estarán equipadas con un dispositivo de expansión de tipo cerrado, que permita absorber, sin dar lugar a esfuerzos mecánicos, el volumen de dilatación del fluido.

Código	Artículo	Capacidad l	Presión máx. bar	Dimensiones D x H	Conex. de agua Ø	Precarga bar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura máxima: 130°C</li> <li>• Precarga: 2,5 bar</li> <li>• Apto para el uso hasta 50% anticongelante</li> </ul>						
<b>MEMBRANA FIJA</b>						
SO 09 021	5 SMF	5	10	200x240	3/4"	2,5
SO 09 022	8 SMF	8	10	200x335	3/4"	2,5
SO 09 023	12 SMF	12	10	270x304	3/4"	2,5
SO 09 024	18 SMF	18	10	270x405	3/4"	2,5
SO 09 025	24 SMF	24	8	320x425	3/4"	2,5
<b>MEMBRANA INTERCAMBIABLE</b>						
SO 09 026	35 SMR-P	35	10	360x615	1"	2,5
SO 09 027	50 SMR-P	50	10	360x750	1"	2,5
SO 09 028	80 SMR-P	80	10	450x750	1"	2,5
SO 09 029	100 SMR-P	100	10	450x850	1"	2,5
SO 09 030	220 SMR	200	10	485x1400	1-1/2"	2,5
SO 09 031	350 SMR	300	10	485x1965	1-1/2"	2,5
SO 09 032	500 SMR	500	10	600x2065	1-1/2"	2,5
SO 09 033	700 SMR	700	10	700x2215	1-1/2"	2,5

### Cálculo del vaso de expansión:

El vaso de expansión de una instalación térmica será siempre cerrado, tiene la función de absorber las variaciones de volumen del fluido calor-portante, contenido en el circuito solar, al variar su temperatura, manteniendo la presión entre límites preestablecidos e impidiendo, al mismo tiempo, pérdidas y reposiciones de la masa de fluido.

### Sección de un vaso de expansión cerrado:

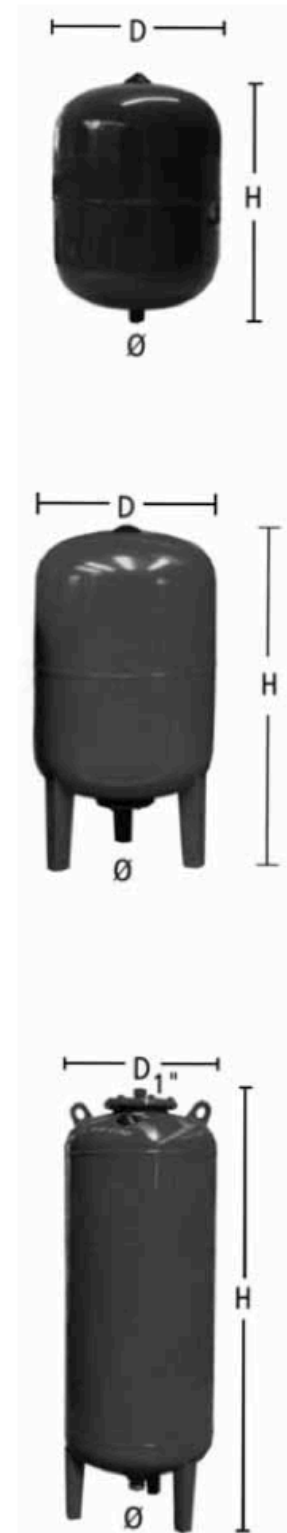


Para desarrollar el cálculo se ha de tener en cuenta

#### a) Capacidad de fluido de la instalación

Contenido de fluido calor-portante de los colectores.

Depende del modelo y características, para un colector plano de 2,5 m<sup>2</sup> se puede considerar entre 2 y 3 litros.



## Sistema de control

	<b>CS200+MS200</b>	7 736 503 556	4 054 925 929 959	Conjunto de controladores de circuito solar para la producción de a.c.s., apoyo a calefacción y calentamiento de piscina. Varios sistemas a modo de pictograma para elegir.	<b>360</b>
--	--------------------	---------------	-------------------	---	------------



### CS 200

- ▶ Centralita de control para la gestión de sistemas solares dedicados a la producción de a.c.s., apoyo a calefacción y calentamiento de piscina, en combinación con el módulo MS200.
- ▶ Sin posibilidad de conectar a un generador de calor.
- ▶ Alimentación a 230V.
- ▶ Basado en el CW400 (mismo concepto de display, menús y mismas funciones de control solar) pero para funcionamiento totalmente independiente del generador de calor.
- ▶ Sólo compatible con el MS200.
- ▶ Montaje en pared en local técnico.
- ▶ Display de grandes dimensiones con pictogramas para selección de hidráulica adecuada a su instalación solar.
- ▶ Mensajes de mantenimiento y error.

## 9.5 BIBLIOGRAFÍA

- [ANTH14] Anthony, Kohan. 2014. “Calderas Electricas y de Aplicaciones Especiales.” *Manual de Calderas: Principios Operativos de Mantenimiento, Construcción, Instalación, Reparación, Seguridad, Requerimientos y Normativas*, 131–64.
- [RITE13] Area de Normativa Técnica, Supervisión y Control. 2013. “Reglamento de Instalaciones Térmicas En Edificos, RITE.”
- [BAXI20] BAXI. 2020. “Guía Instalación Colector Sol 200/Sol 250/Sol 200h/Sol 250h.”
- [BIOM15] “Biomass Boiler Diagram.” 2015. Services, J & C’s Roofing | Building. 2015. <http://www.ecohomes-ne.co.uk/ecohomes-ne-services/heating-systems/biomass-heating-systems>.
- [CALD20] “Calderas de Condensación: La Guía Definitiva.” n.d. Accessed April 26, 2020. [https://www.climahorro.es/smartblog/776\\_calderas-condensacion-guia-compra.html](https://www.climahorro.es/smartblog/776_calderas-condensacion-guia-compra.html).
- [CODI15] Código Técnico, El. n.d. “DIMENSIONADO DE LAS INSTALACIONES 2 INSTALACIONES DE SUMINISTRO DE AGUA A VIVIENDAS.”
- [EURO19] Eurostat. n.d. “EU Non-Household Electricity and Gas Prices.” 2019. Accessed July 19, 2020. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20190521-1>.
- [GUIA10] General de Planificación Energética Seguimiento, Subdirección. 2010. “GUÍA ASIT DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.”
- [HEGA07] Hegazy, Adel. 2007. “Effect of Inlet Design on the Performance of Storage-Type Domestic Electrical Water Heaters.” *Applied Energy* 84 (December): 1338–55. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2006.09.014>.
- [IDAE09] IDAE. 2009. “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura.” *Solar Collectors, Energy Storage, and Materials* 53 (9): 61–78.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

[IDAE06] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. 2006. “Energía Solar Térmica.”

[IDAE10] IDAE, Ministerio de Industria y Turismo. 2010. “Guía Técnica Agua Caliente Sanitaria Central.”

———. 2018. “Guía Técnica de Energía Solar.”

[LUTZ04] Lutz, James D. 2004. “Lest We Forget, a Short History of Housing in the United States.” *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, (1), 189-199. [https://aceee.org/files/proceedings/2004/data/papers/SS04\\_Panel1\\_Paper17.pdf](https://aceee.org/files/proceedings/2004/data/papers/SS04_Panel1_Paper17.pdf).

[MARR17] Marrot i Ticó, Jordi. 2017. “La Calidad Del Aire Interior En Los Edificios de Viviendas.” *El Instalador*. [https://www.slideshare.net/slideshow/embed\\_code/key/b6CnO1ZO2VPFdb](https://www.slideshare.net/slideshow/embed_code/key/b6CnO1ZO2VPFdb).

[DBHE19] Ministerio de Fomento del Gobierno de España. 2019. “DBHE, Documento Básico Ahorro Energía. Código Técnico de La Edificación (CTE).” BOE 23 de-junio-2017.

[CARB15] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2015. “Guía Para El Cálculo de La Huella de Carbono y Para La Elaboración de Un Plan de Mejora de Una Organización.” *Gobierno de España*, 65. [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia\\_huella\\_carbono\\_tcm30-479093.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf).

[SEAE09] Oficina de Vivienda, Comunidad de Madrid. 2009. “CTE. DOCUMENTO BÁSICO SE-AE SEGURIDAD ESTRUCTURAL: ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN,” no. Cic.

[GUIA03] Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. 2003. *Guía Técnica Para La Prevención y Control de La Legionelosis En Instalaciones*.

