

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

PROYECTO DE FIN DE CARRERA: INSTALACIONES DE AGUA CALIENTE SANITARIA Y CALEFACCIÓN CON USO SIGNIFICATIVO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Fecha: 28/06/2012

AUTOR: Begoña Hernaiz Serrano

TUTOR: Mathieu Legrand

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

TÍTULO: Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

AUTOR: Begoña Hernáiz Serrano

TUTOR: Mathieu Legrand

EL TRIBUNAL

PRESIDENTE:

SECRETARIO:

VOCAL:

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto de Fin de Carrera el día___ de Junio de 2012 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgar al alumno la calificación de:

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quería agradecerle a mi familia (y Ton) todo el apoyo, comprensión, cariño y aguante durante estos últimos años, y en particular en las épocas de examen... No ha sido fácil, pero sé que con este paso van a liberarse casi tanto como yo.

De la Universidad, me llevo 3 amigos especiales, Javidurías, Ig y Lele, con los que he compartido muchísimos momentos en la carrera: risas, cotilleos, nervios, estrés, prácticas, apuntes... y que espero que los buenos momentos con ellos duren mucho más. No me olvido de los "yogus", que aparecieron un poco más tarde, pero que también recordaré.

A mis amigas de toda la vida, que siempre me han apoyado en todo. Espero que sigan siempre conmigo, haciéndome pasar buenísimos momentos en los que desestresarse de todo.

A los amigos/as que he ido conociendo durante estos últimos años, animándome y distrayéndome siempre de mis quehaceres. Siempre con alguna tentación, ¡ya no me daréis envidia!

Gracias a Miguel Fisac por su tiempo, sus ideas, su apoyo y toda su sabiduría. Este proyecto no habría sido posible sin ti.

También quiero mencionar a mi tutor, Mathieu Legrand por los consejos y enseñanzas durante estos últimos meses, por la paciencia que ha tenido al corregir y resolver dudas; y por todas las dificultades que un proyecto de fin de carrera implica.

Por último, quiero darte las gracias a ti, por estar siempre a mi lado apoyándome en todo, y por ser tan especial.

Seguramente me olvide de gente, pero gracias a todos por poner vuestro granito de arena para que cerrara este ciclo de mi vida.

Muchísimas gracias a todos.

RESUMEN

En el presente proyecto se va a calcular y diseñar una instalación solar térmica en una vivienda en Madrid para abastecer agua caliente sanitaria y calefacción.

Primero se va a estudiar el emplazamiento de la vivienda para poder tener en cuenta las características de la zona climática y poder realizar un mejor estudio de sus necesidades, además de estudiar la vivienda en sí, sus planos, superficies actuales y su ocupación.

Después se va a calcular la demanda de agua caliente sanitaria y la carga térmica, es decir, las pérdidas y ganancias del edificio para saber qué necesidades se van a tener que cubrir con la instalación.

Se va a fijar la superficie de captación en unos 30 m². El siguiente paso será calcular las pérdidas que tiene la propia instalación. Es decir, las pérdidas térmicas en los captadores, en los conductos tanto exteriores como interiores y en el tanque de acumulación. Estos cálculos van ligados a los cálculos de la instalación. Para ellos, se va a hacer un balance de energía en los elementos de la instalación y se resolverán unas ecuaciones con el programa MATHCAD con las que se obtendrán las temperaturas del circuito y la fracción solar aportada por la instalación.

Se comprobará que existe un calor excedente en los meses de verano, que se disipará a la piscina de la vivienda.

A continuación se realizará un estudio de impacto ambiental de la instalación para calcular el ahorro de las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Después se realizará un estudio económico de la instalación, calculando tanto el coste inicial de la instalación (material), como el ahorro que supone el combustible, y el periodo de amortización.

Por último, se concluirá acerca de si es viable y rentable o no la implantación de la instalación en la vivienda a modo de análisis final de los objetivos planteados a lo largo del proyecto.

Se recogerán también una serie de posibles mejoras y futuros proyectos.

ABSTRACT

This project deals with a thermal solar installation design and calculation for a house in Madrid, in order to ensure an adequate central heating and hot water supply.

In a first step, the house location will be analyzed, so as to better assess specific climate zone characteristics affecting general requirements; this analyze shall include other elements such as drawings, actual surfaces and occupation.

Then, in order to assess energy needs to be covered by the installation, thermal load and hot water requirements will be calculated including building's energy gains and losses.

Collecting area is set up at 30 sq. Meters. The next step is to calculate installation thermal losses including all components, i.e. internal and external ducts, collectors and accumulator as part of the installation calculation itself. This calculation includes an energy balance for all installation elements, solving some equations using MATHCAD and obtaining as a result circuit temperatures and solar fraction.

Excess heat in summer months will be dissipated in the swimming pool.

An environmental impact analysis shall also be performed, in order to calculate the reduction of CO₂ emissions to the atmosphere.

An installation economic analysis including initial investments (material), labour costs, fuel savings and payback period will follow.

All previous analyses, assessments and studies will indicate whether or not the implementation of such installation is profitable, thus fulfilling the Project objectives. Conclusions shall also include potential improvements and future developments.

Contenido

INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	11
1. DATOS DEL EMPLAZAMIENTO: MADRID	13
1.1. Generalidades	13
1.2. Zona Climática	14
1.3. Datos de radiación solar en la zona de la vivienda	15
1.4. Temperatura media ambiente	17
2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO Y SUS SUPERFICIES	18
2.1. Vistas principales del edificio	18
2.2. Superficies útiles actuales	19
2.3. Planos	20
3. LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA	20
3.1. Generalidades	21
3.1.1. Ámbito de aplicación y normativa aplicable	21
3.1.2. Procedimiento de verificación	21
3.2. Caracterización y cuantificación de las exigencias	21
3.2.1. Demanda energética	21
3.2.2. Envolvente térmica del edificio	22
3.2.3. Transmitancia térmica límite	24
4. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE ACS	26
4.1. Cálculo general de la demanda de ACS	26
4.2. Cálculo de la demanda térmica para el consumo de ACS	28
5. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA DEL EDIFICIO	32
5.1. Condiciones interiores y exteriores del edificio	32
5.1.1. Condiciones interiores de diseño	32
5.1.2. Condiciones exteriores de diseño	33
5.2. Cargas por transmisión	34
5.3. Cargas por radiación	38
5.4. Cargas por ventilación	40
5.4.1. Cargas por ventilación sensible	40
5.4.2. Cargas por ventilación latente	42
5.5. Cargas Internas	43
5.5.1. Cargas por ocupación	43

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

5.5.2.	Cargas por iluminación.....	44
5.5.3.	Cargas debidas a los electrodomésticos	44
5.6.	Cargas por infiltraciones	45
5.7.	Resultados totales.....	45
6.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	48
6.1.	Sistema de captación	49
6.1.1.	Funcionamiento de los captadores solares.....	50
6.1.2.	Captadores solares.....	50
6.1.3.	Diseño del sistema de captación	52
6.2.	Sistema de acumulación	54
6.2.1.	Diseño del sistema de acumulación.....	54
6.3.	Sistema de energía auxiliar	57
6.3.1.	Caldera de gasoil.....	57
6.4.	Sistema de intercambio de calor	59
6.4.1.	Diseño del sistema de intercambio.....	59
6.5.	Sistema de regulación y control	60
6.6.	Sistema de distribución o hidráulico	62
6.6.1.	Elementos del sistema hidráulico	62
6.7.	Sistema de expansión	63
6.7.1.	Diseño del sistema de expansión.....	63
7.	CÁLCULO DE PÉRDIDAS TÉRMICAS EN COLECTORES	66
7.1.	Propiedades del aire	66
7.2.	Características del fluido portador	67
7.3.	Cálculo de las pérdidas en el colector	68
8.	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR CONDUCTOS DEL CIRCUITO PRIMARIO	70
8.1.	Cálculos previos	70
8.2.	Resistencias térmicas en los conductos exteriores.....	73
8.3.	Resistencias térmicas en los conductos interiores	75
8.5.	Pérdidas por conductos.....	78
9.	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS EN EL TANQUE DE ACUMULACIÓN	79
9.1.	Resistencias térmicas del acumulador	79
9.2.	Pérdidas de calor en el tanque de acumulación	80
10.	DISEÑO DE LA INSTALACIÓN PARA EL SUMINISTRO DE ACS Y CALEFACCIÓN.....	82
10.1.	Sistema de ecuaciones y datos de partida.....	83

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

10.1.1.	Balance de energía en los captadores.....	83
10.1.2.	Balance de energía en el intercambiador	84
10.1.3.	Eficiencia en el intercambiador de calor	85
10.1.4.	Balance de energía en el tanque de acumulación	85
10.1.5.	Balance de la demanda de calefacción	86
10.1.6.	Temperatura media en el tanque de acumulación.....	86
10.1.7.	Grado de estratificación en el tanque de acumulación	86
10.1.8.	Fracción solar mínima	87
10.1.9.	Pérdidas en los conductos de entrada	87
10.1.10.	Pérdidas en los conductos de salida	87
10.1.11.	Datos iniciales	87
10.2.	Resultados.....	91
10.2.1.	Valores de temperaturas del circuito y fracción solar	91
10.2.3.	Pérdidas por conductos.....	94
10.2.4.	Pérdidas en el tanque de acumulación	95
11.	SISTEMA DE DISIPACIÓN DE CALOR: PISCINA	98
11.1.	Valores iniciales y dimensionamiento	98
11.2.	Pérdidas en la piscina	100
11.3.1.	Radiación incidente.....	102
11.3.2.	Excedente de calor.....	102
11.3.3.	Resultados	102
12.	PÉRDIDA DE CARGA DEL CIRCUITO PRIMARIO	105
12.1.	Pérdida de carga en las tuberías.....	105
12.2.	Pérdida de carga en los captadores.....	107
12.3.	Pérdida de carga en la estación solar	108
12.4.	Pérdida de carga en el intercambiador de calor	108
12.5.	Pérdidas de carga totales	109
13.	CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO PRIMARIO	109
13.1.	Cálculo de la bomba	109
13.2.	Cálculo del intercambiador de calor	110
13.3.	Cálculo del vaso de expansión.....	110
14.	PÉRDIDA DE CARGA DEL CIRCUITO DE CONSUMO	112
14.1.	Pérdida de carga de la bomba	112
15.	CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO DE CONSUMO	115

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

15.1.	Cálculo de la bomba	115
15.2.	Cálculo del vaso de expansión.....	116
16.	ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA INSTALACIÓN	119
16.1.	Ahorro de emisiones de CO ₂	119
17.	ESTUDIO ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN.....	123
17.2.	Ahorro económico.....	125
17.2.1.	Ahorro económico en combustible	125
	Ahorro económico en CO ₂	125
17.3.	Periodo de amortización	126
	Conclusiones y trabajos futuros	129
	Bibliografía	130
	Anexos.....	132
	ANEXO I. FOTOS DE LA VIVIENDA ESTUDIADA	132
	ANEXO II. FICHAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN	134
	ANEXO III. ENSAYO CENER.....	141
	ANEXO IV. PROGRAMACIÓN EN MATHCAD	142
	ANEXO V. PLANOS.....	156

INTRODUCCIÓN

Las necesidades energéticas a nivel mundial son muy elevadas y el 80% de la energía que se consume la proporcionan los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón). Además, dado que el sector energético representa aproximadamente el 2,5% del PIB de España, es de vital importancia reducir la dependencia exterior del país en este aspecto. Esto implica la necesidad de investigar y promover nuevas fuentes de energía alternativas, que además sean respetuosas con el medio ambiente y capaces de abastecer las necesidades energéticas del país.

Sin embargo, poco a poco van adquiriendo cada vez más importancia a las energías renovables (eólica, solar y biomasa). Principalmente, se debe a la concienciación de la sociedad para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (principalmente CO₂) por la quema de combustibles fósiles, como puede ser ejemplo de ello, el protocolo de Kioto o el Plan 20 20 20, para combatir el calentamiento global.

Otro motivo a destacar de potencial crecimiento de las energías renovables, es que cada vez van siendo más económicas y eficientes, y están en continuo desarrollo. Este tipo de instalaciones está cobrando cada vez mayor importancia en edificios y viviendas (para los edificios de nueva construcción es obligatorio instalar paneles solares) ya que la parte de energía consumida tanto para agua caliente sanitaria, calefacción o aire acondicionado, es una parte considerable de la demanda energética española. El presente proyecto tratará de calcular y diseñar una instalación solar térmica, para abastecer una vivienda de agua caliente sanitaria y calefacción.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El principal objetivo de este proyecto, tal y como se ha mencionado anteriormente, es calcular y diseñar una instalación solar térmica para una vivienda en Madrid, capaz de abastecer agua caliente sanitaria (ACS de ahora en adelante) y calefacción.

Para ello, habrá que calcular tanto la demanda de ACS como de calefacción en la vivienda y así conocer las necesidades que tiene que suplir la instalación

Además, habrá que buscar información acerca de los elementos de los que se compone la instalación (paneles solares, tanque de acumulación...etc) entre varios proveedores, y estudiar sus características, modelos y precios.

Habrà que hacer un estudio ambiental para conocer cuánto ahorro de emisiones de CO₂ supone la instalación, y realizar un estudio económico para conocer la magnitud del proyecto y su viabilidad.

Todos los estudios y datos utilizados están respaldados por la normativa vigente, es decir, el Código Técnico de la Edificación (CTE), el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), y el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Térmicas de Baja Temperatura del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE).

BLOQUE I:

Descripción y localización de la vivienda

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

1. DATOS DEL EMPLAZAMIENTO: MADRID

En este proyecto de fin de carrera se va a diseñar una instalación solar térmica en una vivienda unifamiliar situada en la Comunidad de Madrid, más concretamente en la localidad de Alcobendas. El emplazamiento y la localización de la vivienda influyen en los cálculos que se harán posteriormente de la radiación solar y el cálculo de cargas térmicas.

1.1. Generalidades

Los principales datos a tener en cuenta sobre la situación geográfica de la ciudad (Madrid), son los siguientes: (Fuente: IDAE, Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía)

- Altitud: 655 m
- Latitud: 40° Norte
- Longitud: 3° Oeste

Más concretamente, el edificio que se va a estudiar, está situado a 13 km al norte de la capital. Limita con los municipios de San Sebastián de los Reyes al norte, al oeste y al sur con el de Madrid, y al este con el de Paracuellos del Jarama.

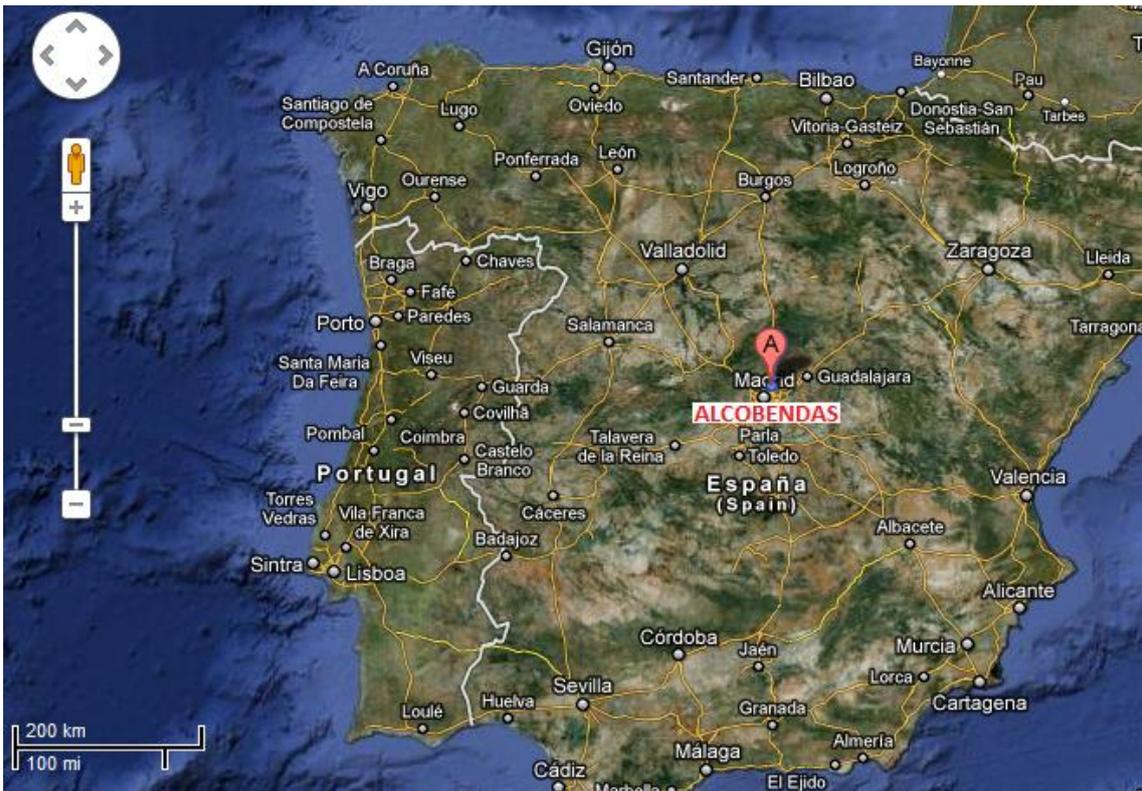


Figura 1. Localización de Alcobendas en España

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

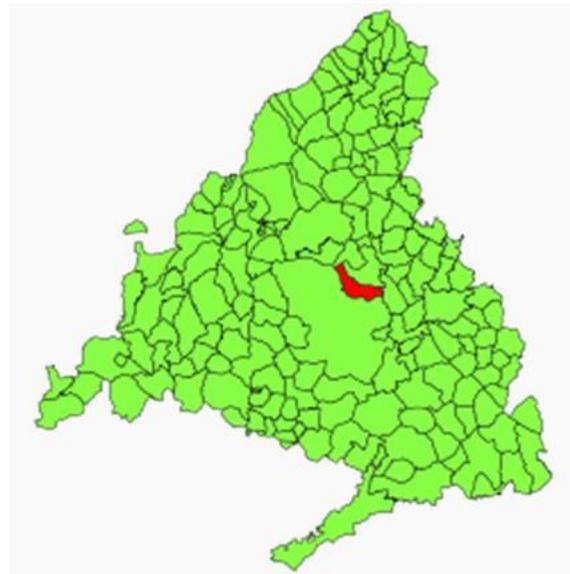


Figura 2. Localización de Alcobendas en la Comunidad de Madrid

El solar de la vivienda se encuentra aislado en la calle de Cerro del Aire, y la propiedad consta de 3817 m², la edificación en sí tiene 593,57 m², el resto del solar es un jardín abierto.



Figura 3. Vista aérea

1.2. Zona Climática

El Código Técnico de la Edificación español divide el territorio nacional en 5 grandes zonas climáticas, cara al diseño e implantación de instalaciones solares térmicas. El mapa que aparece a continuación muestra dichas zonas donde se hallan

tabulados diversos valores como la radiación solar global, horas de sol y el factor solar mínimo que debe existir para instalaciones de ACS en función de la demanda, y realizar los posteriores cálculos necesarios.

Madrid pertenece a la Zona climática IV según el CTE-DB-HE:

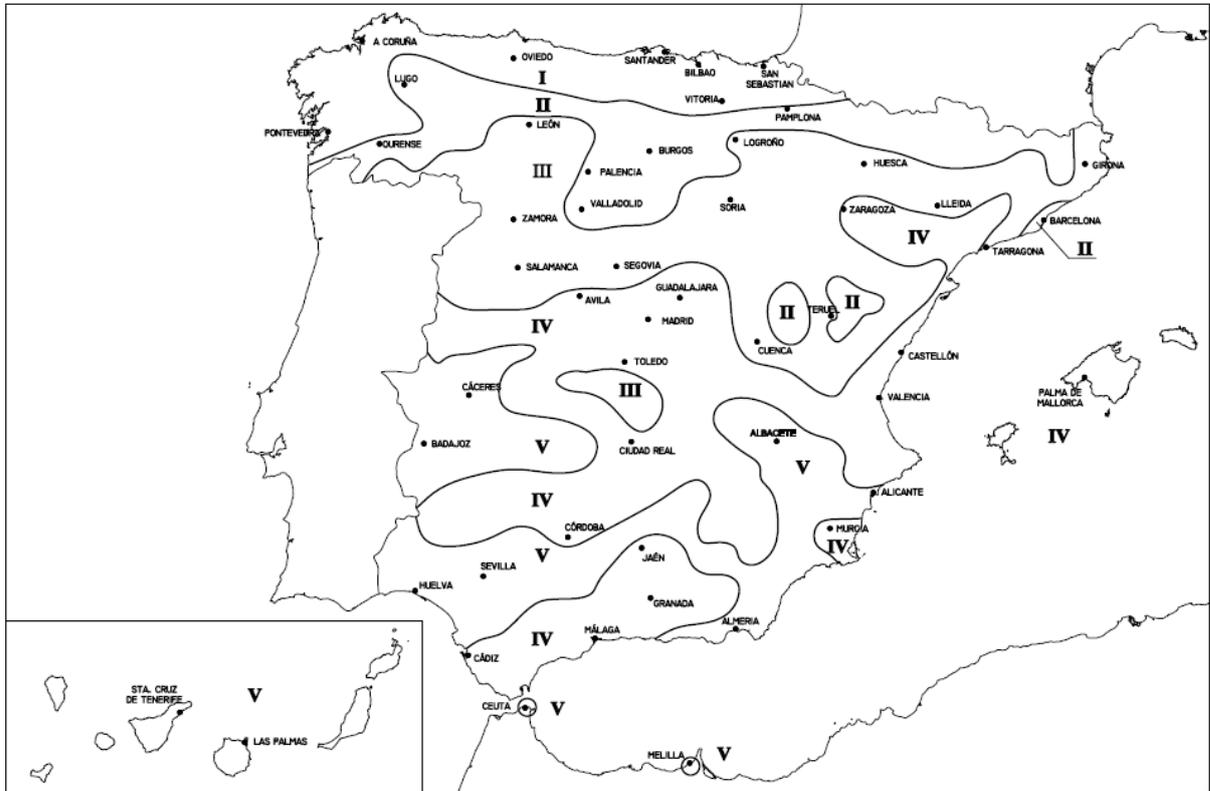


Figura 4. Zonas climáticas en España (Fuente: CTE-DB-HE)

1.3. Datos de radiación solar en la zona de la vivienda

La siguiente tabla recoge los valores medios mensuales y por año de radiación solar para Madrid en MJ/ m². Estos valores corresponden a superficies horizontales, por lo que se aplicará un factor de modificación según la inclinación de los paneles y la latitud de la vivienda, tal y como determina el CTE ya que presenta valores diferentes según los criterios mencionados anteriormente.

Energía en megajulios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes. (Fuente: CENSOLAR).

Nota: También se podrán tomar en consideración los valores indicados en la norma UNE 94003.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
30 MADRID	6,7	10,6	13,6	18,8	20,9	23,5	26	23,1	16,9	11,4	7,5	5,9	15,4

Tabla 1. Datos de radiación en Madrid. (Fuente: CTE-DB-HE)

LATITUD = 40°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,07	1,06	1,05	1,03	1,02	1,01	1,02	1,03	1,05	1,08	1,09	1,09
10	1,14	1,11	1,08	1,05	1,03	1,02	1,03	1,06	1,1	1,14	1,17	1,16
15	1,2	1,16	1,12	1,07	1,03	1,02	1,04	1,08	1,14	1,21	1,25	1,24
20	1,25	1,2	1,14	1,08	1,03	1,02	1,03	1,09	1,17	1,26	1,32	1,3
25	1,3	1,23	1,16	1,08	1,02	1	1,02	1,09	1,19	1,3	1,38	1,36
30	1,34	1,26	1,17	1,07	1,01	0,98	1,01	1,09	1,2	1,34	1,43	1,41
35	1,37	1,28	1,17	1,06	0,98	0,95	0,98	1,07	1,21	1,37	1,47	1,45
40	1,39	1,29	1,16	1,04	0,95	0,92	0,95	1,05	1,21	1,39	1,5	1,48
45	1,4	1,29	1,15	1,01	0,91	0,88	0,92	1,03	1,2	1,39	1,52	1,5
50	1,41	1,28	1,13	0,98	0,87	0,83	0,87	0,99	1,18	1,39	1,54	1,52
55	1,4	1,27	1,1	0,94	0,82	0,78	0,82	0,95	1,15	1,38	1,54	1,52
60	1,39	1,24	1,07	0,89	0,77	0,72	0,77	0,9	1,12	1,36	1,53	1,51
65	1,37	1,21	1,03	0,84	0,71	0,66	0,71	0,85	1,07	1,34	1,51	1,5
70	1,34	1,17	0,98	0,78	0,64	0,59	0,64	0,79	1,02	1,3	1,49	1,47
75	1,3	1,13	0,92	0,72	0,57	0,52	0,57	0,73	0,97	1,25	1,45	1,44
80	1,25	1,08	0,86	0,65	0,5	0,45	0,5	0,66	0,9	1,2	1,41	1,4
85	1,2	1,02	0,8	0,58	0,43	0,37	0,42	0,58	0,84	1,14	1,35	1,35
90	1,14	0,95	0,73	0,5	0,35	0,29	0,34	0,5	0,76	1,07	1,29	1,29

Tabla 2. Factor de inclinación según latitud. (Fuente: CTE-DB-HE)

En la siguiente tabla se tienen las horas de sol medias útiles para cada mes en Madrid. Se usarán continuamente estos valores para calcular cargas térmicas por radiación, y posteriormente la radiación incidente en los captadores solares. (Fuente: AEMET)

Mes	Horas de sol/mes
Enero	148
Febrero	157
Marzo	214
Abril	231
Mayo	272
Junio	310
Julio	359
Agosto	335
Septiembre	261
Octubre	198
Noviembre	157
Diciembre	124

Tabla 3. Horas útiles de sol mensuales

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

1.4. Temperatura media ambiente

Se obtiene la temperatura media ambiente durante las horas de sol. Se necesitan principalmente estos datos cuando se calculen las cargas térmicas de la instalación. Los siguientes datos los proporciona el IDAE.

Temperatura ambiente media durante las horas de sol, en °C. (Fuente: CENSOLAR).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
30 MADRID	6	8	11	13	18	23	28	26	21	15	11	7	15,6

Tabla 4. Temperatura ambiente media

NOTA: para el correcto cálculo de las cargas térmicas de la instalación, no se puede hacer una media anual con los datos, sino que se han de hacer con los datos más desfavorables, que generalmente serán los del mes más frío del año.

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO Y SUS SUPERFICIES

2.1. Vistas principales del edificio



Figura 5. Fachada principal con orientación Sur



Figura 6. Fachada posterior norte

2.2. Superficies útiles actuales

Aunque en el anexo V aparecen con más detalle y acotados los planos de la casa, la figura siguiente proporciona una idea de la planta principal de la vivienda que se está estudiando.

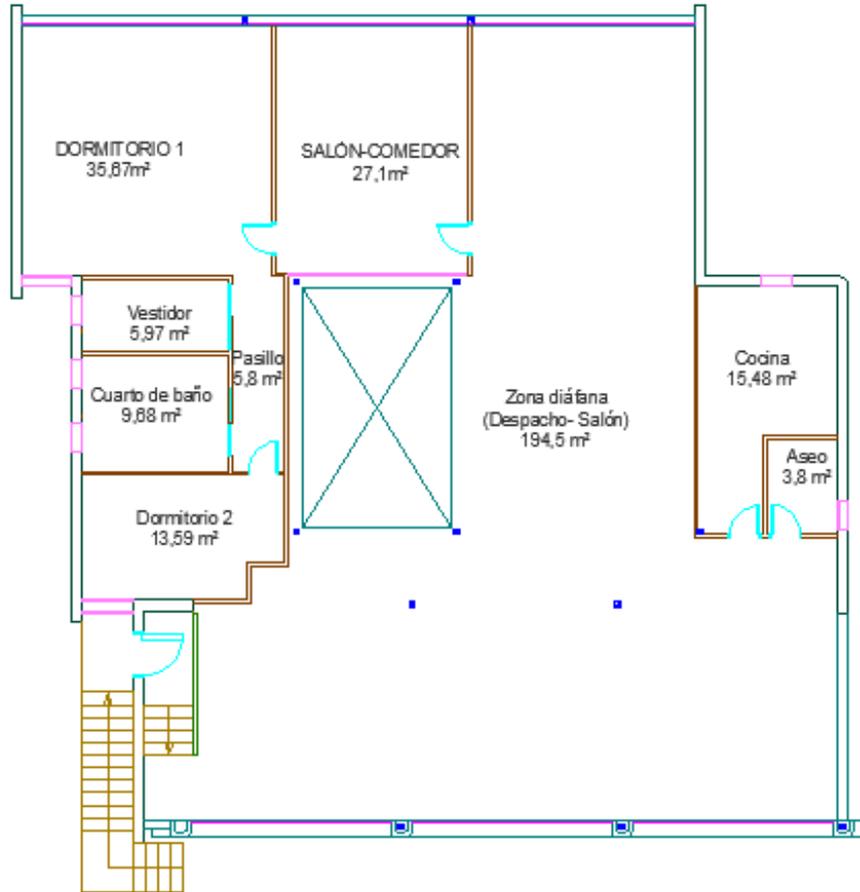


Figura 7. Planta principal de la vivienda

El plano anterior corresponde a la parte superior de la casa, que es la que se utiliza como vivienda. Aparte, en la planta baja hay un sótano con varias estancias (entre otras la sala de máquinas donde estarán ubicados varios componentes de la instalación) que no está calefactado, y que por tanto no es relevante para los cálculos de la instalación.

- Porche: 83 m²
- Sótano (no calefactado):

Cuarto de calderas: 19,68 m²

Cuarto de baño: 9,26 m²

Oficina: 105,15 m²

Sala de descanso: 37,36 m²

Sala de trabajo: 59,1 m²

2.3. Planos

A continuación se pueden ver los planos del alzado de la casa. Al igual que para la Figura 7, en el anexo V vienen con más detalle y con escala las siguientes figuras, no obstante sirven para tener una idea aproximada de la vivienda donde se está diseñando y calculando la instalación térmica.

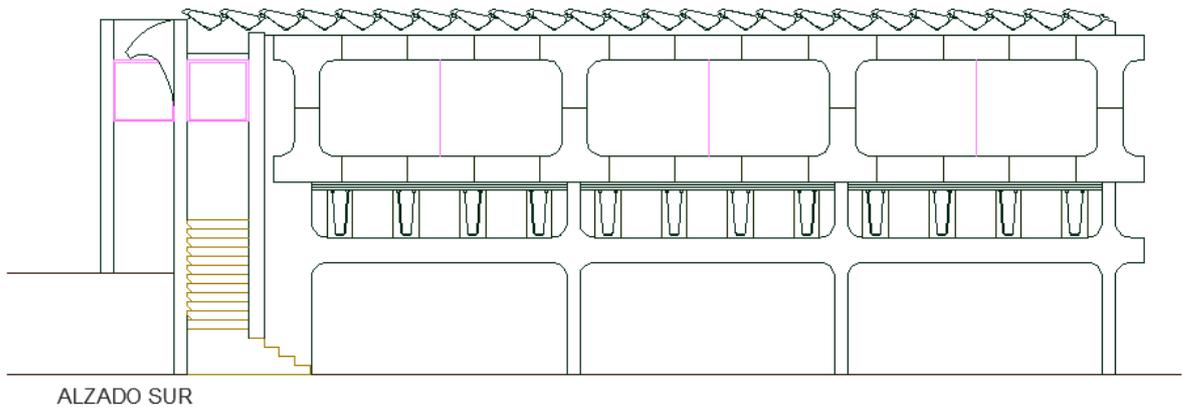


Figura 8. Fachada principal o fachada Sur

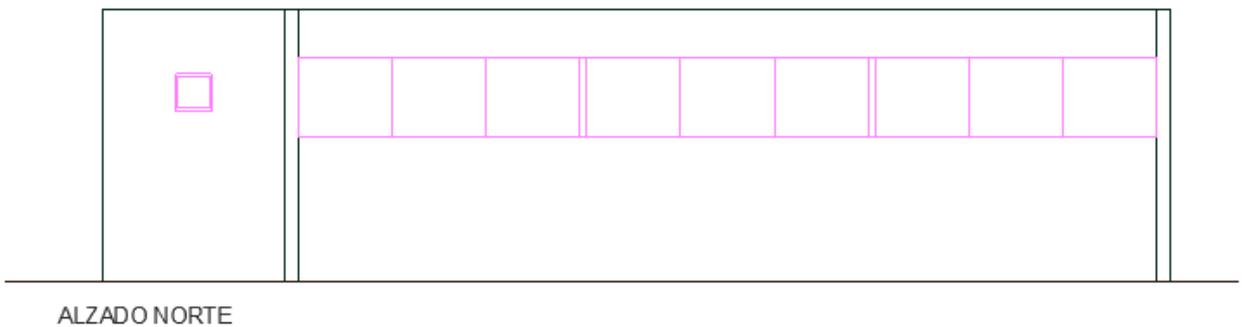


Figura 9. Contrafachada o fachada Norte

3. LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

En el siguiente apartado se va a estudiar la normativa aplicable para edificios, para ver si la vivienda cumple con los requisitos que impone el Código Técnico. De todas formas, ya que la vivienda no es de nueva construcción, sino que lleva muchos años construida, solamente se puede calcular si cumple o no con la normativa de la limitación de la demanda energética, pero no se puede cambiar nada si no cumple.

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

3.1. Generalidades

3.1.1. Ámbito de aplicación y normativa aplicable

El ámbito de aplicación de esta Sección, es para edificios de nueva construcción, o modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes con una superficie útil superior a 1000m² donde se renueve más del 25% del total de sus cerramientos. Aunque la vivienda ya está construida, es interesante ver si cumple con los requisitos.

Existen excepciones dónde no se van a aplicar los criterios de limitación de demanda energética, como los edificios y monumentos protegidos oficialmente, los edificios utilizados como lugares de culto, instalaciones industriales... etc.

3.1.2. Procedimiento de verificación

Existen dos métodos para verificar el cumplimiento de las limitaciones:

- Opción simplificada: Es la que se suele usar para viviendas. Se ha de calcular la envolvente térmica y comparar los valores obtenidos con los valores límites permitidos.
- Opción general: basada en la evaluación de la demanda energética de los edificios mediante la comparación de ésta con la correspondiente a un edificio de referencia que define la propia opción.

Ya que no se dispone de un edificio de referencia que defina la propia instalación, se seguirá la opción simplificada.

3.2. Caracterización y cuantificación de las exigencias

3.2.1. Demanda energética

La demanda de energía de los edificios varía según la zona climática en la que se encuentren y la carga interna en sus espacios. Se habla de demanda de calefacción en los meses de invierno, y de demanda de climatización para los meses de verano. Existen 12 zonas climáticas diferentes. Es una división diferente a la que se ha visto en apartados anteriores, que correspondían a una división respecto a la radiación solar. Las letras de la siguiente tabla corresponden a la severidad climática en invierno, y los números corresponden a la severidad climática en verano.

SC (verano)	A4	B4	C4		E1
	A3	B3	C3	D3	
			C2	D2	
			C1	D1	
SC (invierno)					

Tabla 5. Severidad climática

Capital de provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1

Según se puede observar en la tabla anterior proporcionada por el CTE, Madrid y sus municipios colindantes corresponde a la zona climatológica D3.

3.2.2. Envolvente térmica del edificio

En la sección HE1 del Código Técnico se puede elegir entre dos opciones para calcular la envolvente térmica del edificio. La opción general, y la simplificada que es la que se elige:

Respecto a los parámetros característicos que componen la envolvente térmica, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- La superficie de lucernarios debe ser inferior al 5% de la superficie total de la cubierta
- La superficie de huecos en cada fachada sea inferior al 60% de su superficie

El lucernario que se encuentra en el espacio llamado “Zona diáfana-Salón/Despacho” tiene un área de $3,6 \cdot 5,8 = 20,88 \text{ m}^2$. Teniendo en cuenta que la superficie de la cubierta se puede considerar como la suma de todas las áreas que hay dibujadas en la Figura 7 que representa la planta de la zona habitable puesto que todas están cubiertas, y cuyo valor es $311,49 \text{ m}^2$, se obtiene que la superficie del lucernario corresponde al 6,7% de la superficie total de la cubierta. Por tanto, la vivienda no cumple en este punto.

Por otra parte, respecto a los huecos en cada fachada, claramente el problema lo tenemos en la Norte y en la Sur. Las otras dos cumplen sin problema ya que no tienen casi huecos.

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

$A_{huecos\ SUR} = 31,9\ m^2$ y $A_{pared\ SUR} = 56,38\ m^2$. Lo que supone el 56,6% de la superficie total

$A_{huecos\ NORTE} = 24,36\ m^2$ y $A_{pared\ NORTE} = 47,125\ m^2$. Lo que supone el 51,7% de la superficie total.

Por tanto, la vivienda cumple con la segunda condición.

Los elementos característicos que definen la envolvente térmica se agrupan en los siguientes tipos:

- transmitancia térmica de muros de fachada UM;
- transmitancia térmica de cubiertas UC;
- transmitancia térmica de suelos US;
- transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno UT (en el edificio estudiado no existe contacto directo con el terreno para la parte habitable...);
- transmitancia térmica de huecos UH;
- factor solar modificado de huecos FH;
- factor solar modificado de lucernarios FL;
- transmitancia térmica de medianerías UMD.



Figura 10. Envolvente térmica del edificio

Donde:

L: lucernario

M₁: Muro

H: huecos

S₁: suelo con contacto con el terreno o zona no habitable.

Con la siguiente tabla, se leen los valores máximos de las transmitancias térmicas para los muros, suelos, cubiertas, vidrios y medianerías. No obstante, será en el Bloque III del cálculo de la demanda de calefacción, concretamente en el apartado 5.2 de

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Cálculo de cargas por transmisión dónde se encuentran los cálculos de las transmitancias según la zona climática. Los datos se sacan del CTE- DB-HE 1)

Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica
U en W/m²K

<i>Cerramientos y particiones interiores</i>	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos ⁽²⁾	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas ⁽³⁾	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

(1) Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m
 (2) Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos
 (3) Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanes no habitables, se consideran como cubiertas

Figura 11. Transmitancias térmicas máximas

3.2.3. Transmitancia térmica límite

Se recogen los valores de las transmitancias térmicas límite de la vivienda para la zona climática D3, proporcionados por el CTE. DB-HE 1, que tendría que cumplir el edificio. Después de calcular la transmitancia global de la envolvente (ver apartado 5.2 para el cálculo de transmitancias) se ha de compararla con el valor máximo permisible por la normativa.

ZONA CLIMÁTICA D3										
Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno					U_{Mlim}: 0,66 W/m² K					
Transmitancia límite de suelos					U_{Slim}: 0,49 W/m² K					
Transmitancia límite de cubiertas					U_{Clim}: 0,38 W/m² K					
Factor solar modificado límite de lucernarios					F_{Llim}: 0,28					
% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos⁽¹⁾ U_{Hlim} W/m²K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N	E/O	S	SE/SO	Carga interna baja			Carga interna alta		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

(1) En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada U_M, definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,47 W/m²K se podrá tomar el valor de U_{Hlim} indicado entre paréntesis para las zonas climáticas D1, D2 y D3.

Figura 12. Transmitancia térmica límite

BLOQUE II:

Cálculo de la demanda de ACS

4. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE ACS

4.1. Cálculo general de la demanda de ACS

A través del CTE-DB-HE se obtienen los siguientes datos para la demanda diaria de agua caliente sanitaria (ACS) en litros, para la vivienda.

Se puede observar en la tabla a continuación que se necesitan 30 litros de agua a 60° por persona y día para una vivienda unifamiliar. No obstante, hay que tener en cuenta que la vivienda sirve también de oficina (criterio de demanda de Administrativos) para 2 de las personas de la vivienda; por tanto, también hay que contabilizarlos.

Demanda de referencia a 60°C		
Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Figura 13. Demanda de referencia de ACS a 60°C

- Número de personas por vivienda utilizando los valores mínimos siguientes:

Nº de dormitorios	Nº de personas
1	1,5
2	3
3	4
4	6
5	7
6	8
7	9
8	9
Más de 8	Igual que el número de dormitorios

Figura 14. Número mínimo de personas en función del número de dormitorios

La vivienda tiene 2 dormitorios, por tanto se considera un valor mínimo de 3 personas. Hay que hacer los cálculos con el valor más desfavorable, por tanto, como en la vivienda realmente viven 4 personas, se tendrá en cuenta ese valor. Tomando el valor calculado anteriormente de 30L/persona y día, se utilizaría un mínimo de 120L/día en la vivienda como gasto del criterio de demanda unifamiliar, y 6L/día como gastos de demanda de Administrativo para 2 personas. Esto supone un total de 126 L/día de consumo de ACS.

El CTE establece que el consumo de ACS en viviendas será diferente según el día del mes. Para evidenciar esta variación en los cálculos, se va a utilizar un factor de corrección con el que se obtiene el cálculo del consumo de ACS corregido:

Mes	Días por mes	Consumo mensual L/mes	Factor de corrección	Consumo corregido L/mes
Enero	31	3.906	1,39	5.429,34
Febrero	28	3.528	1,24	4.374,72
Marzo	31	3.906	1,07	4.179,42
Abril	30	3.780	0,89	3.364,2
Mayo	31	3.906	0,77	3.007,62
Junio	30	3.780	0,72	2.721,6
Julio	31	3.906	0,77	3.007,62
Agosto	31	3.906	0,9	3.515,4
Septiembre	30	3.780	1,12	4.233,6
Octubre	31	3.906	1,36	5.312,16
Noviembre	30	3.780	1,53	5.783,4
Diciembre	31	3.906	1,51	5.898,06

Tabla 6. Consumo mínimo mensual de ACS

La gráfica siguiente muestra la variación de la demanda mensual del consumo de ACS en L/mes:

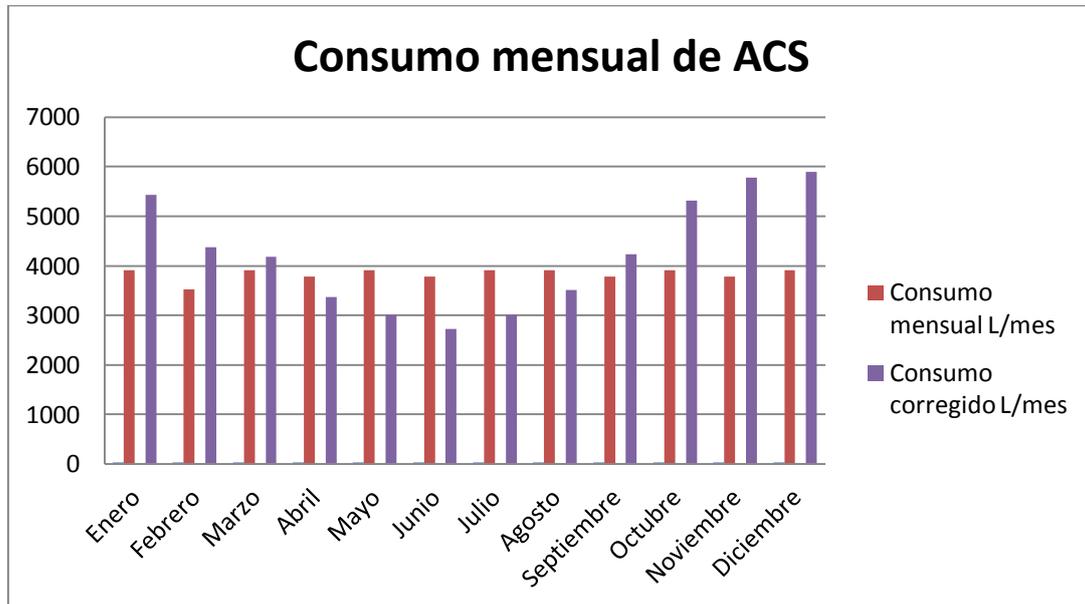


Figura 15. Gráfica del consumo mensual de ACS

Los resultados obtenidos son coherentes ya que es normal que la demanda disminuya para los meses de verano debido al aumento de la temperatura ambiente.

4.2. Cálculo de la demanda térmica para el consumo de ACS

Para el cálculo de la demanda térmica de ACS se utilizará la siguiente fórmula:

$$Q_{ACS} = \dot{m}_{consumo} \cdot C_{p_{agua}} \cdot (T_{sum} - T_{red})$$

Siendo:

Q_{ACS} : Demanda de carga térmica para ACS (kJ/mes)

$\dot{m}_{consumo}$: Consumo mensual (kg/mes)

$C_{p_{agua}}$: Capacidad calorífica del agua 4,18 (kJ/kg·K)

T_{sum} : Temperatura de suministro del agua, 60°C especificada en el CTE

T_{red} : Temperatura del agua de red (ver tabla siguiente)

La siguiente tabla recoge el valor de la demanda térmica de ACS para cada mes según los datos proporcionados por el CTE y CENSOLAR, y cuya variación depende tanto del consumo mensual como de la temperatura del agua de red en la zona climática de la vivienda:

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Mes	Consumo corregido L/mes	T _{red} (°C)	T _{sum} (°C)	Q _{acs} (KJ/mes)
Enero	5.429,34	6	60	1225510
Febrero	4.374,72	7	60	969175
Marzo	4.179,42	9	60	890968
Abril	3.364,2	11	60	689055
Mayo	3.007,62	12	60	603448
Junio	2.721,6	13	60	534685
Julio	3.007,62	14	60	578305
Agosto	3.515,4	13	60	690635
Septiembre	4.233,6	12	60	849429
Octubre	5.312,16	11	60	1088036
Noviembre	5.783,4	9	60	1232905
Diciembre	5.898,06	6	60	1331310

Tabla 7. Demanda de ACS al mes

Con estos datos, se obtiene una demanda anual para la vivienda de **7630638,07 KJ**.

A continuación, la gráfica con la variación de la demanda de ACS:

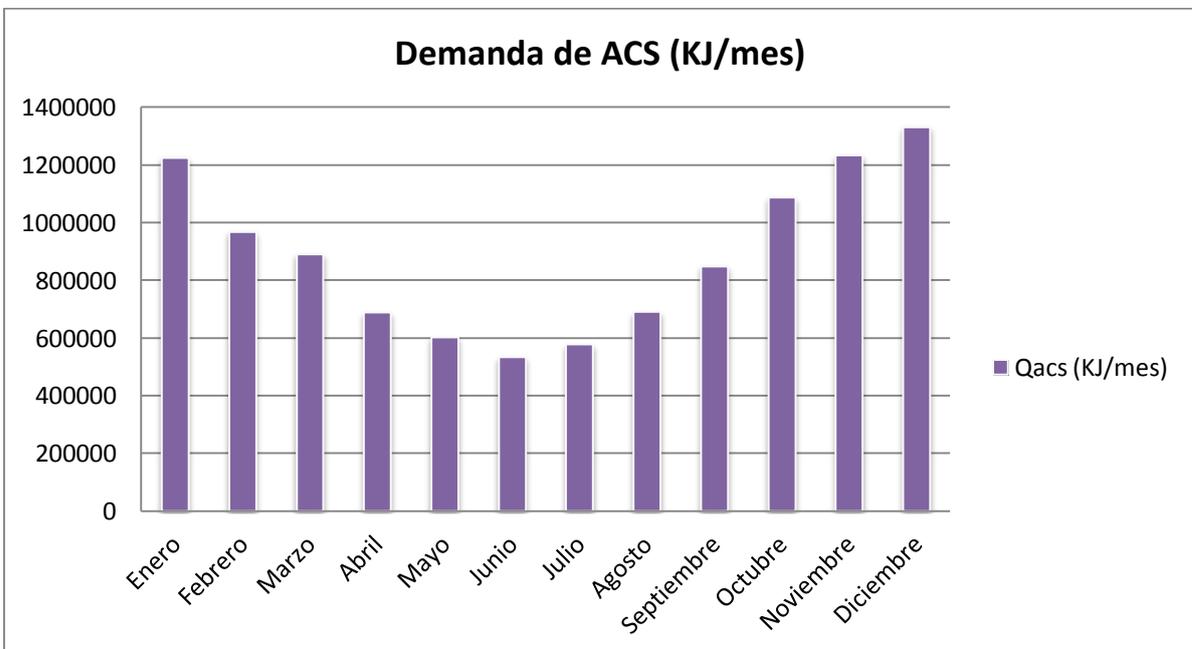


Figura 16. Demanda de ACS al mes

Es normal que sea mayor en los meses de Diciembre y Enero por ser más fríos y además tener 31 días. En los meses de verano, la temperatura de red del agua aumenta y se necesita aportar menos energía para calentar el agua a 60°.

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales. Si se considera el valor de 126L/día obtenido antes, y que la zona climática a la que pertenecía Madrid era la IV, a través de la siguiente tabla se obtiene una contribución solar mínima de 60%. (La fuente de energía de apoyo es gasóleo, por lo que se utilizará el caso general).

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Contribución solar mínima en %. Caso general				
	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70

Figura 17. Contribución solar mínima para Madrid según el CTE

Una vez que se conoce la demanda de ACS y la fracción solar que tiene que cubrir la instalación, se puede empezar con los cálculos para el diseño de la instalación solar en la vivienda.

En este bloque se ha calculado primero el consumo de ACS para la vivienda, y posteriormente la demanda térmica que se necesita para ese consumo. Además, debido a la situación de la vivienda, se ha estimado la fracción solar en 60%. Estos datos servirán para calcular posteriormente el diseño de la instalación que corresponde al Bloque VI.

BLOQUE III:

Cálculo de la carga térmica del edificio

5. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA DEL EDIFICIO.

5.1. Condiciones interiores y exteriores del edificio

Las condiciones de diseño para calcular la carga térmica de la vivienda vienen especificadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

5.1.1. Condiciones interiores de diseño

Se necesita determinar las condiciones óptimas para el confort y bienestar térmico de la vivienda. Hay que definir la temperatura seca y operativa del aire, la humedad relativa y la velocidad media del aire en la zona ocupada. El RITE proporciona directamente los dos primeros parámetros.

Ambos parámetros dependen de la actividad metabólica de las personas, que en este caso corresponden a un perfil de personas con actividad metabólica sedentaria de 1,2 met (unidad metabólica 1 met= 58,2 W/m²), del grado de vestimenta de 0,5 clo (unidad de resistencia térmica de la ropa: 1 clo=0,155m²·°C/W) en verano y 1 clo en invierno, es decir que en verano llevan menos ropa que en invierno; y del porcentaje estimado de insatisfechos con un PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) entre 10% y 20% que corresponde a la gente que se puede considerar más friolera o calurosa que la media y necesitan condiciones diferentes a la estándar para su confort.

Para el tercer parámetro de la tabla, la velocidad de impulsión en climatización, aparte de que deba mantenerse dentro de los límites de bienestar, hay que tener en cuenta como en los parámetros anteriores, la actividad de las personas y la vestimenta, y además la temperatura del aire y la intensidad de la turbulencia.

Se darán dos casos:

- Con difusión por mezcla, intensidad de la turbulencia de un 40% y PPD por corrientes de aire de 15%:

$$V = \frac{t}{100} - 0,07$$

Dónde t es la temperatura seca.

- Con difusión por desplazamiento, intensidad de la turbulencia de 15% y PPD por corrientes de aire menor al 10%:

$$V = \frac{t}{100} - 0,10$$

Estación	Temperatura de confort	Humedad relativa	Velocidad impulsión climat.
Verano	23-25 °C	45-60 %	0,16-0,18 m/s
Invierno	21-23 °C	40-50 %	-

Tabla 8. Condiciones de confort

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Se han determinado los rangos de los parámetros para las condiciones óptimas de confort, y ahora se van a fijar unos parámetros dentro de esos rangos para los cálculos posteriores.

Verano:

- Temperatura de confort: 23-25 °C
- Humedad relativa: 50%
- Velocidad de impulsión para climatización: 0,16 m/s

Invierno:

- Temperatura de confort: 22°C
- Humedad relativa: 45%

5.1.2. Condiciones exteriores de diseño

Las condiciones exteriores de la localización vienen determinadas por la temperatura del agua de red, la temperatura media ambiental y la humedad relativa.

En la siguiente tabla se determinan los valores para cada mes, de cada uno de los parámetros que se han nombrado anteriormente.

Mes	T _{red} (°C)	T _{ambiente media} (°C)	Humedad relativa (%)
Enero	6	6,2	71
Febrero	7	7,4	66
Marzo	9	9,9	56
Abril	11	12,2	55
Mayo	12	16	51
Junio	13	20,7	46
Julio	14	24,4	37
Agosto	13	23,9	39
Septiembre	12	20,5	50
Octubre	11	14,7	63
Noviembre	9	9,4	70
Diciembre	6	6,4	73

Tabla 9. Condiciones exteriores según AEMET y CENSOLAR

En la gráfica siguiente aparece la variación de los datos de la humedad relativa media mes a mes, y de la temperatura ambiente media. Se observa que mientras que la temperatura disminuye durante los meses de invierno, la humedad relativa, al contrario, aumenta.

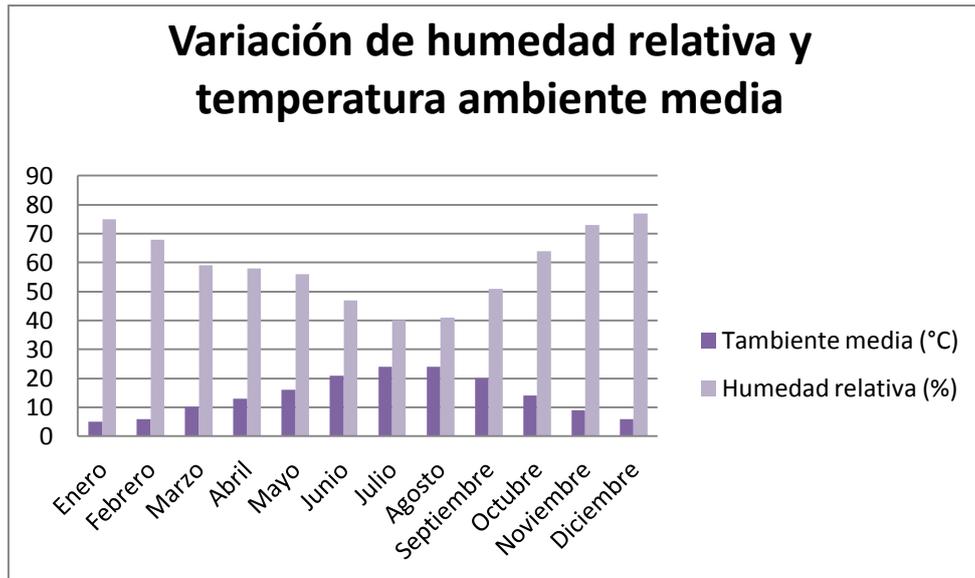


Figura 18. Variación de la humedad relativa y la temperatura ambiente media según el mes

5.2. Cargas por transmisión

Se deben a fenómenos de transmisión de calor a través de las paredes, el suelo y el techo del edificio. Dicha transmisión puede darse tanto con el exterior como con otras zonas no climatizadas de la casa.

- Circuito térmico equivalente

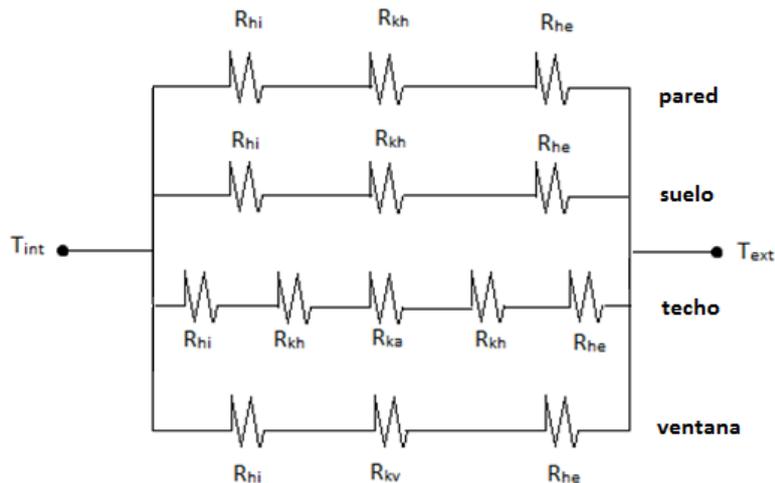


Figura 19. Circuito térmico equivalente.

Donde:

- T_{int} : temperatura interior de la vivienda = 22°C
- T_{ext} : temperatura en el exterior (tablas)
- h_i : coeficiente de convección interior = 7,7 W/m²·K

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

- h_e : coeficiente de convección exterior = $25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- paredes y suelo: las paredes están compuestas exclusivamente de 25cm hormigón (1600 kg/m^3) “catálogo de elementos constructivos del CTE”), cuya resistencia térmica es de $K_h=0,97 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- techo: el techo tiene un espesor total de 25cm, con 3 capas diferenciadas: 10cm de hormigón cuya conductividad térmica es $K_h=0,97 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, una capa de 5cm de perlita expandida (aislante) cuya conductividad térmica es $K_a=0,062 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, y otra capa de 10cm de hormigón.
- ventanas: están compuestas de 1cm de vidrio (vidrio sodocálcico) cuya conductividad térmica es $K_v= 1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

NOTA: Para obtener los valores de los coeficientes de convección, se busca en la tabla E.1 del CTE de “Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$. Como posición del cerramiento y sentido del flujo de calor, se seleccionan cerramientos verticales o con pendiente sobre horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal. Para obtener los valores de los coeficientes de convección se hace la inversa de los valores que nos dan. De esta manera conseguimos los valores presentados arriba.

- Cálculo de las resistencias térmicas

$$R_h = \frac{1}{h \cdot A}$$

$$R_k = \frac{e}{k \cdot A}$$

donde “e” corresponde al espesor y A al área de cada zona de transmisión.

- $A_{\text{ventana}} = 55,49 \text{ m}^2$
- $A_{\text{paredes}} = 158,035 \text{ m}^2$
- $A_{\text{techo}} = 311,59 \text{ m}^2$
-

· PARED

$$U_{\text{pared}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_p}{K_H} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{7,7} + \frac{0,25}{0,97} + \frac{1}{25}} = 2,334 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

• TECHO

$$U_{techo} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_h}{K_H} + \frac{e_a}{K_A} + \frac{e_h}{K_H} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0,1}{0,97} + \frac{0,05}{0,0062} + \frac{0,1}{0,97} + \frac{1}{25}}$$
$$= 0,8676 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

• VENTANA

$$U_{ventana} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_v}{K_V} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{7,7} + \frac{0,01}{1} + \frac{1}{25}} = 5,5596 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

• SUELO

Contacto suelo-sótano:

$$U_{ss} = U_p \cdot b$$

Donde:

U_p : Transmitancia térmica de la partición interior en contacto con el espacio no habitable.

b : Coeficiente de reducción de temperatura.

$$\frac{A_{iu}}{A_{ue}} = \frac{311,59}{230,55} = 1,35 \rightarrow b = 0,73$$

$$U_p = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_s}{K_H} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,15}{0,97} + 0,17} = 2,0217 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

$$U_{ss} = U_p \cdot b = 2,0217 \cdot 0,73 = 1,476 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Las temperaturas que se utilizan para calcular el calor perdido suelo-sótano, son las mismas que para el resto ya que ya se está teniendo en cuenta para el cálculo de la transmitancia el factor b de reducción de temperatura.

Contacto suelo-aire:

$$U_{sa} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_s}{K_H} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,15}{0,97} + 25} = 2,742 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Contacto	Transmitancia ($W/m^2 \cdot K$)
Pared	2,334
Techo	0,8676
Ventana	5,5596
Suelo-sótano	1,476
Partición interior	2,0217
Suelo-aire	2,742

Tabla 10. Valor de transmitancias térmicas

- Cálculo del calor perdido

Para calcular el calor que se pierde a través de las paredes, suelo y ventanas, se utiliza la siguiente fórmula, teniendo en cuenta la diferencia de temperaturas para cada mes, y la resistencia térmica total.

$$\dot{q} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

La tabla siguiente muestra los resultados obtenidos del calor perdido para cada mes. Se observa que en los meses de Julio y Agosto nos sale un valor del calor perdido negativo, lo que significa que en vez de perder calor, entra en la vivienda.

Meses	T int	Text	q pared	q techo	q ventana	q suelo-aire	q suelo-sótano	q total
Enero	22	6,2	5709,33	4316,95	4874,33	3595,86	5376,61	23873,08
Febrero	22	7,4	5275,71	3989,08	4504,13	3322,76	4968,26	22059,94
Marzo	22	9,9	4372,33	3306,02	3732,88	2753,79	4117,53	18282,55
Abril	22	12,2	3541,23	2677,6	3023,32	2230,34	3334,86	14807,35
Mayo	22	16	2168,1	1639,35	1851,01	1365,52	2041,75	9065,73
Junio	22	20,7	469,75	355,19	401,05	295,86	442,38	1964,23
Julio	22	24,4	-867,24	-655,74	-740,41	-546,21	-816,70	-3626,30
Agosto	22	23,9	-686,56	-519,13	-586,15	-432,41	-646,55	-2870,80
Septiembre	22	20,5	542,02	409,84	462,75	341,38	510,44	2266,43
Octubre	22	14,7	2637,85	1994,54	2252,07	1661,38	2484,13	11029,97
Noviembre	22	9,4	4553,01	3442,63	3887,13	2867,58	4287,68	19038,03
Diciembre	22	6,4	5637,06	4262,3	4812,63	3550,34	5308,55	23570,88

Tabla 11. Pérdidas de calor por transmisión

Por tanto, las mayores cargas de transmisión se dan por las paredes de la vivienda como se observa en la tabla anterior.

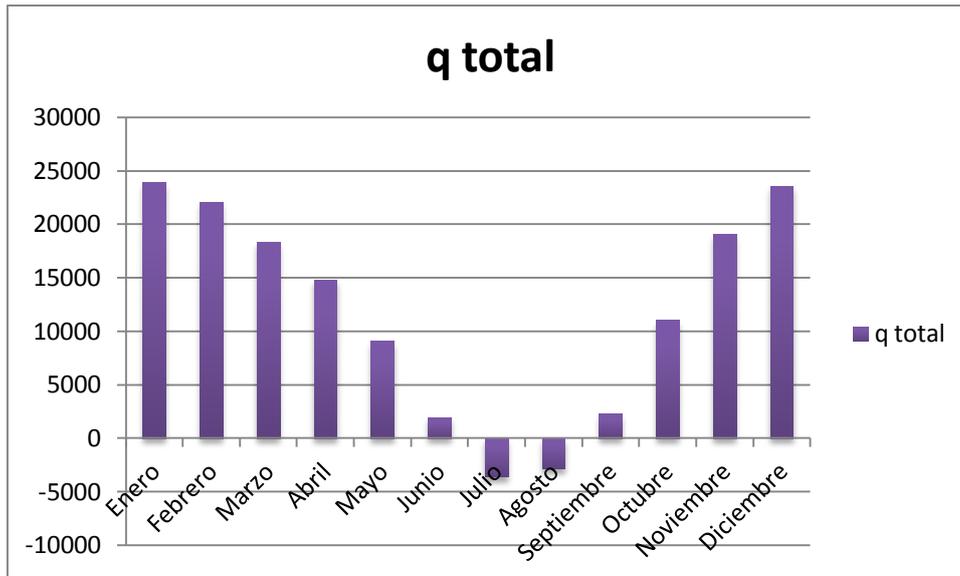


Figura 20. Gráfica del calor perdido por transmisión.

5.3. Cargas por radiación

Este tipo de carga siempre va a ser positiva en invierno y negativa en verano. Se debe a la energía que aportan los rayos del sol que penetran a través de las ventanas, y que aportan calor a la vivienda. Esta carga tendrá especial importancia en invierno ya que, al estar el sol más inclinado incidirá con un ángulo más favorable sobre las ventanas, lo que ayudará a ahorrar costes en calefacción.

La calculo a partir de la siguiente fórmula puesto que se tienes como dato la irradiación a través de los cristales que viene proporcionada por el IDAE:

$$Q = \sum_{i=1}^{12} I_i \cdot A_i \cdot k$$

donde:

- Q : carga global por radiación (W)
- I_i : irradiación a través de los cristales según la orientación (W/m^2)
- A_i : área expuesta a la radiación (m^2)
- k : factor de corrección para superficies inclinadas

Cálculo del factor solar:

$$F = F_s [(1 - FM) \cdot g_\tau + FM \cdot 0.04 \cdot U_m \cdot \alpha]$$

donde:

- $FM=0$ ya que no hay marco en las ventanas;
- F_s es el factor de sombra. Solamente se tiene en cuenta el de voladizo
- g_τ es el factor solar de la parte semitransparente del hueco a incidencia normal.

$g_{\tau} = 0.78$. Este dato se ha obtenido del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (vidrio sencillo de 10 mm de espesor).

El cálculo del factor de sombras se ha realizado entrando en la tabla E.11 del CTE con $L = 2,4$ m, $D = 0,5$ m y $H = 1,9$ m.

Por lo que el factor solar queda:

$$F = F_s \cdot g_{\tau} = 0,39 \cdot 0,78 = 0,3042$$

El área que se considera expuesta a radiación es solo el de las ventanas con orientación Sur, ya que las del Este y Oeste pueden considerarse prácticamente despreciables, y por la cara Norte tampoco entrará radiación solar ya que la órbita del sol tiene inclinación Sur. $A_{ventanas} = 31,9 \text{ m}^2$

Mes	Energía (MJ/m ² · día)	Horas de sol mensuales	k	Q (W)
Enero	6,7	148	1,14	4173,24
Febrero	10,6	157	0,95	5186,62
Marzo	13,6	214	0,73	3751,48
Abril	18,8	231	0,5	3290,57
Mayo	20,9	272	0,35	2174,7
Junio	23,5	310	0,29	1777,7
Julio	26	359	0,34	1991,19
Agosto	23,1	335	0,5	2787,99
Septiembre	16,9	261	0,76	3979,37
Octubre	11,4	198	1,07	4981,71
Noviembre	7,5	157	1,29	4983,18
Diciembre	5,9	124	1,29	4963,35

Tabla 12. Carga por radiación

A través de esta gráfica se puede ver cómo se obtiene una mayor potencia por radiación en los meses más fríos, lo cual es un efecto positivo ya que esto ayudará a ahorrar energía de calefacción. Como anteriormente se ha citado este fenómeno se debe a que los rayos del sol en invierno inciden con una mayor inclinación que en verano.

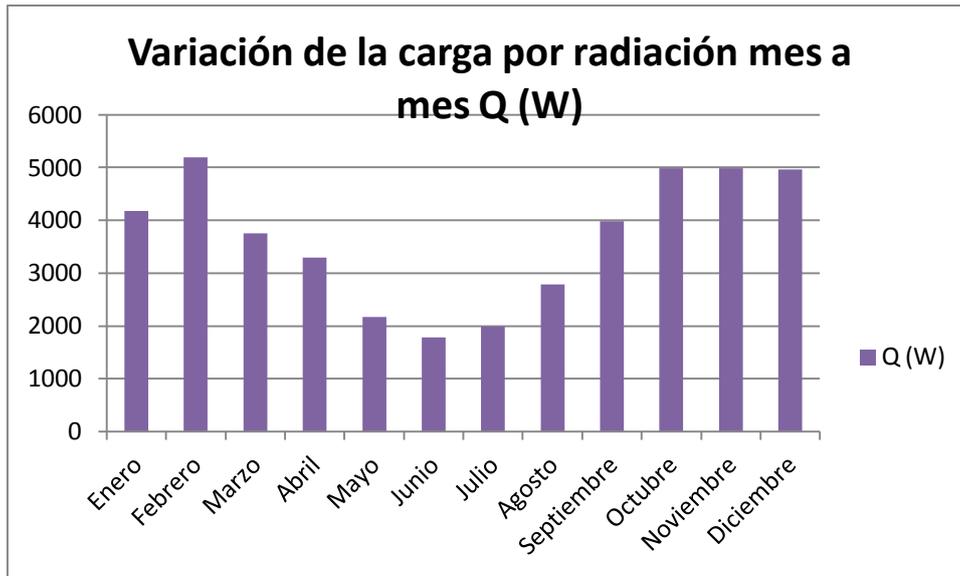


Figura 21. Variación de la carga por radiación.

5.4. Cargas por ventilación

Cuando se hacen los cálculos de cargas por ventilación, hay que tener en cuenta dos tipos. Las cargas por ventilación sensible, donde se tiene en cuenta la potencia calorífica introducida por tener dos fluidos a diferente temperatura, y las cargas por ventilación latente que se deben a la potencia calorífica de la humedad relativa del aire.

5.4.1. Cargas por ventilación sensible

$$Q = V_{vent} \cdot \rho_{aire} \cdot Cp_{aire} \cdot (T_{local} - T_{ambiente})$$

Se necesitan los siguientes caudales para calcular la carga total que proporciona el CTE:

- dormitorios: 5 L/s · persona
- sala de estar y comedor: 3 L/s persona
- Aseos y cuarto de baño: 15 L/s · local
- Cocina: 2 L/s · m²

V_{vent} corresponde al caudal por ventilación total y se calcula de la siguiente manera:

$$V_{vent} = 5 \cdot 2 + 5 \cdot 2 + 2 \cdot (3 \cdot 4) + 2 \cdot 15 + 2 \cdot 15,8 = 105,6 L/s = 0,1056 m^3/s$$

Donde:

- ρ_{aire} : Densidad del aire = 1,18 Kg/m³ (a 22°C y 1 atm)
- Cp_{aire} : Calor específico del aire a temperatura ambiente = 1004,67 J/Kg · K

T_{local} : Temperatura local =22°C
 $T_{ambiente}$: Temperatura ambiente

Con lo que se obtiene $Q = 0,1056 \cdot 1,18 \cdot 1004,67 \cdot (22 - T_{ambiente})$

Y para las diferentes temperaturas según el mes del año, se obtienen los valores de la carga por ventilación recogidos en la siguiente tabla:

Meses	Tambiente (°C)	Tlocal (°C)	Q (W)
Enero	6,2	22	1978,00
Febrero	7,4	22	1827,77
Marzo	9,9	22	1514,80
Abril	12,2	22	1226,86
Mayo	16	22	751,14
Junio	20,7	22	162,75
Julio	24,4	22	-300,46
Agosto	23,9	22	-237,86
Septiembre	20,5	22	187,78
Octubre	14,7	22	913,89
Noviembre	9,4	22	1577,39
Diciembre	6,4	22	1952,96

Tabla 13. Carga térmica de ventilación sensible

Se puede observar según los resultados obtenidos en la tabla anterior, que en los meses de verano donde hace más calor, entra calor en la vivienda ya que se ha obtenido un valor negativo.

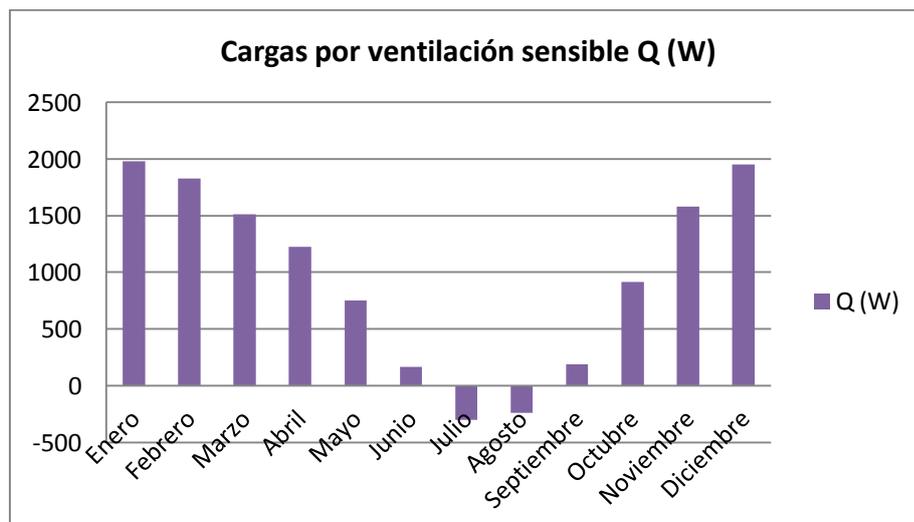


Figura 22. Variación de la carga por ventilación sensible

5.4.2. Cargas por ventilación latente

Las cargas por calor latente se deben a la humedad que hay en el aire. Se calcula el calor que se pierde por pasar parte de aire que entra a vapor.

$$Q = V_{vent} \cdot \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (w_i - w_e)$$

Donde:

- V_{vent} : Caudal por ventilación latente = $0,1056 \text{ m}^3/\text{s}$
- ρ_{aire} : Densidad del aire = $1,18 \text{ Kg}/\text{m}^3$
- h_{fg} : Entalpía de formación del agua = $2451,8 \text{ KJ}/\text{Kg}$
- w_e : Humedad específica exterior (g/g)
- w_i : Humedad específica interior del local (g/g)

Las humedades específicas pueden obtenerse introduciendo los datos de temperatura y humedad relativa en un diagrama psicrométrico.

No obstante, se ha encontrado un software desarrollado por el departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de San Sebastián (www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm), con el que se pueden obtener resultados más precisos de las humedades específicas, ya que además de introducir los datos anteriormente mencionados, se introduce la presión.

Mes	HR i	HR e	T int (°C)	T ext (°C)	w int (g/g)	w ext (g/g)	Q (W)
Enero	45	71	22	6,2	0,008013	0,004508	1.070,83
Febrero	45	66	22	7,4	0,008013	0,004551	1.057,69
Marzo	45	56	22	9,9	0,008013	0,004574	1.050,66
Abril	45	55	22	12,2	0,008013	0,00524	847,19
Mayo	45	51	22	16	0,008013	0,006226	545,95
Junio	45	46	22	20,7	0,008013	0,007558	139,01
Julio	45	37	22	24,4	0,008013	0,007612	122,51
Agosto	45	39	22	23,9	0,008013	0,007789	68,44
Septiembre	45	50	22	20,5	0,008013	0,008122	0,00
Octubre	45	63	22	14,7	0,008013	0,007085	283,52
Noviembre	45	70	22	9,4	0,008013	0,005537	756,45
Diciembre	45	73	22	6,4	0,008013	0,004701	1.011,86

Tabla 14. Carga térmica por ventilación latente

Para la correcta interpretación de los datos que se muestran en la gráfica hay que tener en cuenta que la carga por ventilación latente hace referencia al aporte de calor que realiza el aire; que al entrar en la vivienda condensa produciéndose así un cambio de fase y liberando un calor latente de cambio de fase.

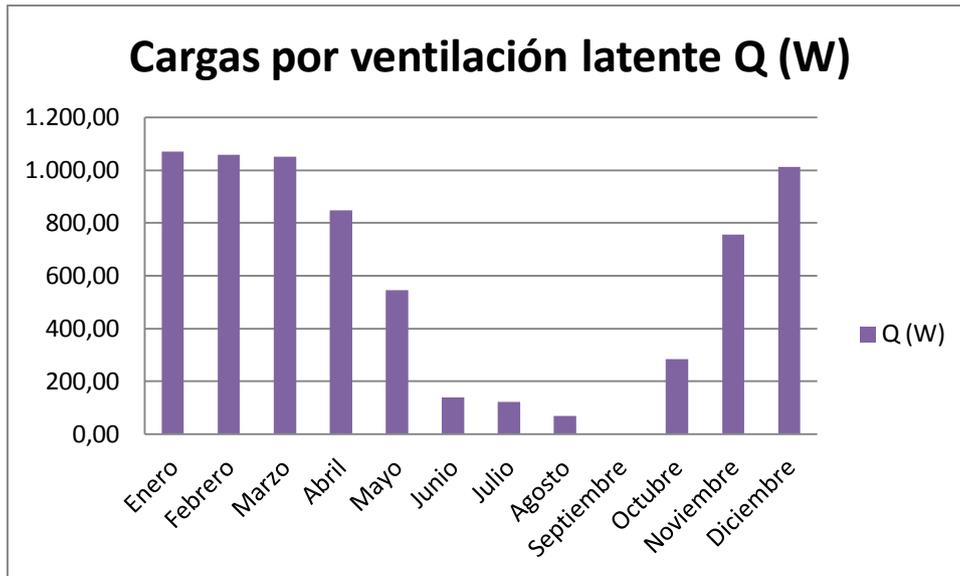


Figura 23. Variación de la carga por ventilación latente

En la gráfica se ve que lo que se obtiene es una pérdida de calor en todos los meses del año exceptuando Septiembre que se considera nulo siendo el aporte real negativo.

5.5. Cargas Internas

Existen dos tipos de cargas internas. Las cargas por ocupación de la vivienda, que se deben al calor desprendido por las personas que se encuentran dentro de la vivienda; y las cargas por iluminación o por equipos eléctricos.

5.5.1. Cargas por ocupación

Las personas que se encuentran en la vivienda desprenden un cierto calor que afecta al cálculo de cargas térmicas. Existen dos tipos de ocupación, sensible y latente, al igual que pasaba para las cargas de ventilación.

$$Q_{sensible} = 70W/persona$$

$$Q_{latente} = 60W/persona$$

Hay que tener en cuenta un factor de ocupación de la vivienda, ya que la vivienda no está las 24 horas del día ocupada. La vivienda que se estudia sirve de hogar y además para dos de los ocupantes de la casa, también sirve como lugar de trabajo, por lo que el factor de ocupación será alto para tratarse de una vivienda. Se supondrá un factor de ocupación de 0,7.

Con la siguiente fórmula y los términos calculados previamente se obtiene la carga debida a los ocupantes de la vivienda:

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

$$Q_{ocupacion} = (Q_{sensible} + Q_{latente}) \cdot n^{\circ}personas \cdot factor\ ocupaci3n$$

$$Q_{ocupacion} = (60 + 70) \cdot 4 \cdot 0,7 = 364\ W$$

5.5.2. Cargas por iluminaci3n

En este apartado se han tenido en cuenta todos los puntos de luz que hay en la vivienda. Los c3lculos son un poco aproximados ya que no todos los d3as se van a encender las luces el mismo tiempo. Hay 3 tipos de bombillas diferentes. En la tabla siguiente se presentan los tipos, el n3mero de puntos de cada tipo, el tiempo estimado de uso y la potencia.

Electrodom3stico	n	Q nominal (W)	Uso (h/d3a)	Q (W)
Bombillas "blancas de esfera"	16	21	3	42
LEDs (ba3os)	5	2	2,5	1,04
Otros	20	2,1	5	8,75
				51,79

Tabla 15. Cargas por iluminaci3n

5.5.3. Cargas debidas a los electrodom3sticos

Para el c3lculo de la potencia aportada por los electrodom3sticos que se usan en la vivienda. Estos c3lculos son un poco aproximados porque hay que tener en cuenta el tiempo de utilizaci3n de cada uno, y este factor puede variar cada d3a.

Los electrodom3sticos que se van a tener en cuenta se reflejan en la tabla siguiente, al igual que su potencia nominal, las horas estimadas de funcionamiento y la potencia final que aporta cada uno:

Mes	Q nominal (W)	Uso (h/mes)	Q (W)
Ordenadores (x2)	460 (x2)	300	383,3
Horno	2460	12	40,97
Microondas	800	7,5	8,33
Lavavajillas	2500	12	41,67
Televisi3n	190	60	15,83
Aspirador	1700	8	18,89
Nevera	250	180	62,5
Lavadora	400	32	17,78
Plancha	1500	12	25
Secadora	2500	16	55,56
			669,83

Tabla 16. Cargas por electrodom3sticos

5.6. Cargas por infiltraciones

La carga por infiltración ha sido supuesta como un 30% de la carga por ventilación sensible, ya que así está indicado en los apuntes de la asignatura de instalaciones térmicas del profesor Marcelo Izquierdo Millán.

Meses	Q (W)
Enero	593,400
Febrero	548,332
Marzo	454,439
Abril	368,058
Mayo	225,342
Junio	48,824
Julio	-90,137
Agosto	-71,358
Septiembre	56,335
Octubre	274,166
Noviembre	473,218
Diciembre	585,889

Tabla 17. Cargas por infiltraciones

5.7. Resultados totales

Hay que diferenciar entre las cargas reales, donde se consideran pérdidas y ganancias de calor, y las que estipula el CTE que hay que tener en cuenta, que corresponden solo a las pérdidas de calor. A continuación se muestran los dos casos resumiendo las cargas que se han ido calculando en apartados anteriores.

Solo pérdidas (W):

Meses	Transmisión	Vent. Sensible	Vent. Latente	Infiltraciones	q tot perd
Enero	23.786,0	1.978,0	1.070,8	593,4	27.428,2
Febrero	21.979,4	1.802,7	1.057,7	548,3	25.388,2
Marzo	18.215,8	1.489,8	1.050,7	454,4	21.210,7
Abril	14.753,3	1.264,4	847,2	368,1	17.233,0
Mayo	9.032,6	776,2	546,0	225,3	10.580,1
Junio	1.957,1	125,2	139,0	48,8	2.270,1
Julio	-3.613,1	-363,1	122,5	-90,1	-3.943,7
Agosto	-2.860,3	-313,0	68,4	-71,4	-3.176,2
Septiembre	2.258,2	187,8	0,0	56,3	2.502,3
Octubre	10.989,7	926,4	283,5	274,2	12.473,8
Noviembre	18.968,6	1.564,9	756,5	473,2	21.763,1
Diciembre	23.484,9	1.915,4	1.011,9	585,9	26.998,0

Tabla 18. Resumen de cargas térmicas según CTE



Figura 24. Distribución de las pérdidas de la carga térmica en la vivienda

Pérdidas y ganancias (W):

Meses	Transmisión	Radiación	Vent. Sensible	Vent. Latente	Ocup.	Ilum.	Electrodom.	Infiltr.	Totales
Ene	23.786,0	-4.173,2	1.978,0	1.070,8	-364,0	-51,8	-669,8	593,4	22.169,3
Feb	21.979,4	-5.186,6	1.802,7	1.057,7	-364,0	-51,8	-669,8	548,3	19.116,0
Mar	18.215,8	-3.751,5	1.489,8	1.050,7	-364,0	-51,8	-669,8	454,4	16.373,6
Abr	14.753,3	-3.290,6	1.264,4	847,2	-364,0	-51,8	-669,8	368,1	12.856,8
May	9.032,6	-2.174,7	776,2	546,0	-364,0	-51,8	-669,8	225,3	7.319,8
Jun	1.957,1	-1.777,7	125,2	139,0	-364,0	-51,8	-669,8	48,8	-593,2
Jul	-3.613,1	-1.991,2	-363,1	122,5	-364,0	-51,8	-669,8	-90,1	-7.020,5
Ago	-2.860,3	-2.788,0	-313,0	68,4	-364,0	-51,8	-669,8	-71,4	-7.049,9
Sept	2.258,2	-3.979,4	187,8	0,0	-364,0	-51,8	-669,8	56,3	-2.562,7
Oct	10.989,7	-4.981,7	926,4	283,5	-364,0	-51,8	-669,8	274,2	6.406,5
Nov	18.968,6	-4.983,2	1.564,9	756,5	-364,0	-51,8	-669,8	473,2	15.694,3
Dic	23.484,9	-4.963,4	1.915,4	1.011,9	-364,0	-51,8	-669,8	585,9	20.949,1

Tabla 19. Resumen de cargas térmicas reales

Se comprueba que para los meses comprendidos entre Junio y Septiembre, ambos incluidos, no se necesitará calefacción ya que los valores salen negativos. Esto es normal, ya que corresponden a los meses de verano.

BLOQUE IV:

Estado del arte

6. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Habrán dos tipos de configuraciones para la instalación, dependiendo de la época del año, es decir, de la temperatura exterior.

-por un lado se tendrá solo la instalación del suministro de ACS, que se utilizará durante los meses de calor; entendiéndose que la instalación de calefacción no se usará para suplir la demanda de calor (inexistente en los meses de verano), pero se necesitará disipar el calor adicional. Para ello, se prevé calentar una piscina en los meses de verano.

-y por otro lado se tendrá la instalación de suministro de ACS y de calefacción en conjunto, que será la utilizada en los meses de frío. Aunque actúen en conjunto, y compartan algunos dispositivos, pueden considerarse como dos sistemas independientes para realizar los cálculos de demanda, pero no para dimensionar el circuito hidráulico que se tendrá en cuenta solo el segundo caso.

Además, si no fuera posible conseguir suplir la demanda energética de la vivienda con estas configuraciones cuando la energía solar aportada no fuera suficiente, se dispone de un sistema de energía auxiliar, la caldera de gasoil, que estudiaremos más adelante y con más detalle.

Los diferentes sistemas que van a formar parte de la instalación de energía solar térmica de baja temperatura (tanto de ACS como de calefacción) son los siguientes:

- sistema de captación: colectores solares. Captación de la energía radiante para transformarla directamente en energía térmica, con el aumento de temperatura de un fluido de trabajo.
- sistema de acumulación: tanques de acumulación. Almacenamiento de dicha energía térmica, bien en el mismo fluido de trabajo de los colectores, o bien transferida al agua de consumo para su posterior utilización.
- sistema auxiliar: caldera de gasoil. Aporta energía al sistema cuando la energía solar no es suficiente.
- sistema de intercambio de calor: Realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de colectores, o circuito primario, al agua caliente que se consume, al circuito secundario.
- sistema de regulación y control: Se encarga de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar un adecuado servicio de agua caliente y aprovechar la máxima energía solar térmica posible. También cuenta con los distintos elementos de protección de la instalación. Se compone de sensores de radiación, centralita, sondas, vasos de expansión, purgadores...

- sistema hidráulico ó de distribución: Se encarga de conducir el movimiento del fluido caliente desde el sistema de captación hasta el sistema de acumulación y desde éste a la red de consumo. Lo forman tuberías, bombas y válvulas principalmente.
- sistema de expansión: Se encarga de absorber las dilataciones del circuito primario. Lo componen varios vasos de expansión.

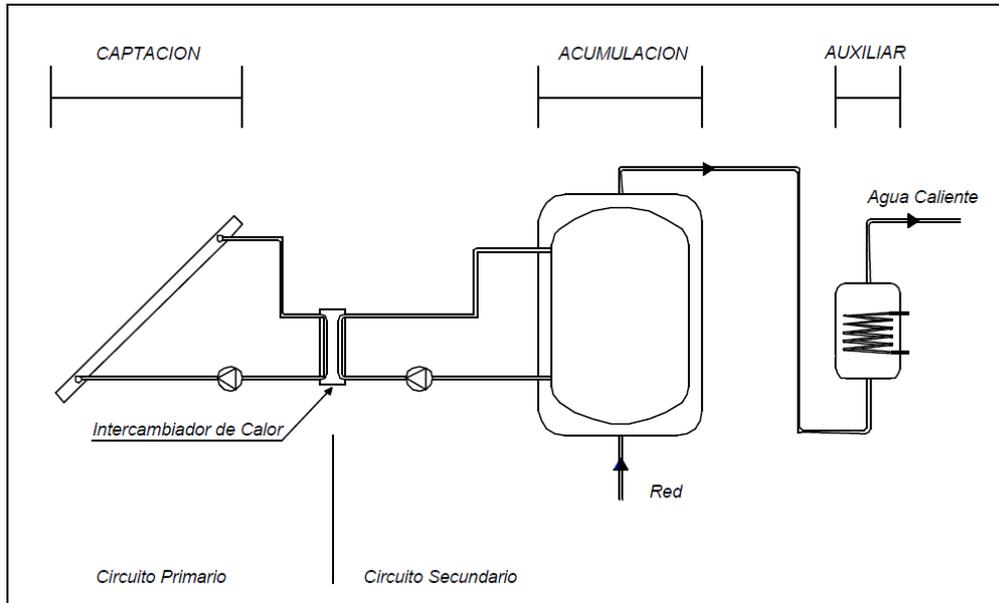


Figura 25. Esquema simplificado de una instalación térmica

Se denomina circuito primario al circuito hidráulico formado por los colectores y las tuberías que los unen al acumulador, y el que es encargado de recoger la energía térmica del colector y transferirla al acumulador solar directamente o a través de un intercambiador de calor. Por el circuito secundario circula agua de consumo.

La transferencia de energía solar al agua del acumulador se realiza por la circulación del fluido contenido en el circuito primario. Este se calienta a su paso por los colectores y se enfría cuando pasa a través del sistema de intercambio, al transmitir el calor al agua del consumo. El agua caliente del sistema de acumulación queda almacenada y dispuesta para ser consumida. Cuando la temperatura del agua caliente es inferior a la del consumo, sobre unos 60°, el sistema de energía auxiliar se encarga de realizar el calentamiento adicional hasta alcanzar la temperatura deseada.

6.1. Sistema de captación

Los captadores solares son los elementos encargados de transformar la radiación solar en energía térmica (agua caliente, aire caliente, etc), en definitiva, un fluido a una temperatura superior a la del ambiente.

6.1.1. Funcionamiento de los captadores solares.

Un captador solar térmico está formado por un cuerpo opaco que absorbe la radiación solar recalentándose, un sistema de enfriamiento gracias a un fluido caloportador, un aislante térmico, una cobertura transparente (con su cara anterior expuesta a la radiación) que garantiza el efecto invernadero, un sistema hidráulico y un sistema de ensamblaje mecánico del conjunto.

El rendimiento de los captadores es uno de los parámetros más importantes a la hora de elegir un tipo de captador u otro porque es un factor que influye directamente en las pérdidas en el captador, y por tanto en el rendimiento de toda la instalación. Este concepto se estudiará más en profundidad en el Bloque V de Pérdidas en los captadores. Dicho rendimiento de los colectores mejora cuanto menor sea la temperatura de trabajo, puesto que a mayor temperatura dentro de la caja (en relación con la exterior), mayores serán las pérdidas por transmisión en el vidrio. También, a mayor temperatura de la placa captadora, más transparencia tendrá el vidrio a ella, disminuyendo por tanto la eficiencia del colector.

6.1.2. Captadores solares

Existen diversos tipos y diseños de captadores con costes y rendimientos diferentes, y se pueden utilizar en diversas aplicaciones. Actualmente, el más utilizado en el sector de ACS es el captador solar plano, del cual existen muchas variantes.

En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de colectores solares según la temperatura que se necesite en la instalación, del fluido de trabajo, de sus características...etc.

- Captadores planos: sus temperaturas de trabajo son del orden de 90°C y son ideales para aplicaciones de baja temperatura. Aprovechan tanto la radiación directa como la difusa, y no precisan de seguimiento solar, por lo que no tienen partes móviles. Su mantenimiento es relativamente simple y su uso se limita prácticamente a instalaciones de ACS, calefacción y refrigeración de edificios.
- Captadores planos de vacío: sus temperaturas de trabajo son superiores a la de los captadores planos, del orden de 130°C. Se crea en ellos una cámara de vacío, por lo que su mantenimiento y funcionamiento es más complejo. Aunque se consiguen menores pérdidas que en los otros, su coste es mayor.
- Captadores de concentración: Están destinados para aplicaciones de hasta 900°C. Su superficie de absorción es más reducida y por tanto hay menos pérdidas al ambiente. Su coste es mucho más elevado. El uso de este tipo de captadores es propio de centrales térmicas.

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

El modelo de captador solar que se ha elegido para realizar el proyecto es el de tipo TISUN FM-S. Es un captador solar plano. Todos los captadores integrados serán del mismo modelo. Se ha elegido este modelo de captador por su montaje rápido y sencillo, porque TISUN nos garantiza 10 años de garantía y tienen experiencia desde hace 20 años. Además se facilita toda la información necesaria (catálogo de precios, folletos, certificaciones, formularios, instrucciones de montaje...etc).

- Características técnicas de los componentes

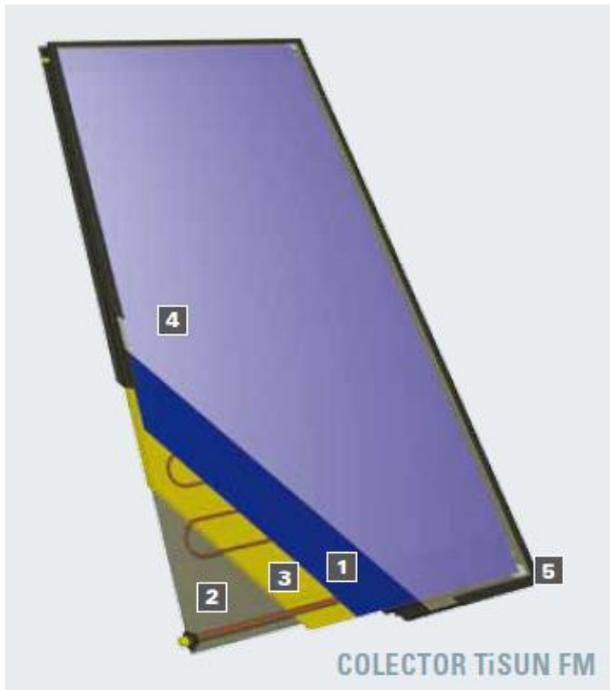
El captador solar seleccionado está homologado por el Ministerio de Industria y Energía de acuerdo con lo señalado en el Real Decreto 891/1980 de 14 de abril sobre homologación de los paneles solares y en la Orden de 20 de julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los paneles solares.

Como se ha introducido en la sección anterior, el tipo de paneles elegido es FM-S. Pueden montarse en horizontal (FM-W) o vertical (FM-S).

Se dispone de sistemas de fijación correspondientes para cada tipo de cubierta o para montajes en suelo con subconstrucciones resistentes a factores climáticos. En este caso, se van a montar en vertical, sobre la azotea de la vivienda, que es plana.

Datos técnicos	
Modelo	FM-S (vertical)
Conexiones	
Superficie bruta	2,55 m ²
Superficie neta	2,35 m ²
Dimensiones exteriores (Al x An) ¹	2,16 x 1,18 m
Peso	49 kg

Figura 26. Datos técnicos de los paneles solares FM-S



1. Absorbedor: en toda la superficie soldado con láser, con revestimiento de PVD y flujo en meandro.
2. Pared posterior: pared posterior de aluminio estructurada.
3. Aislamiento: lana mineral de 40mm, sin desgasificación, no inflamable: A1 DIN 4102 parte 1, certificado por SPF.
4. Cubierta: vidrio solar de seguridad prismado de 4 mm con mayor transmisión de luz.
5. Carcasa: construcción de marcos de aluminio revestida con polvo de antracita, resistente a los factores climáticos.

Figura 27. Descripción de las partes de un colector solar TISUN FM-S

6.1.3. Diseño del sistema de captación

La radiación solar recibida por las placas solares varía considerablemente en función del lugar de implantación, de su orientación, de su inclinación y la presencia de sombras eventuales. Según el caso, cada parámetro puede tener más o menos impacto, y es necesario por tanto ser capaz de apreciar su importancia caso por caso.

- Orientación e inclinación

La posición aparente del sol varía durante el día y según la estación. Esta posición viene determinada por el ángulo de su acimut y su altura. Al relacionar estas coordenadas hora tras hora se puede trazar el curso aparente del sol y dibujar un diagrama solar.

Idealmente, un captador plano debe estar orientado plenamente al Sur e inclinado en un ángulo perpendicular a la radiación solar, es un ángulo de 50° de media, con relación al horizontal ya que intentamos tener las mejores condiciones para el invierno que es cuando más se necesita el aporte de calor.

Para paneles TISUN FM, se recomienda ponerles una inclinación de 60° y orientación Sur para que el rendimiento sea óptimo en los meses de invierno donde la demanda de calor es máxima, es decir: $\alpha=0^\circ$ y $\beta=60^\circ$

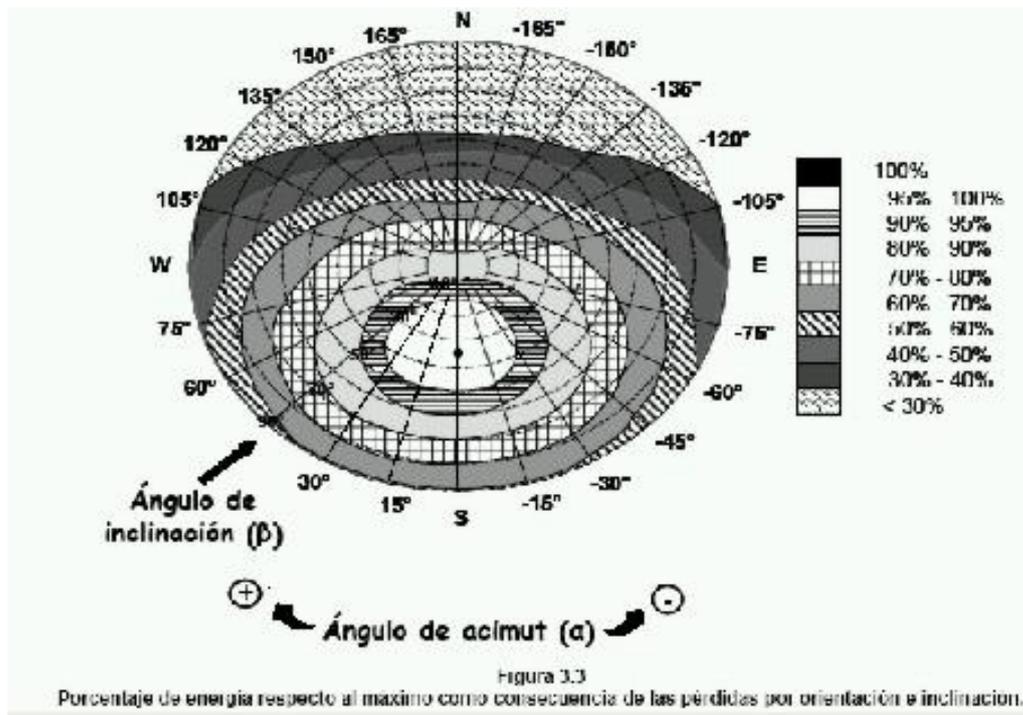


Figura 28. Diagrama de Acimut

- Sombras

El emplazamiento de los captadores solares debe estar libre de las sombras proyectadas de obstáculos alejados, como podrían ser una montaña, un edificio o un gran árbol, o de obstáculos próximos, como una chimenea o vegetación estacional. El único emplazamiento posible para los captadores teniendo en cuenta la estructura de la vivienda, es en la azotea. Es el único sitio de la casa que está totalmente libre de sombras. Aunque haya varias filas de captadores se harán los cálculos necesarios para dejar una distancia mínima y que no se den sombra entre ellos.

- Conexión en paralelo

Gracias a la configuración en paralelo, unida a un diseño hidráulico mediante la técnica de retorno invertido, se asegurará que todos y cada uno de los colectores funcionan de un modo similar.

El inconveniente radicaría en el número de colectores que se podrían conectar, ya que éste es limitado, pero teniendo en cuenta las descripciones del fabricante, en las que se considera la pérdida de carga producida en la parrilla de tubos de cada colector en las condiciones de caudal de diseño, se puede disponer los seis captadores por fila de esta forma sin complicaciones.

Las configuraciones en paralelo pueden ser de dos tipos: entre colectores o entre baterías de colectores. Este caso es el primero, y el esquema sería el siguiente (pero con 6 captadores por fila):

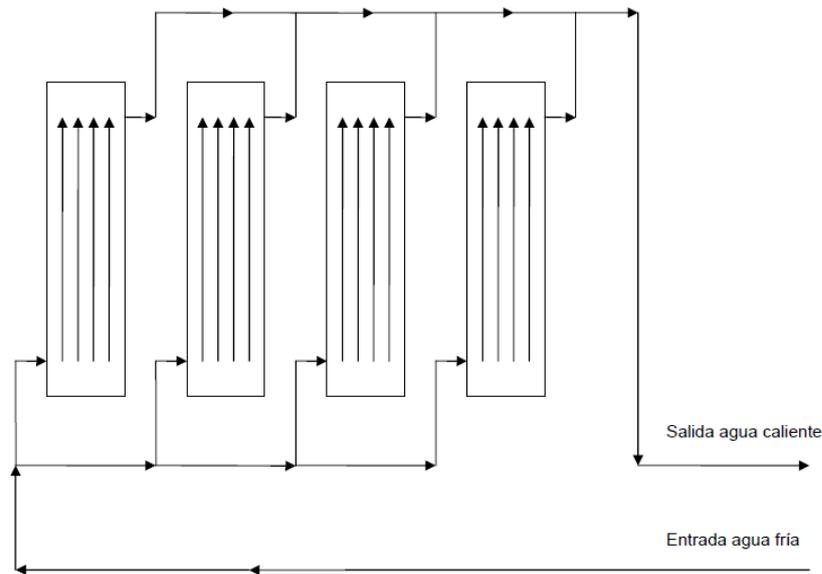


Figura 29. Conexión en paralelo

6.2. Sistema de acumulación

La necesidad de energía no siempre coincide en el tiempo con la recibida del sol mediante los captadores solares, por lo que es imprescindible disponer de un sistema de almacenamiento o acumulación. Almacenar energía mediante agua caliente tiene varias ventajas. Aparte de ser de bajo coste, el agua es fácil de manejar y tiene alta capacidad calorífica.

6.2.1. Diseño del sistema de acumulación

Los requisitos que debe cumplir un sistema de almacenamiento son los siguientes:

- Alta capacidad calorífica del medio de almacenamiento
- Adecuada estratificación de temperaturas
- Temperatura de utilización acorde con la necesidad concreta
- Rápida respuesta a la demanda
- Bajo coste
- Seguridad
- Larga duración

Los materiales más utilizados para los sistemas de almacenamiento son el acero, el acero inoxidable, el acero vitrificado y los plásticos.

La forma suele ser cilíndrica por su facilidad de construcción (altura mayor que diámetro para favorecer la estratificación). El agua disminuye su densidad al aumentar la temperatura, y a mayor altura, mayor temperatura.

La estratificación de temperaturas es uno de los hechos más importantes a la hora del diseño de los acumuladores. Al extraer agua caliente del acumulador por la parte superior, se introduce agua fría por la inferior. Debido a la diferencia de densidades, el agua situada en la parte superior, al tener menos densidad, está más caliente y el agua situada en la parte inferior está más fría. Para aumentar esta distribución vertical de temperaturas se recomienda emplear acumuladores verticales con una relación de altura/diámetro elevada, es decir, esbeltos.

Existen al menos dos tipos de acumuladores:

- Acumuladores directos: Disponen de dos conexiones para el circuito solar, y otras dos para las tuberías del circuito de consumo de agua caliente.
- Acumuladores indirectos o interacumuladores: Incluyen un intercambiador, bien en forma de serpentín o doble envolvente, conectado directamente con el circuito solar de manera que el fluido que circula a través de los captadores no se mezcla con el agua potable del circuito de consumo. Éste último tipo de acumulador, con aislamiento, es el que se va a utilizar en este proyecto.

Aunque el tanque de acumulación esté bien aislado, se va a tener en cuenta pérdidas de calor que se va a calcular como se verá más adelante.

Primero se estima el tamaño del tanque según el CTE.

$$0,05 \leq \frac{V}{A} \leq 0,18$$

$$V_{min} = 50 \cdot 2,36 \cdot 12 = 1416 L$$

$$V_{max} = 180 \cdot 2,36 \cdot 12 = 5097 L$$

Se elige un ProClean (acero inoxidable S235 JR 1.4404) y un PSN con un volumen de acumulación de 800 L cada uno. El acumulador principal será el ProClean, el otro servirá para acumular agua caliente y poder suministrar al ProClean cuando este lo necesite. La razón principal de esta decisión, es que se quería montar la instalación en la sala de máquinas, y ésta está limitada a ese tamaño tanto en altura, como en la puerta de acceso. De todas formas está dentro de los límites calculados, por lo que no habría problema.

El volumen óptimo de acumulación también depende del desfase que existe entre el tiempo almacenamiento y el de consumo del ACS.

Se van a montar 12 captadores en dos filas de 6 cada una, lo que supondrá un área total de captación de 30,6 m².

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Existen cuatro posibilidades:

- Coincidencia entre el período de captación y de consumo: 35-50 L/ m² (duchas en colegios o polideportivos y procesos industriales que funcionan continuamente.)
- Desfase inferior a 24 horas: 60-90 L/ m² (ACS en hoteles y viviendas)
- Desfase superior a 24 horas e inferior a 72: 75-100 L/ m²
- Desfase entre captación y consumo superior a 72 horas (viviendas de fin de semana).

Si el volumen de acumulación es menor que el requerido por la instalación, habrá mayores temperaturas y por tanto, menos rendimiento.

Este modelo de acumulador estratificado posee múltiples ventajas frente a otros. Tiene incorporado un sistema de intercambio térmico en esfera que permitirá un aprovechamiento óptimo de la energía solar, gracias a la carga estratificada para A.C.S y calefacción.

Tiene una larga vida útil, se basa en una idea sin técnicas complicadas, un principio natural que no es más que el agua caliente asciende mientras la fría queda en la parte inferior.

Sirve para cualquier sistema de calefacción. Según esta manera de ver la instalación, este acumulador sería el eje central: a él llega el agua de los captadores, y de éste sale también el agua para A.C.S. y para calefacción (aunque después pase por la caldera de gasoil y desde ahí se distribuya el agua a los radiadores).

La producción de A.C.S. es instantánea y libre de gérmenes gracias a su tubo ondulado especial de acero inoxidable.

El ProClean y el PSN se conectan a través de cuatro tuberías de acero. La que está situada en la parte más alta dispone de una válvula antirretorno de forma que el agua caliente situada en la zona superior, pase al Pro-Clean y no viceversa.

Ambos acumuladores tienen dos grifos KFE, situados en la parte superior e inferior, y están dotados también de sensores conectados a la caldera, al sistema de captación solar y entre ellos.

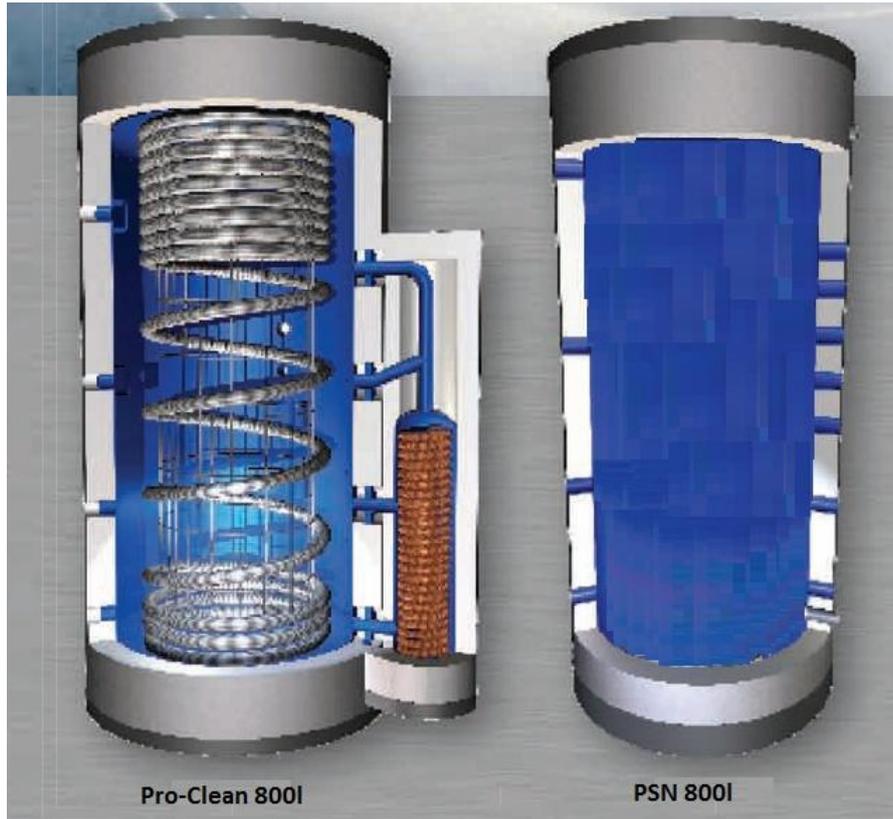


Figura 30. Tanques de acumulación

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

6.3. Sistema de energía auxiliar

La forma de realizar el aporte de energía auxiliar será a través de una caldera de gasoil.

6.3.1. Caldera de gasoil

Se trata de una caldera de marca WATTS, capaz de suministrar una potencia de 50KW. La caldera ya estaba en la casa y se considera que funciona correctamente.

Características técnicas:

- Tipo: N170m³
- Presión: PN10
- Presión máxima de trabajo: 8 bar

- Cuerpo de bronce
- Temperatura máxima: 95°C
- Regulación: 32 a 82°C
- Caudal min: 15 l/min

6.3.1.1. Diseño de la caldera de gasoil



Figura 31. Caldera de gasoil

En principio, según el objetivo del sistema de calefacción y ACS que se está instalando en la vivienda, esta caldera solo entraría en funcionamiento como apoyo a dicho sistema en caso de que éste no fuera capaz de suministrar suficiente energía al Pro-Clean. Es decir, si el depósito de acumulación no tiene la temperatura requerida, hay una válvula de tres vías que cierra el paso y le manda directamente a la caldera (ver esquema Figura 32).

Se dispondrá además de una válvula limitadora de temperatura para que no malgaste toda la energía del acumulador, ya que si por ejemplo se encuentra a una temperatura de 90°C, sin esta válvula toda esta energía pasaría a los radiadores y duraría un tiempo limitado, cuando en realidad con que se encuentre a 60-70°C de manera constante es suficiente. Además toda esa energía que tomaría la caldera también sería necesaria para el ACS. Además se podría ir calentando el depósito por culpa de la caldera y aumentar la temperatura de los paneles innecesariamente, lo cual disminuiría el rendimiento de la instalación.

6.3.1.2. Conexiones

La caldera de gasoil estará conectada al acumulador Pro-Clean, y éste será prioritario a la hora de tomar la energía necesaria frente al gasoil, el cual sólo se

utilizará cuando el sistema de acumulación no llegue a la temperatura mínima requerida.

6.4. Sistema de intercambio de calor

Un intercambiador de calor tiene la misión de realizar la transferencia de energía entre fluidos, que, separados por una pared rígida, se encuentran a diferente temperatura. Mediante el uso del intercambiador se consigue que el calor se transfiera sin que se mezclen ambos fluidos.

El intercambiador de calor se introduce en una instalación cuando se quieren tener dos circuitos independientes. La utilización del intercambiador de calor permite utilizar un fluido distinto del agua (agua + anticongelante por ejemplo) en el circuito primario, lo que evita problemas de congelación, así como depósitos calcáreos y corrosiones.

La desventaja de utilizar intercambiadores de calor en un sistema, es que disminuye el rendimiento ya que hay pérdidas de calor en el intercambiador hacia el ambiente, eleva el coste de la instalación, y en el caso de que el fluido que circula por el intercambiador no sea potable, está sometido a reglamentaciones muy estrictas.

6.4.1. Diseño del sistema de intercambio

La elección del tipo de intercambiador es muy importante, ya que debe producirse una adecuada transferencia de calor entre ambos circuitos para minimizar las pérdidas en la instalación.

El sistema será indirecto, habrá un intercambiador de calor entre el circuito primario y el de consumo. Esta transferencia se realiza manteniendo el fluido de trabajo de captadores en un circuito independiente, sin posibilidad de ser distribuido al consumo.

Para evitar la congelación del fluido caloportador del circuito primario durante los meses de invierno, es necesario prever un sistema de protección anti heladas. En este caso, al ser un sistema indirecto, lo que se hace es añadir propilenglicol (sustancia anticongelante para bajar la temperatura de fusión del agua al agua en un determinado porcentaje).

A parte de permitir el uso de una sustancia anticongelante (impropia al consumo) el uso de un sistema indirecto permite presiones de trabajo en los captadores independientes del agua de consumo de la de red, ya que si la presión a la que está sometida la instalación no es soportada por los captadores, o cualquier parte del circuito primario, sería necesario reducirla utilizando una válvula reductora de presión con el consiguiente aumento de consumo de potencia de bombeo.

- Intercambiador integrado del acumulador Pro-Clean

Dentro del depósito ProClean se pueden distinguir dos fluidos (véase figura 31). El que va dentro del tubo ondulado, viene del agua de red, se calienta con el agua que

hay dentro del depósito, y es la que se utiliza para el consumo de ACS. Por otro lado, está el agua caliente del acumulador se calienta por el circuito primario de los paneles y se saca del tanque para cubrir la demanda de calefacción.

Tanto el intercambiador integrado como el acumulador ProClean, se han diseñado para presentar una carga estratificada. La capacidad del tubo ondulado de agua caliente es de 45 litros, permitiendo así un volumen de agua precalentado disponible instantáneamente, actuando así como mini-acumulador de ACS.

La figura siguiente ilustra un esquema general de la instalación de ACS y calefacción incluyendo las conexiones del acumulador/intercambiador a la instalación.

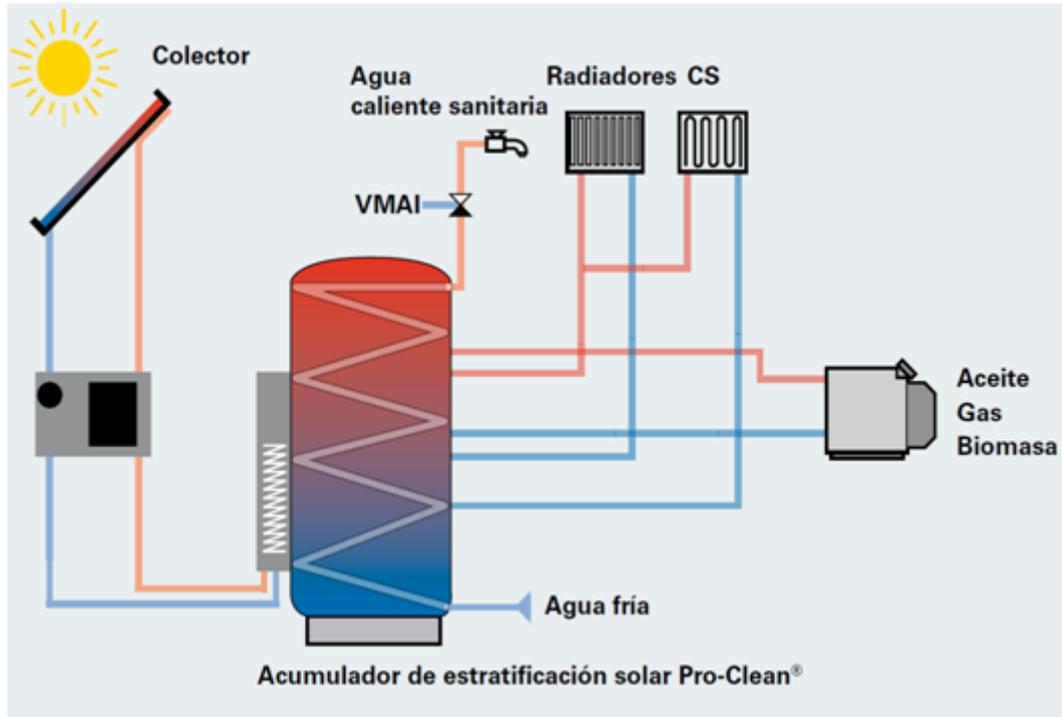


Figura 32. Esquema del funcionamiento de una instalación térmica con acumulador

6.5. Sistema de regulación y control

El objetivo del sistema de control es optimizar el funcionamiento de la instalación solar, para lo cual es el encargado de regular el flujo de energía entre las distintas partes de la instalación (captación, acumulación, consumo...etc).

El sistema de regulación y control comprende los siguientes sistemas:

- Control de funcionamiento del circuito primario y secundario (accionamiento de las bombas de circulación por nivel de temperatura)
- Sistemas de protección y seguridad de las instalaciones contra sobrecalentamientos (válvulas de sobrepresión).

6.5.1. Diseño del sistema de control

- Equipos de regulación y control

La regulación y el control del sistema es un punto a destacar, y debe partir del diseño del sistema, siendo un desarrollo paralelo.

Al ser un sistema con circulación forzada se empleará un sistema de control diferencial de temperatura, cuya finalidad será ordenar arranques y detenciones de la bomba de circulación del circuito primario en relación al diferencial de temperatura en el fluido entre la salida de los captadores y el sistema de acumulación. Básicamente, esto permite evitar que el acumulador térmico esté calentando los captadores cuando no se dispone de suficiente radiación solar (ocurre típicamente por las mañanas).

Para realizar un control diferencial de temperatura, se utilizan dos sensores de temperatura (termoresistencias o termopares). Uno de ellos situado en la parte superior de los captadores y a la salida del fluido de los mismos, y el otro en la parte baja del depósito acumulador. Los valores de temperatura medidos por estos sensores son comparados en una centralita diferencial que, de acuerdo a la diferencia de temperaturas existente entre ambos sensores, activa o desactiva la bomba de circulación mediante un relé.

Adicionalmente se han de prever elementos de seguridad adicionales tales como:

- El circuito primario y secundario van provistos de válvulas de seguridad taradas a una presión que garantiza que en cualquier punto del circuito no se superará la presión máxima de trabajo de los componentes.
- Se colocarán sistemas antirretorno en los circuitos primario y secundario para evitar la circulación inversa, así como en la entrada de agua fría del acumulador solar.
- Además se instalarán válvulas de corte a la entrada de agua fría y salida de agua caliente del depósito de acumulación solar.
- Las válvulas de seguridad se instalarán en cada zona de las baterías de captadores donde se hayan situado válvulas de corte, para aminorar sobre presiones.
- Se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático en los puntos altos de la salida de baterías de captadores. El volumen útil del botellín es de 15 cm^3 por m^2 de batería.
- Se ha evitado en el trazado del circuito caminos tortuosos que favorecen el desplazamiento del aire atrapado hacia los puntos altos (tramos de tubería en "U" inversa donde se habrían de colocar válvulas de purga de aire/incondensables).

6.6. Sistema de distribución o hidráulico

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

En caso de aplicación para A.C.S, el circuito hidráulico del sistema de consumo deberá cumplir los requisitos especificados en UNE-EN 806-1. En cualquier caso los materiales del circuito deberán cumplir lo especificado en ISO/TR 10217.

En el estudio del sistema hidráulico hay que tener en cuenta que los elementos están interconectados, por lo que no se pueden estudiar independientemente tal y como se ha ido haciendo a lo largo de este apartado.

Por tanto, hay que tener en cuenta la compatibilidad de los materiales así como la afinidad con el fluido de trabajo. En teoría, los elementos que se han ido eligiendo deberían ser adecuados para el conjunto del sistema, ya que han sido recomendados por TISUN como conjunto para una instalación solar térmica. Aun así, es necesario calcular las pérdidas de carga, rendimiento de bombas, tamaño de tuberías... etc, para determinar los modelos más adecuados para la instalación

6.6.1. Elementos del sistema hidráulico

6.6.1.1. Bombas de circulación

Como se ha comentado anteriormente, al tratarse de una instalación forzada, es necesario el uso de al menos una bomba. El movimiento de fluido entre las zonas de captación y la de intercambio, permite una apropiada transferencia de calor.

Por razones de seguridad e higiene, los materiales de la bomba presentarán resistencia a corrosión.

El salto de presión proporcionado por la bomba ha de compensar las pérdidas de carga del circuito, preferiblemente en un punto de funcionamiento de la bomba que presente un alto rendimiento.

6.6.1.2. Tuberías

En la selección de los materiales utilizados para las tuberías hay que tener en cuenta aspectos como:

- Compatibilidad con el tipo de fluido empleado
- Comportamiento dentro del rango de temperaturas y presiones de trabajo
- Resistencia frente a la corrosión
- Facilidad de instalación
- Durabilidad, etc...

Las tuberías que contienen agua caliente destinada al consumo, tienen que ser de cobre, acero inoxidable o plástico de calidad alimentaria. En caso de que transporten agua no potable o mezclada con anticongelantes también se puede emplear acero negro.

Según el CTE, en el circuito primario se puede utilizar cobre y acero inoxidable, mientras que en el secundario o de consumo se puede utilizar además de los anteriores, el plástico (siempre que sea autorizado su uso por la compañía distribuidora de agua potable).

Al ser un sistema indirecto, en el que el fluido calor-transportador (es decir, agua glicolada) es distinto al agua de consumo, se utilizarán materiales distintos entre los dos circuitos. Para las tuberías del circuito primario se utilizará el cobre con uniones roscadas y protección exterior con pintura anticorrosiva, y para el circuito secundario se utilizará acero inoxidable.

- Dimensionado de tuberías y componentes

Para evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá ser lo más corta que permita la edificación, evitando, siempre que sea posible los codos y pérdidas de carga en general (restricciones y ensanchamientos innecesarios).

6.7. Sistema de expansión

El fluido de trabajo de las instalaciones solares está sometido a importantes variaciones de temperatura que pueden oscilar desde temperaturas bajo cero hasta superiores a 100°C en situaciones de estancamiento con alta radiación. Estas diferencias de temperatura provocan variaciones de volumen del fluido y como medio para absorber estas variaciones deben utilizarse los sistemas de expansión.

6.7.1. Diseño del sistema de expansión

De acuerdo con lo mencionado en el apartado anterior, el sistema de expansión será cerrado.

Se dispondrá de una expansión cerrada, la membrana elástica del vaso de expansión al deformarse, aumenta la capacidad del circuito de agua.

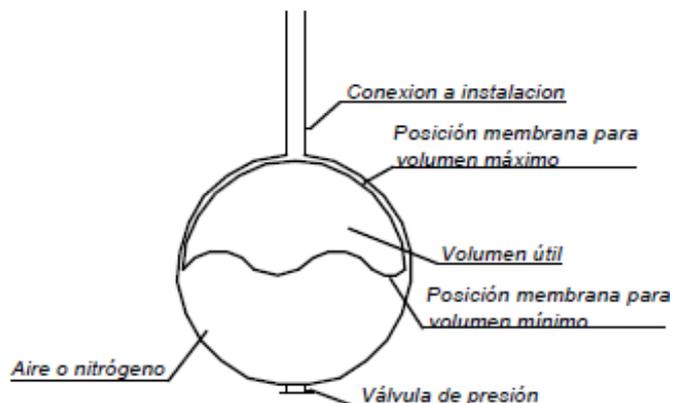


Figura 33. "Corte transversal" de un vaso de expansión

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

En el circuito primario del sistema hidráulico habrá cambios de temperatura en el fluido de trabajo, por lo que será preciso absorber la dilatación del mismo.

Se colocará en el cuarto de calderas, junto al resto de elementos de la instalación. No necesitará por tanto protección frente a las heladas.

BLOQUE V:

Pérdidas térmicas en la instalación

7. CÁLCULO DE PÉRDIDAS TÉRMICAS EN COLECTORES

En este apartado se van a tener en cuenta las pérdidas térmicas que existen en los colectores solares.

Pueden darse debido al efecto del viento, por la temperatura que tiene el fluido del circuito primario, por la diferencia entre la temperatura ambiente y la de los paneles, la radiación incidente en los paneles...etc.

Es importante tener en cuenta estas pérdidas para poder contrastar los resultados que se obtienen del rendimiento con los que proporciona el fabricante, ya que generalmente ellos suelen hacer los ensayos en condiciones bastante cercanas al comportamiento ideal de los componentes, cumpliendo con las normativas de ensayo homologadas.

Por ejemplo, suelen considerar una velocidad del viento prácticamente despreciable, una radiación incidente muy favorable (cerca al mediodía solar), una temperatura de entrada en los colectores constante, al igual que el caudal en cada punto del circuito. Hay que ser consciente de que por lo general no se van a tener condiciones tan favorables en el funcionamiento real de la instalación, y conviene tenerlas en cuenta en el cálculo de las pérdidas en los apartados sucesivos.

El cálculo de estas pérdidas va totalmente ligado al cálculo de las temperaturas en la instalación. No se puede dar directamente un valor de las pérdidas en los colectores para cada mes, sino que se calculará una expresión de las pérdidas que quedará en función de ciertas temperaturas del circuito. Cuando se resuelvan dichas temperaturas para cada mes, se podrá, calcular las pérdidas en los captadores.

7.1. Propiedades del aire

A través de Aemet se obtienen las características del aire para cada mes, bien que no varíen demasiado las propiedades de un mes a otro.

Meses	K aire media (W/m·K)	Densidad aire (Kg/m ³)	Viscos. Dinam. (Kg/m·s)	Prandlt
Enero	0,0243	1,168	0,000017769	0,734
Febrero	0,0243	1,1634	0,000017834	0,737
Marzo	0,0243	1,1481	0,000017915	0,74
Abril	0,0243	1,1312	0,00001807	0,747
Mayo	0,0243	1,1236	0,000018145	0,75
Junio	0,0243	1,107	0,000018429	0,762
Julio	0,0243	1,0926	0,000018616	0,77
Agosto	0,0243	1,0886	0,00001865	0,771
Septiembre	0,0243	1,1119	0,000018359	0,759
Octubre	0,0243	1,1249	0,0000181	0,748
Noviembre	0,0243	1,1622	0,0000177	0,734
Diciembre	0,0243	1,1693	0,000017683	0,731

Tabla 20. Propiedades medias mensuales del aire atmosférico según Aemet

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Estos datos serán importantes para los cálculos posteriores cálculos de la transferencia de calor por convección en la parte de la instalación expuesta al exterior en los cálculos de las pérdidas por conducto.

7.2. Características del fluido portador

El fluido que circula por el circuito primario es agua con propilenglicol. El anticongelante en el circuito evita la congelación en la instalación solar y protege contra la corrosión. Aparte de servir como protección de anti heladas, la propiedad más importante del anticongelante es que permite definir presiones de trabajo independiente de la de red, ya que si la presión a la que está sometida la instalación no es soportada por los colectores, o cualquier parte del circuito primario, sería necesario reducirla utilizando una válvula reductora de presión.

El fabricante, TISUN, proporciona 3 tipos de anticongelante, de entre los cuales se elige el FWF-F.

La temperatura mínima histórica en Madrid es -16°C , así que con este anticongelante se podrían cubrir 10°C más, ya que aguanta temperaturas de hasta -25°C (aunque es bastante improbable que se alcance dicha temperatura en Madrid). Con las curvas proporcionadas por TISUN, se obtiene una proporción de propilenglicol en agua de 37,5%. El porcentaje que se fija no es excesivamente alto, lo cual no sería adecuado desde el punto de vista energético ya que supondría una disminución del calor específico de la mezcla y habría que bombear más fluido. Aun así, como se verá más tarde, el calor específico de la mezcla no difiere demasiado de el del agua.

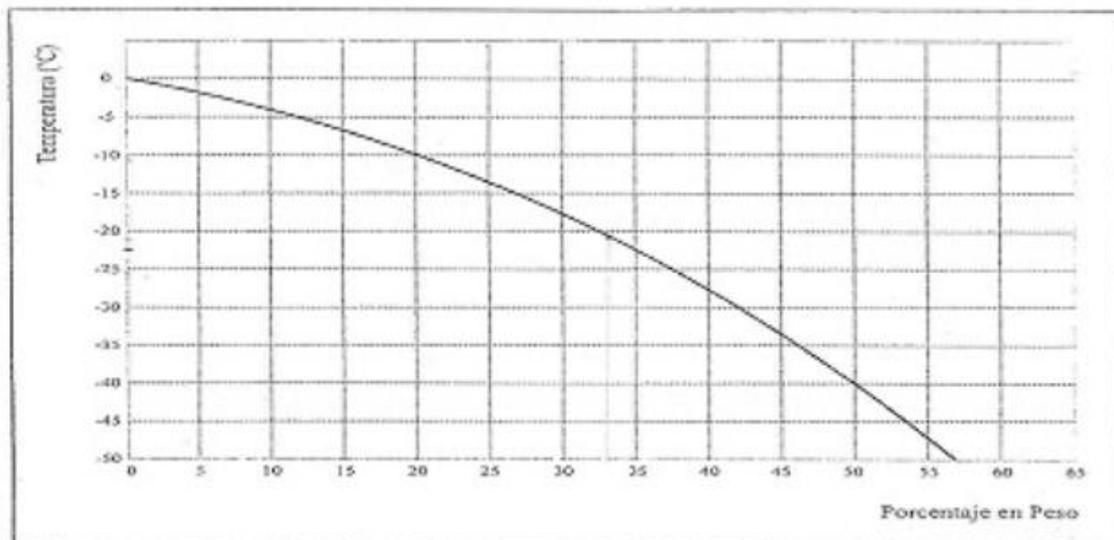


Figura 34. Gráfica del porcentaje de glicol en agua según temperatura

Además, para el cálculo de las propiedades del fluido, se va a fijar una temperatura media, al no variar dichas propiedades significativamente con la temperatura.

Se obtienen finalmente las propiedades para la mezcla del propilenglicol al 37,5% en volumen y el agua, con una temperatura media de 65°C siguientes:

	Densidad mezcla (Kg/m ³)	Viscos. Dinam. (Kg/m·s)	Prandlt	Calor específico (KJ/Kg·K)	Conductividad térmica (W/m·K)
37,5%	1030	0,0027	26,045	3,77	0,41

Tabla 21. Propiedades del propilenglicol

7.3. Cálculo de las pérdidas en el colector

Estos cálculos están basados en un ensayo de CENER (Centro Nacional de Energías Renovables), que es un laboratorio de ensayos de captadores solares. Como ya se ha comentado anteriormente, las condiciones que se van a tener realmente en la instalación, no son las que se ensayan en los laboratorios, ya que éstas se acercan mucho más a una situación ideal. La curva que se presenta a continuación, es la curva de eficiencia instantánea basada en el área de absorbedor a 800 W/m².

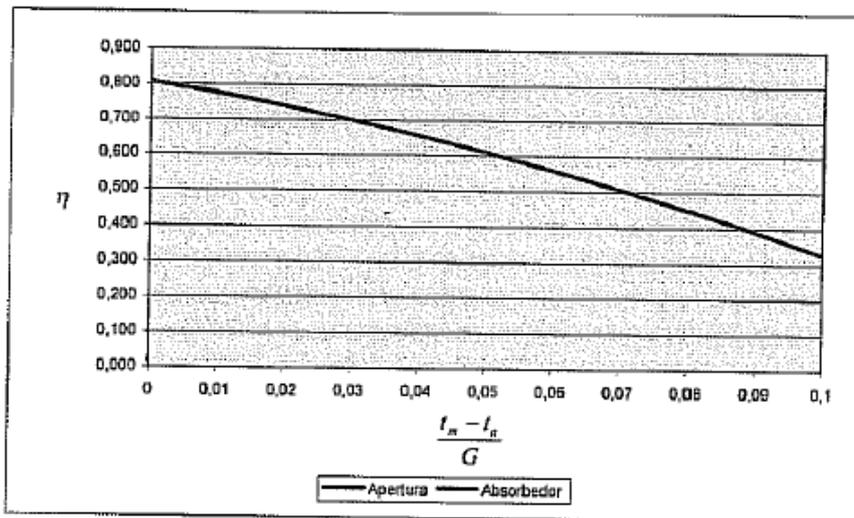


Figura 35. Gráfico del rendimiento de los captadores según CENER

El caudal usado para los ensayos es 0,019 Kg/s· m², y el área de captación 2,54 m² y el fluido utilizado, agua. Se dan los siguientes valores:

η_{0a}	0,808
A_{1a} (W/m·K)	3,076
A_{2a} (W/m·K)	0,022

Tabla 22. Datos iniciales según CENER

Se van sustituyendo los datos en la siguiente ecuación, considerando una temperatura de consumo de 60°C.

$$h_a = h_{0a} - a_{1a} \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2a} \cdot G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2$$

Dónde:

h_a : Rendimiento estacionario del captador

h_{oa} : Rendimiento estipulado por CENER

t_m : Temperatura media en el captador, depende de la temperatura de entrada y salida de los captadores que se calculará posteriormente

t_a : Temperatura ambiente.

a_{1a} : Coeficiente de pérdidas lineal.

a_{2a} : Coeficiente de pérdidas cuadrático.

G : Irradiación solar sobre plano inclinado a 60° ya que es mejor que favorezca las condiciones en invierno.

Como la ecuación para calcular los resultados de las pérdidas en los captadores depende de las temperaturas de entrada y salida en los captadores, primero hay que calcular dichas temperaturas, y después sustituir en la ecuación anterior con los valores para cada mes. Los resultados se mostrarán en la tabla 34 del apartado 10.

8. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR CONDUCTOS DEL CIRCUITO PRIMARIO

En primer lugar, se diferencian las tuberías que están en el exterior de la cubierta y las que se encuentran en los interiores del edificio, ya que no están expuestas a las mismas condiciones (temperatura exterior, coeficiente de transferencia de calor).

- Para las tuberías que están en el exterior habrá que tener en cuenta la velocidad del viento, lo que supone la generación de convección forzada.
- Para las tuberías que están en el interior del edificio, al no haber viento, se tendrá que calcular la convección natural debida al aire que se encuentra alrededor de ellas.

Tanto las tuberías como los accesorios hidráulicos del sistema de circulación tienen temperaturas superiores a las ambientales, por lo que habrá pérdidas de calor en el sistema, bien por conducción, convección o radiación.

Habitualmente las pérdidas por convección son consideradas las más importantes, puesto que la diferencia entre la temperatura que consiguen alcanzar los elementos del sistema hidráulico y el ambiente puede llegar a ser muy alta. La presencia de estas pérdidas de calor genera una reducción del rendimiento del sistema, especialmente en las épocas del año en las que al aminorarse la irradiación también baja la potencia que éste es capaz de aportar. Por ello es necesario dar al sistema un nivel de aislamiento apropiado.

Los cálculos de las pérdidas por conductos y por el tanque de acumulación también van ligados al cálculo de las temperaturas del circuito al igual que en el bloque anterior para las pérdidas térmicas en los captadores, y se introducen sus expresiones en las ecuaciones del cálculo de la instalación. Para los cálculos de las pérdidas por los conductos y tanque, se utilizarán las temperaturas del circuito para obtener los resultados mes a mes.

Por tanto, en este bloque se dejarán las ecuaciones de los cálculos de las pérdidas en función de dichas temperaturas y se calcularán resultados finales en la Tabla 34 del apartado 10.2.2 del bloque VI.

8.1. Cálculos previos

Antes de poder calcular las resistencias térmicas en los circuitos exteriores e interiores del circuito primario, hay que calcular la distancia mínima entre colectores (d_{min}) según el IDAE.

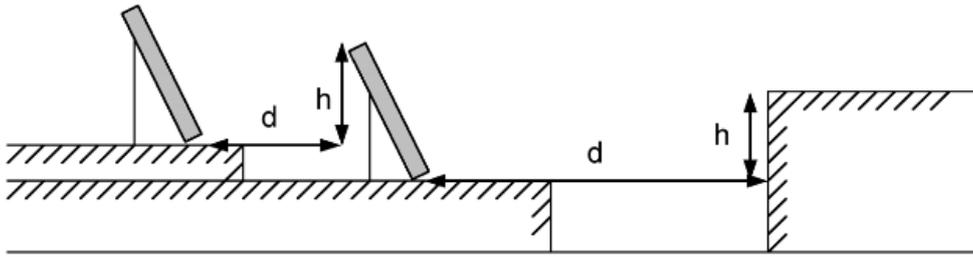


Figura 36. Distancia mínima entre captadores según el IDAE

$$d = \frac{h_{\text{obstáculo}}}{\tan\left[(61 - \text{latitud}) \cdot \left(2 \cdot \frac{\pi}{360}\right)\right]}$$

$$h_{\text{obstáculo}} = W_{\text{colector}} \cdot \text{sen}\left(\text{latitud} \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{360}\right)$$

W es el ancho del colector, que en nuestro caso es 1,18m.

La latitud de la vivienda es 40°. Por tanto:

$$h_{\text{obstáculo}} = 0,01438m$$

$$d_{\text{min}} = 2,247m$$

Las tuberías del circuito primario, tanto las exteriores como las interiores, son de acero inoxidable SVS 20/18 con diámetro interior $D_{\text{int tubo}} = 21,1mm$, diámetro exterior $D_{\text{ext tubo}} = 25,6mm$, y diámetro del aislante $D_{\text{aislante}} = 66mm$

Hay que diferenciar también entre circuito de entrada y circuito de salida de los captadores, por lo que tendrán las mismas medidas. Para calcular la longitud del conducto exterior, se tienen en cuenta los cálculos de la distancia mínima entre paneles calculada anteriormente. Sin embargo, la longitud de los conductos interiores está limitada por las dimensiones de la sala de máquinas.

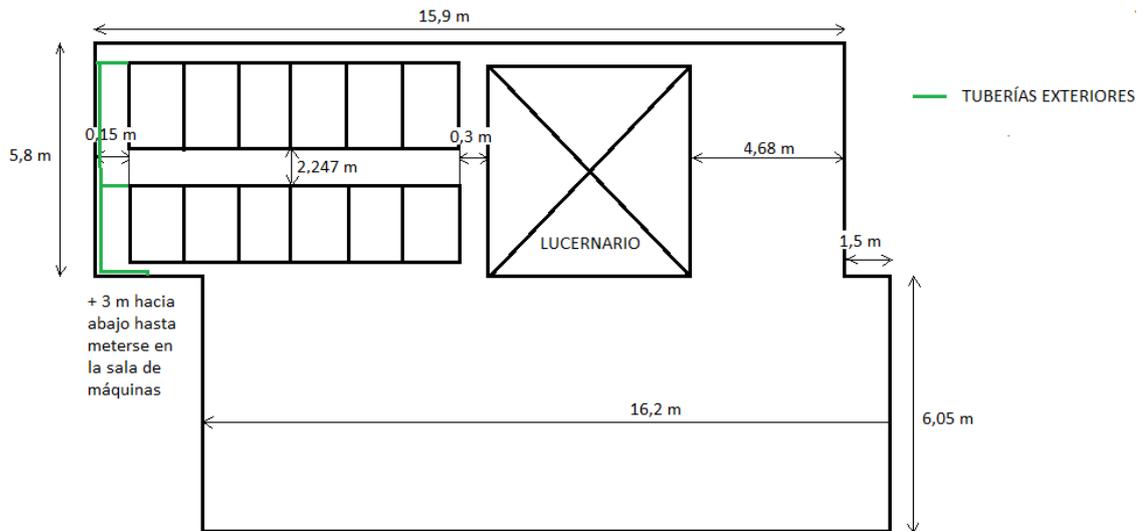


Figura 37. Plano de la azotea de la vivienda, colocación de los paneles y recorrido de las tuberías exteriores.

$$L_{\text{conducto exterior}} = 8,1\text{m} (x2)$$

$$L_{\text{conducto interior}} = 4\text{m} (x2)$$

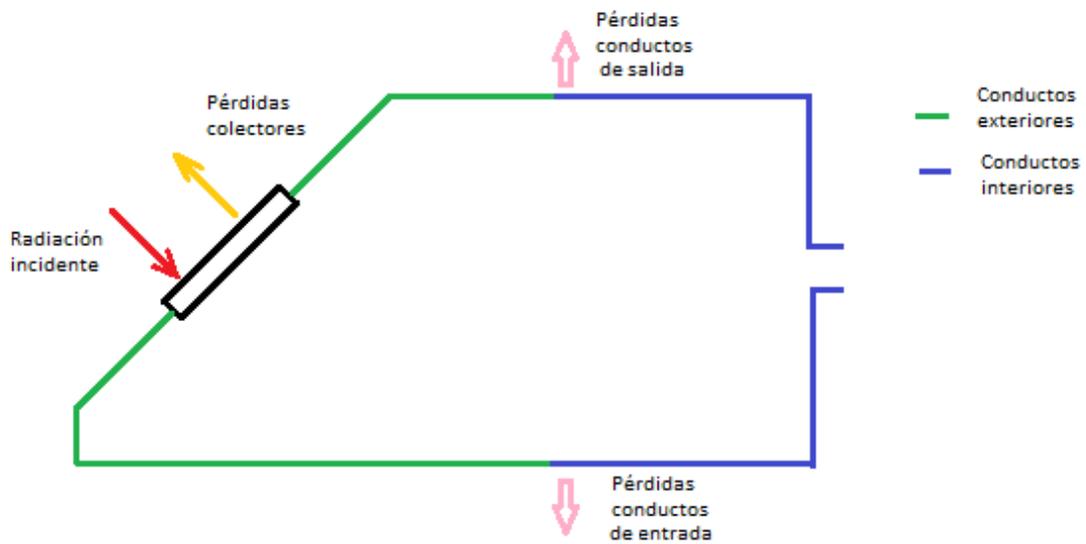


Figura 38. Esquema de las pérdidas en los conductos

8.2. Resistencias térmicas en los conductos exteriores

- Convección interna debida al fluido

El cálculo de la resistencia térmica se basa en gran parte del número de Reynolds del flujo interno de las tuberías, obteniéndose correlaciones para el número de Nusselt, como se expone a continuación:

$$Re = \frac{4 \cdot \rho \cdot Q}{\mu \cdot \pi \cdot D_{int}} = \frac{4 \cdot 1030 \cdot 2,125 \cdot 10^{-4}}{0,0027 \cdot \pi \cdot 21,1 \cdot 10^{-3}} = 4891,7$$

Donde Q es el caudal recomendado por el fabricante $Q = 25 \frac{L}{h \cdot m^2} = 2,125 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

Las correlaciones se obtienen de los apuntes de la asignatura de Térmica I impartida por Néstor García Hernando.

$$Nu = 0,023 \cdot Re_{fluido}^{0,8} \cdot Pr_{fluido}^{0,4} = 0,023 \cdot 4891,7^{0,8} \cdot 26,045^{0,4} = 75,78$$

Se calcula el coeficiente convectivo del fluido $h_{fluido\ tub}$ en las tuberías:

$$h_{fluido\ tub} = K_{fluido} \cdot \frac{Nu_{tuberia}}{D_{int\ tub}} = 0,41 \cdot \frac{75,78}{21,1 \cdot 10^{-3}} = 1472,61 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Y finalmente el valor de la resistencia térmica asociada a la convección interna.

$$A_{tubo\ int} = \pi \cdot D_{int\ tubo} \cdot L_{tubo\ ext} = \pi \cdot 21,1 \cdot 10^{-3} \cdot 8,1 = 0,537\ m^2$$

$$R_{convección\ int\ fluido\ exterior} = \frac{1}{h_{fluido\ tub} \cdot A_{tubo\ int}} = 1,264 \cdot 10^{-3} \frac{K}{W}$$

- Conducción a través de del acero inoxidable

$$R_{cond\ ext} = \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{acero} \cdot L_{tubo\ ext}} = \frac{\ln\left(\frac{25,6}{21,1}\right)}{2\pi \cdot 17 \cdot 8,1} = 2,23 \cdot 10^{-4} \frac{K}{W}$$

- Conducción a través del aislante

Aislamiento del caucho: $K_{40^{\circ}\text{C}} = 0,038 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

$$K_{0^{\circ}\text{C}} = 0,035 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

Para los cálculos, tenemos en cuenta el valor a 40°C, por cambiar menos de un 10% el valor de la conductividad térmica del aislante. El resultado se podría iterar utilizando valores corregidos de la conductividad a cada iteración, pero la influencia de este parámetro se considera irrelevante. Se ha elegido el máximo valor de la conductividad en el rango de temperaturas considerado con el fin de de sobreestimar ligeramente las pérdidas de calor.

$$R_{\text{cond aisl}} = \frac{\ln\left(\frac{D_{\text{aisl}}}{D_{\text{ext}}}\right)}{2\pi \cdot K_{\text{aisl}} \cdot L_{\text{tubo ext}}} = \frac{\ln\left(\frac{66}{25,6}\right)}{2\pi \cdot 0,038 \cdot 8,1} = 0,49 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

- Convección externa debida al aire ambiente

Para estos cálculos conviene considerar el caso más desfavorable, que sería el de tener convección por flujo cruzado. Las tuberías exteriores estarán situadas en la azotea, más concretamente, pegadas al suelo y a una pequeña pared vertical que rodea la azotea. Por tanto, se considera que lo más lógico es que el aire llegue perpendicularmente a la tubería. La velocidad del viento se obtiene de AEMET, igual que en el apartado 7. La siguiente correlación también se obtiene de los apuntes de la asignatura Térmica I.

$$Nu_{\text{ext}} = 0,193 \cdot Re_{\text{conv ext tubo}}^{0,618} \cdot Pr_{\text{aire}}^{0,333}$$

$$Re_{\text{conv ext tubo}} = U_{\infty} \cdot \rho \cdot \frac{D_{\text{aisl}}}{\mu}$$

$$h_{\text{aire ext}} = K_{\text{aire}} \cdot \frac{Nu_{\text{ext}}}{D_{\text{aisl}}} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

$$A_{\text{tubo aisl ext}} = \pi \cdot D_{\text{aisl}} \cdot L_{\text{tubo ext}} = \pi \cdot 0,066 \cdot 8,1 = 1,679(\text{m}^2)$$

$$R_{\text{conv aire ext}} = \frac{1}{h_{\text{aire}} \cdot A_{\text{tubo aisl ext}}} \left(\frac{\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Meses	Re conv ext tubo	Nusselt	Coef convect. H aire (W/m ² ·K)	Resis conv aire ext (K/W)
Enero	8.387,46	46,31	17,05	0,0349
Febrero	7.917,35	44,75	16,47	0,0362
Marzo	16.425,23	70,34	25,90	0,0230
Abril	15.619,99	68,40	25,18	0,0236
Mayo	10.739,58	54,34	20,01	0,0298
Junio	9.052,30	49,15	18,10	0,0329
Julio	11.685,47	57,75	21,26	0,0280
Agosto	9.652,45	51,34	18,90	0,0315
Septiembre	9.304,70	49,93	18,38	0,0324
Octubre	9.320,30	49,74	18,31	0,0325
Noviembre	9.196,92	49,02	18,05	0,0330
Diciembre	9.395,35	49,60	18,26	0,0326

Tabla 23. Resistencia de convección del aire en el exterior

8.3. Resistencias térmicas en los conductos interiores

La longitud de las tuberías que transcurren por el interior es de 4 m.

- Convección interna debida al fluido (mismo procedimiento que en el apartado 8.2)

$$A_{tubo\ int} = \pi \cdot D_{int\ tubo} \cdot L_{tub\ int} = \pi \cdot 21,1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 0,265\ m^2$$

$$R_{convección\ int\ fluido\ exterior} = \frac{1}{h_{fluido\ tub} \cdot A_{tubo\ int}} = 2,56 \cdot 10^{-3} \frac{K}{W}$$

- Conducción a través de del acero inoxidable (mismo procedimiento que en el apartado 8.2)

$$R_{cond\ int} = \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{acero} \cdot L_{tubo\ int}} = \frac{\ln\left(\frac{25,6}{21,1}\right)}{2\pi \cdot 17 \cdot 4} = 4,525 \cdot 10^{-4} \frac{K}{W}$$

- Conducción a través del aislante

$$R_{cond\ aisl} = \frac{\ln\left(\frac{D_{aisl}}{D_{ext}}\right)}{2\pi \cdot K_{aisl} \cdot L_{tubo\ int}} = \frac{\ln\left(\frac{66}{25,6}\right)}{2\pi \cdot 0,038 \cdot 4} = 0,992 \frac{K}{W}$$

- Convección externa debida al aire

En este caso, hay que usar las fórmulas de convección natural ya que los conductos interiores transcurren por la sala de máquinas. Con ayuda del capítulo 7 de Convección Natural del libro “FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, INCROPERA”, se obtienen los siguientes datos:

Ra_D	C	n
10^{-10} - 10^{-2}	0,675	0,058
10^2 - 10^{-2}	1,02	0,148
10^2 - 10^4	0,85	0,188
10^4 - 10^7	0,48	0,25
10^7 - 10^{12}	0,125	0,333

Tabla 24. Datos para el cálculo del número de Rayleigh

Donde:

Ra_D : corresponde al número de Rayleigh, que viene definido según la fórmula:

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_f) \cdot D_{aisl}^3}{\vartheta \cdot \alpha}$$

C y n son coeficientes adimensionales para aplicar en la siguiente fórmula.

$$Nu_D = \frac{h \cdot D_{aisl}}{K_{aire}} = C \cdot Ra_D^n$$

Con el número de Prandt y Grashof Se obtiene el de Rayleigh.

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_f) \cdot D_{aisl}^3}{\vartheta^2}$$

Dónde:

g: constante gravitacional

$\beta = 1/T_\infty$, donde T_∞ corresponde a la temperatura media del fluido

T_s : Temperatura media de la superficie, en este caso, del aislante

T_f : Temperatura media de la sala de máquinas

ϑ : Viscosidad cinemática en m^2/s

$$Gr = \frac{9,8 \cdot (1/(333,15)) \cdot (323,15 - 287,15) \cdot 0,066^3}{(2,72 \cdot 10^{-6})^2} = 4,104 \cdot 10^7$$

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

Ya se había calculado el número de Prandt en apartados anteriores

Para todos los meses del año, el número de Rayleigh está comprendido entre 10^4 - 10^7 , por tanto el número de Nusselt se calculará con la fórmula $0,48 \cdot Ra_D^{0,25}$

Se obtienen los siguientes resultados utilizando además de las anteriores, las siguientes fórmulas:

$$A_{tubo\ aisl\ ext} = \pi \cdot D_{aisl} \cdot L_{tubo\ int} = \pi \cdot 0,066 \cdot 4 = 0,8294\ m^2$$

$$R_{conv\ aire\ ext} = \frac{1}{h_{aire} \cdot A_{tubo\ aisl\ int}} \left(\frac{K}{W} \right)$$

Meses	Nusselt	Coef convect. h aire (W/m ² ·K)	Resis conv aire ext (K/W)
Enero	35,56	13,09	0,092
Febrero	35,60	13,11	0,092
Marzo	35,63	13,12	0,092
Abril	35,72	13,15	0,092
Mayo	35,75	13,16	0,092
Junio	35,89	13,22	0,091
Julio	35,99	13,25	0,091
Agosto	36,00	13,25	0,091
Septiembre	35,86	13,20	0,091
Octubre	35,73	13,15	0,092
Noviembre	35,56	13,09	0,092
Diciembre	35,52	13,08	0,092

Tabla 25. Resistencia de convección del aire en el interior

8.4. Resumen de resistencias térmicas de pérdidas en las tuberías

Los datos de resistencias con los que se calcularán las pérdidas en los conductos son los siguientes:

Resistencias conductos exteriores				Resistencias conductos interiores			
R conv int fluido ext (K/W)	R cond acero inox ext (K/W)	R conv aisl ext (K/W)	R conv aire ext (K/W)	R conv int fluido (K/W)	R cond acero inox (K/W)	R conv aisl (K/W)	R conv aire (K/W)
0,001264	0,000223	0,49	0,034934	0,00256	0,0004525	0,992	0,092
0,001264	0,000223	0,49	0,036153	0,00256	0,0004525	0,992	0,092
0,001264	0,000223	0,49	0,022998	0,00256	0,0004525	0,992	0,092
0,001264	0,000223	0,49	0,023649	0,00256	0,0004525	0,992	0,092
0,001264	0,000223	0,49	0,029770	0,00256	0,0004525	0,992	0,092
0,001264	0,000223	0,49	0,032913	0,00256	0,0004525	0,992	0,091
0,001264	0,000223	0,49	0,028011	0,00256	0,0004525	0,992	0,091
0,001264	0,000223	0,49	0,031509	0,00256	0,0004525	0,992	0,091
0,001264	0,000223	0,49	0,032400	0,00256	0,0004525	0,992	0,091
0,001264	0,000223	0,49	0,032525	0,00256	0,0004525	0,992	0,092
0,001264	0,000223	0,49	0,033001	0,00256	0,0004525	0,992	0,092
0,001264	0,000223	0,49	0,032613	0,00256	0,0004525	0,992	0,092

Tabla 26. Resumen de resistencias exteriores e interiores

8.5. Pérdidas por conductos

Como se ha contado anteriormente, hay que diferenciar entre circuitos de salida y de entrada a los captadores, y circuitos interiores y exteriores. Para completar los cálculos se necesitarán los datos de temperaturas calculados en el siguiente bloque. Los resultados de las pérdidas por los conductos vienen reflejados en la tabla 36 del apartado 10.2.3.

Conductos de entrada exteriores

$$Q_{perd\ cond\ ext\ ent} = \frac{T_{ec} - \left(\frac{T_{ec} + T_{ambiente}}{2}\right)}{\sum R_{ext}}$$

Conductos de salida exteriores

$$Q_{perd\ cond\ ext\ sal} = \frac{T_{sc} - \left(\frac{T_{sc} + T_{ambiente}}{2}\right)}{\sum R_{ext}}$$

Conductos de entrada interiores

$$Q_{perd\ cond\ int\ ent} = \frac{T_{ec} - \left(\frac{T_{ec} + T_{sala\ maq}}{2}\right)}{\sum R_{int}}$$

Conductos de salida interiores

$$Q_{perd\ cond\ int\ sal} = \frac{T_{sc} - \left(\frac{T_{sc} + T_{sala\ maq}}{2}\right)}{\sum R_{int}}$$

Donde:

T_{ec} : Temperatura de entrada en los captadores

T_{sc} : Temperatura de salida de los captadores

Finalmente, solo hay que diferenciar entre pérdidas en conductos de entrada y de salida.

$$Q_{perd\ cond\ entrada} = Q_{perd\ cond\ ext\ ent} + Q_{perd\ cond\ int\ ent}$$

$$Q_{perd\ cond\ salida} = Q_{perd\ cond\ ext\ sal} + Q_{perd\ cond\ int\ sal}$$

9. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS EN EL TANQUE DE ACUMULACIÓN

Aunque el tanque de acumulación esté bien aislado, se van a tener pérdidas de calor que se van a calcular más adelante.

Como se ha comentado anteriormente, se va a elegir un ProClean y un PSN (acero inoxidable S235 JR 1.4404) con un volumen de acumulación de 800 L cada uno.

9.1. Resistencias térmicas del acumulador

Antes de calcular las resistencias, hay que recopilar algunos datos necesarios para los cálculos.

Aislante del Proclean:

- Es de resina de melamina, y además tiene una capa exterior de 1mm de lámina de plástico duro de poliestireno. Lo proporciona TISUN, al igual que los siguientes datos.
- Espesor: 100 mm
- $D_{aisl\ ext\ PC} = 950\text{ mm}$
- $D_{aisl\ int\ PC} = 750\text{ mm}$
- $K_{aisl\ PC} = 0.035\frac{W}{m} \cdot K$

Dimensiones del tanque de acumulación:

- Altura (H): 1910 mm (sin tener en cuenta el aislante)
- $D_{acero\ int\ PC} = 742\text{ mm}$
- $K_{acero\ PC} = 17\frac{W}{m} \cdot K$
- Conducción a través del aislante

$$R_{cond\ aisl\ PC} = \frac{\ln\left(\frac{D_{aisl\ ext\ PC}}{D_{aisl\ int\ PC}}\right)}{2\pi \cdot K_{aisl\ PC} \cdot H_{PC}} = \frac{\ln\left(\frac{950}{750}\right)}{2\pi \cdot 0,035 \cdot 1,91} = 0,563\frac{K}{W}$$

- Conducción a través de del acero inoxidable

$$R_{cond\ acero\ PC} = \frac{\ln\left(\frac{D_{aisl\ int\ PC}}{D_{acero\ int\ PC}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{acero} \cdot H_{PC}} = \frac{\ln\left(\frac{750}{742}\right)}{2\pi \cdot 17 \cdot 1,91} = 5,26 \cdot 10^{-5}\frac{K}{W}$$

- Convección externa debida al aire

Al igual que en el apartado anterior 8.3 para calcular las pérdidas en los conductos interiores, se utilizan las fórmulas de convección natural, y se obtienen los siguientes resultados:

$$A_{tubo\ aisl\ ext} = \pi \cdot D_{aisl\ ext\ PC} \cdot H_{PC} = \pi \cdot 0,95 \cdot 1,91 = 5,7\ m^2$$

$$R_{conv\ aire\ ext} = \frac{1}{h_{aire} \cdot A_{tubo\ aisl\ ext}} \left(\frac{K}{W} \right)$$

Meses	Re conv ext tubo	Nusselt	Coef convect. h aire (W/m ² ·K)	Resis conv aire ext (K/W)
Enero	8.387,46	21,55	2,618	0,318
Febrero	7.917,35	21,46	2,607	0,32
Marzo	16.425,23	21,26	2,583	0,323
Abril	15.619,99	21,08	2,561	0,325
Mayo	10.739,58	20,77	2,524	0,33
Junio	9.052,30	20,36	2,474	0,337
Julio	11.685,47	20,03	2,433	0,342
Agosto	9.652,45	20,07	2,439	0,342
Septiembre	9.304,70	20,38	2,476	0,336
Octubre	9.320,30	20,88	2,537	0,328
Noviembre	9.196,92	21,3	2,588	0,322
Diciembre	9.395,35	21,53	2,616	0,319

Tabla 27. Resistencias de convección del aire en el tanque

9.2. Pérdidas de calor en el tanque de acumulación

Al igual que en el apartado del cálculo de las pérdidas de calor en los conductos, los valores de temperaturas que se utilizan para los siguientes cálculos se calcularán en el siguiente bloque. Los resultados de las pérdidas en el tanque de acumulación vienen reflejados en la tabla 37 del apartado 10.2.4.

$$Q_{perd\ PC} = \frac{T_t - \frac{T_t + T_{sala\ maquinas}}{2}}{R_{cond\ aisl\ PC} + R_{cond\ acero\ PC} + R_{conv\ aire\ PC}}$$

Donde:

T_t : Temperatura media en el tanque de acumulación.

BLOQUE VI:

Diseño de la instalación para el suministro de ACS y calefacción

10. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN PARA EL SUMINISTRO DE ACS Y CALEFACCIÓN

En este bloque se va a calcular y diseñar la instalación solar completa para el suministro de ACS y calefacción. Estos cálculos van ligados a las pérdidas en los componentes de la instalación.

Se establece un sistema de ecuaciones haciendo un balance de energía y masa en los diferentes componentes de la instalación, y sobre el que se va a trabajar de diferente manera. El objetivo es determinar las temperaturas que habrá en el circuito, mes a mes, y la fracción solar tanto de ACS como de calefacción que aporta.

Cabe aclarar que se diferencia entre cálculos para la instalación para el suministro exclusivo de ACS y cálculos para la instalación completa, es decir, incluyendo la calefacción.

Primero se establece el sistema de ecuaciones incluyendo las ecuaciones obtenidas en los bloques anteriores para las pérdidas en colectores, conductos y tanque de acumulación que se resuelve con el programa MATHCAD.

Se obtienen los valores de temperaturas y fracción solar y calefacción del circuito para cada mes. Con estos valores se calculan los resultados de las pérdidas del circuito mes a mes introduciendo los valores obtenidos en las ecuaciones que se habían dejado anteriormente en función de los mismos. Estos cálculos son los que aparecen en los apartados sucesivos.

10.1. Sistema de ecuaciones y datos de partida

Se fijará un número de 12 paneles, que son los que caben en la azotea (único lugar donde se pueden instalar los paneles solares). Con ese número de paneles no va a ser posible cubrir la demanda completa en los meses de invierno, por lo que el resto de la demanda se cubrirá con la caldera de gasoil.

El circuito en el que se van a hacer los balances de energía es el siguiente:

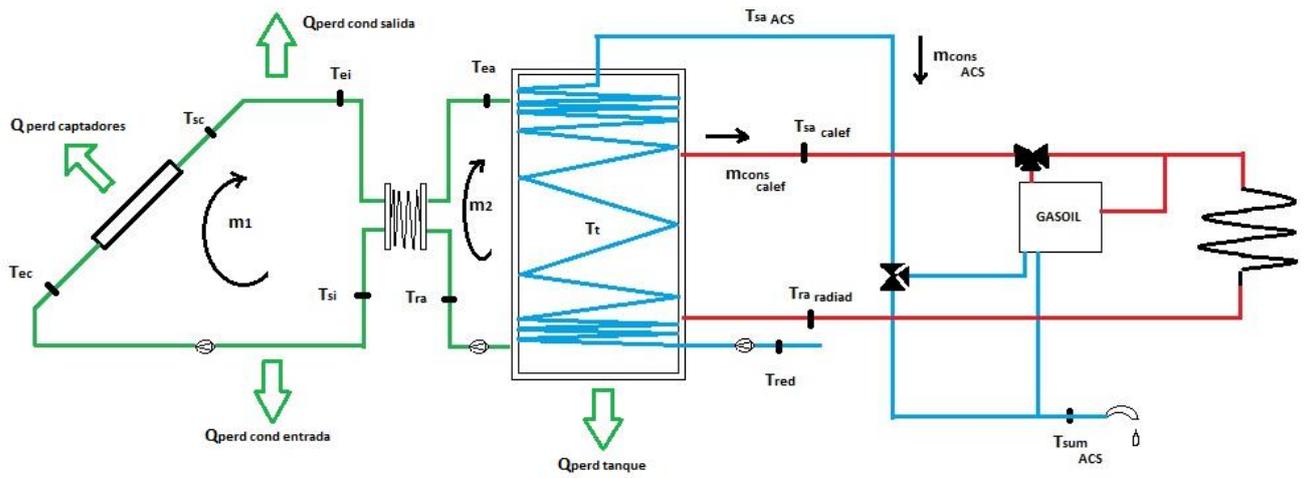


Figura 39. Esquema de la instalación para suministro de ACS y calefacción

10.1.1. Balance de energía en los captadores

Para el balance en los colectores, hay que tener en cuenta las pérdidas térmicas en los captadores solares que se calcularon en el bloque anterior, actualizando los valores de temperaturas a cada iteración.

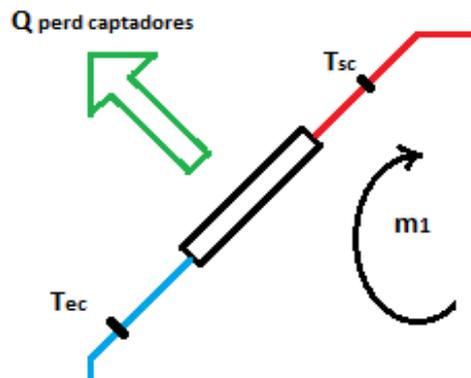


Figura 40. Balance en los captadores

$$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{sc} - T_{ec}) = I_t \cdot A - A \cdot Q_{perd\ captadores} \quad (1)$$

Donde:

m_1 : Caudal en el circuito primario (Kg/s)

C_{p1} : Calor específico del fluido del circuito primario (KJ/Kg·K)

T_{sc} : Temperatura de salida de los captadores (K)

T_{ec} : Temperatura de entrada de los captadores (K)

$Q_{perd\ captadores}$: Pérdidas en los captadores (W)

I_t : Irradiación incidente en los paneles (W)

10.1.2. Balance de energía en el intercambiador

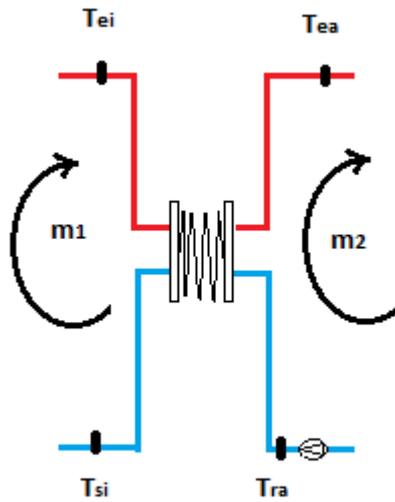


Figura 41. Esquema del balance de energía en el intercambiador

$$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{ei} - T_{si}) = m_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ea} - T_{ra}) \quad (2)$$

Donde:

m_2 : Caudal en el circuito secundario (Kg/s)

C_{p2} : Calor específico del fluido del circuito secundario (KJ/Kg·K)

T_{ei} : Temperatura de entrada en el intercambiador (K)

T_{si} : Temperatura de salida del intercambiador (K)

T_{ea} : Temperatura de entrada en el acumulador (K)

T_{ra} : Temperatura de retorno del acumulador (K)

10.1.3. Eficiencia en el intercambiador de calor

La eficiencia mide la transmisión real de calor entre ambos fluidos frente a la transmisión que se obtendría en caso de tener condiciones ideales de transmisión. Esta eficiencia se ha fijado con un valor realista para el tipo de intercambiador empleado.

$$\varepsilon = \frac{m_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ea} - T_{ra})}{m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{ei} - T_{ra})} \quad (3)$$

Donde:

ε : Eficiencia del intercambiador

10.1.4. Balace de energía en el tanque de acumulación

Aunque en este caso se simboliza el tanque con uno solo, se ha explicado anteriormente que debido a problemas de espacio, se van a necesitar poner 2 tanques anexos para poder cubrir todo el volumen necesario requerido por el CTE de acuerdo a la instalación que se está diseñando. Hay que tener en cuenta para este balance los dos circuitos (el de ACS y el de calefacción) por separado. Además, se tendrán en cuenta las pérdidas en el tanque de acumulación que se calcularon para cada mes en el apartado anterior.

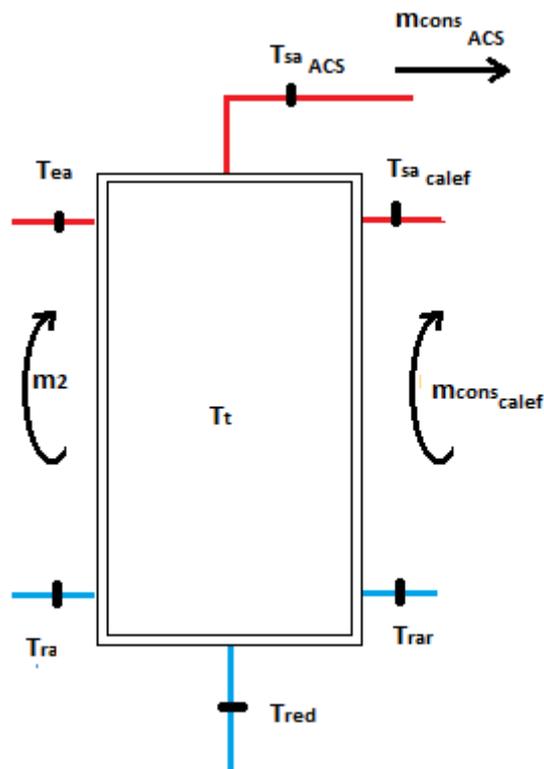


Figura 42. Esquema del balance de energía en el tanque de acumulación

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

$$m_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_{ea} - T_{ra}) = m_{cons\ calef} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{sa\ calef} - T_{ra}) + m_{cons\ ACS} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{sa\ ACS} - T_{red}) + Q_{perd\ tanque} \quad (4)$$

Donde:

$m_{cons\ ACS}$: Caudal en el circuito de consumo de ACS (Kg/s)

$m_{cons\ calef}$: Caudal en el circuito de consumo de calefacción (Kg/s)

Cp_{cons} : Calor específico del fluido del circuito de consumo (KJ/Kg·K)

$T_{sa\ ACS}$: Temperatura de salida del tubo ondulado (K)

$T_{sa\ calef}$: Temperatura de salida para el circuito de calefacción (K)

T_{red} : Temperatura del agua de red (K)

T_{rar} : Temperatura del retorno de los radiadores (K)

$Q_{perd\ tanque}$: Pérdidas en el tanque de acumulación

10.1.5. Balance de la demanda de calefacción

En el bloque II se había calculado la demanda de calefacción necesaria para cubrir la demanda de la vivienda. Por tanto, ya es un dato conocido.

$$m_{cons\ calef} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{sa\ calef} - T_{rar}) = \text{Demanda de calefacción} \quad (5)$$

10.1.6. Temperatura media en el tanque de acumulación

Para el cálculo de la temperatura media del tanque (ficticia) se supone un mezclado completo y un comportamiento estacionario. Cabe destacar que esto no es así en la realidad, ya que el tanque presenta un alto grado de estratificación. Pero cara a las pérdidas de calor, dicha estratificación no es muy relevante.

$$T_t = \frac{\frac{T_{sa\ calef} + T_{sa\ ACS}}{2} + T_{ra}}{2} \quad (6)$$

Dónde:

T_t : Temperatura media del tanque de acumulación (K)

10.1.7. Grado de estratificación en el tanque de acumulación

El funcionamiento de este tipo de tanques se basa en el fenómeno de estratificación, que consiste en la diferencia de temperaturas dentro del tanque, y las diferentes densidades del fluido según los niveles.

$$E_t = \frac{\frac{T_{sa\ calef} + T_{sa\ ACS}}{2} - T_t}{T_{ea} - T_t} \quad (7)$$

Dónde:

E_t : Grado de estratificación del tanque

10.1.8. Fracción solar mínima

La fracción solar es la parte de la energía necesaria para producir agua caliente por el sistema solar, el resto se proporcionará por el apoyo (caldera de gasoil). Es un concepto cómodo para considerar los resultados medios durante un período dado (mes o año). Para la Comunidad de Madrid, el CTE estipula una fracción solar mínima anual de 60%. Por tanto, si en los cálculos posteriores no cubriéramos esa cifra, se debería aumentar el área de captación. La fracción solar tampoco puede ser más del 100% durante más de tres meses seguidos, y en ningún caso superar el 110%. Estas últimas condiciones no son de obligatorio cumplimiento si se tiene un sistema de disipación de calor como se verá posteriormente.

$$f = \frac{T_{sa\ ACS} - T_{red}}{T_{sum} - T_{red}} \quad (8)$$

Dónde:

f: fracción de energía aportada para ACS.

10.1.9. Pérdidas en los conductos de entrada

Las pérdidas en los conductos, tanto de entrada como de salida se han calculado anteriormente, y hay resultados para cada mes.

$$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{si} - T_{ec}) = Q_{perd\ conductos\ entrada} \quad (9)$$

10.1.10. Pérdidas en los conductos de salida

$$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{sc} - T_{ei}) = Q_{perd\ conductos\ salida} \quad (10)$$

10.1.11. Datos iniciales

Para poder resolver el sistema de ecuaciones, se tienen unos datos de partida ya calculados en bloques anteriores.

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

- Irradiación solar

Ese dato se había obtenido anteriormente al calcular la radiación corregida que llega a los paneles. En la tabla 28 se reflejan los valores para cada mes, que son los datos que se van a utilizar.

- Temperatura ambiente

Este dato también está reflejado en las tablas anteriores, y también se van a hacer los cálculos con los valores para cada mes que se reflejan en la tabla 28.

- Temperatura de suministro

Este valor se fija de acuerdo con las exigencias del CTE.

- Temperatura de red

Este dato también ha sido utilizado anteriormente, y está reflejado en tablas anteriores. Se usarán los valores de la tabla 28 para resolver el sistema de ecuaciones.

- Área de captación

Se ha decidido trabajar con 12 paneles, esto supone un área total de:

$$A_{tot} = 30,6 \text{ m}^2$$

- Eficiencia del intercambiador de calor

Se ha fijado este valor en el que se suele dar habitualmente en el tipo de intercambiador empleado, es decir:

$$\varepsilon = 0,7$$

- Grado de estratificación del tanque

Este valor está comprendido entre 0 y 1 siendo 0 la estratificación cuando la temperatura de suministro equivale a la temperatura media dentro del tanque. De acuerdo a los valores típicos que se suele usar para el grado de estratificación en tanques de acumulación, este valor se fija en:

$$E_t = 0,3$$

Se resumen los datos en la siguiente tabla:

Mes	T _{red} (K)	T _{ambiente media} (K)	T _{sum} (K)	Irradiación (W/ m ²)	Área (m ²)	Eficiencia I.C	Grado estratificación
Enero	279,15	279,35	333,15	541,86	30,6	0,7	0,3
Febrero	280,15	280,55	333,15	651,15	30,6	0,7	0,3
Marzo	282,15	283,05	333,15	585,56	30,6	0,7	0,3
Abril	284,15	285,35	333,15	539,39	30,6	0,7	0,3
Mayo	285,15	289,15	333,15	509,48	30,6	0,7	0,3
Junio	286,15	293,85	333,15	454,84	30,6	0,7	0,3
Julio	287,15	297,55	333,15	480,21	30,6	0,7	0,3
Agosto	286,15	297,05	333,15	534,40	30,6	0,7	0,3
Septiembre	285,15	293,65	333,15	604,34	30,6	0,7	0,3
Octubre	284,15	287,85	333,15	674,28	30,6	0,7	0,3
Noviembre	282,15	282,55	333,15	609,08	30,6	0,7	0,3
Diciembre	279,15	279,55	333,15	618,68	30,6	0,7	0,3
Media anual	283,40	287,46	333,15	566,94	30,6	0,7	0,3

Tabla 28. Datos de partida

Además, hay que calcular los caudales que transcurren por los 3 circuitos.

- Circuito primario

El fluido que circula por el circuito primario es una mezcla de propilenglicol y agua. Por tanto, el calor específico, será tal y como se ha visto en las características del fluido anteriormente:

$$Cp_1 = 3770 \text{ J/Kg}\cdot\text{K}$$

El fabricante de los paneles proporciona el caudal óptimo para el circuito primario.

$$m_1 = 25 \frac{L}{h \cdot m^2} = 0,1094 \text{ Kg/s}$$

- Circuito secundario

Por este circuito solamente hay agua, por lo que el calor específico en este caso, será:

$$Cp_2 = 4180 \text{ J/Kg}\cdot\text{K}$$

Este caudal también lo especifica el fabricante, y es:

$$m_2 = 400 \frac{L}{h} = 0,11 \text{ Kg/s}$$

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

- Circuito de consumo

En este caso, el fluido que circula por las tuberías es agua, y el calor específico será:

$$Cp_{cons} = 4180 \text{ J/Kg}\cdot\text{K}$$

Para calcular el caudal, hay que diferenciar entre caudal de ACS y calefacción.

El caudal de ACS varía cada mes en función de la demanda de ACS calculada en el Bloque II.

Mes	Consumo corregido L/mes	Días por mes	mconsACS (Kg/s)
Enero	6.894,40	31	0,0154
Febrero	5.555,20	28	0,0138
Marzo	5.307,20	31	0,0119
Abril	4.272,00	30	0,0099
Mayo	3.819,20	31	0,0086
Junio	3.456,00	30	0,0080
Julio	3.819,20	31	0,0086
Agosto	4.464,00	31	0,0100
Septiembre	5.376,00	30	0,0124
Octubre	6.745,60	31	0,0151
Noviembre	7.344,00	30	0,0170
Diciembre	7.489,60	31	0,0168

Tabla 29. Caudal de ACS

Para el caudal del circuito de calefacción, se utilizará la ecuación 5. Se tomará un valor medio anual de la demanda de calefacción, y una diferencia de temperaturas entre el retorno de los radiadores y la temperatura de salida de calefacción de 15 °C. Se obtiene un valor de caudal de calefacción de:

$$m_{cons\ calef} = 0,241 \text{ Kg/s}$$

Hay que tener en cuenta que para los meses de verano en los que se considera que no se pondrá la calefacción, es decir, de Junio a Septiembre ambos incluidos, no se tendrá en cuenta el circuito de calefacción, por lo que no se considerará la temperatura de retorno de los radiadores, ni la fracción de calefacción. Además, el caudal de calefacción se considerará nulo durante estos meses.

Se van a sustituir los datos de partida en las siguientes ecuaciones para obtener las temperaturas a lo largo del circuito.

$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{sc} - T_{ec}) = I_t \cdot A - A \cdot Q_{perd \text{ captadores}} \quad (1)$
$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{ei} - T_{si}) = m_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ea} - T_{ra}) \quad (2)$
$\varepsilon = \frac{m_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ea} - T_{ra})}{m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{ei} - T_{ec})} \quad (3)$
$m_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ea} - T_{ra}) = m_{cons \text{ calef}} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{sa \text{ calef}} - T_{ra}) + m_{cons \text{ ACS}} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{sa \text{ ACS}} - T_{red}) + Q_{perd \text{ tanque}} \quad (4)$
$m_{cons \text{ calef}} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{sa \text{ calef}} - T_{rar}) = \text{Demanda de calefacción} \quad (5)$
$T_t = \frac{\frac{T_{sa \text{ calef}} + T_{sa \text{ ACS}}}{2} + T_{ra}}{2} \quad (6)$
$E_t = \frac{\frac{T_{sa \text{ calef}} + T_{sa \text{ ACS}}}{2} - T_t}{T_{ea} - T_t} \quad (7)$
$f = \frac{T_{sa \text{ ACS}} - T_{red}}{T_{sum} - T_{red}} \quad (8)$
$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{si} - T_{ec}) = Q_{perd \text{ cond entrada capt}} \quad (9)$
$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{sc} - T_{ei}) = Q_{perd \text{ cond salida capt}} \quad (10)$

Tabla 30. Sistema de ecuaciones completo para ACS

10.2. Resultados

En este apartado se darán los valores de temperaturas del circuito para cada mes, así como la fracción solar de ACS, de calefacción en los meses de invierno, y la fracción total de calor aportada por la instalación.

Además, se calcularán los valores de las pérdidas térmicas en los colectores solares, en los conductos exteriores e interiores del circuito, y en el tanque de acumulación. Recordemos que en los Bloques V y VI se hizo un estudio previo de dichas pérdidas, dejando éstas en función de las temperaturas del circuito. Ahora ya se puede dar un resultado para cada mes.

10.2.1. Valores de temperaturas del circuito y fracción solar

En la siguiente tabla aparecen los valores finales de las temperaturas del circuito, la fracción solar de ACS y la de calefacción, y la fracción total de calor aportada por la instalación para cada mes, calculados con el programa Mathcad.

Mes	T _{ec} (°C)	T _{sc} (°C)	T _{ei} (°C)	T _{si} (°C)	T _{ea} (°C)	T _{ra} (°C)	T _{sa} (°C)	T _{rar} (°C)	T _t (°C)
Enero	42,57	60,28	59,92	42,80	50,82	35,47	42,55	38,00	39,01
Febrero	48,41	72,43	72,01	48,68	59,61	38,68	48,34	41,03	43,51
Marzo	50,54	72,98	72,55	50,81	61,00	41,50	50,50	43,75	46,00
Abril	55,33	80,22	79,76	55,62	66,93	45,27	55,27	47,24	50,27
Mayo	59,29	80,37	79,94	59,59	69,12	50,87	59,29	52,74	55,08
Junio	118,74	129,03	128,29	119,41	123,57	115,61	119,28	-	117,44
Julio	119,24	130,36	129,63	119,90	124,46	115,73	119,76	-	117,74
Agosto	114,84	127,02	126,32	115,46	120,55	110,81	115,31	-	113,06
Septiembre	104,18	117,31	116,65	104,75	110,65	99,65	104,18	-	102,12
Octubre	58,92	80,22	79,78	59,21	68,85	50,40	58,91	53,64	54,66
Noviembre	49,18	68,43	68,04	49,44	58,15	41,47	49,17	44,42	45,32
Diciembre	44,55	114,96	64,58	44,79	54,06	36,32	44,51	39,21	40,41

Tabla 31. Valores finales de las temperaturas del circuito para ACS y calefacción

Mes	f _{ACS}	f _{CAL}	f _{TOT}
Enero	0,677	0,207	0,273
Febrero	0,780	0,385	0,437
Marzo	0,814	0,415	0,470
Abril	0,903	0,629	0,666
Mayo	0,985	0,902	0,918
Junio	2,261	-	2,261
Julio	2,299	-	2,299
Agosto	2,202	-	2,202
Septiembre	1,929	-	1,929
Octubre	0,978	0,829	0,879
Noviembre	0,788	0,305	0,395
Diciembre	0,713	0,255	0,327

Tabla 32. Valores finales de la fracción solar de ACS, de calefacción, y fracción total aportada por la instalación

Se observa que hay valores para los que la fracción solar es superior al 100%. El CTE prohíbe que se obtengan valores del 100% durante más de 3 meses seguidos, y en ningún caso se supere el 110% para la fracción solar de ACS.

No obstante, en este proyecto se dispone de un sistema de disipación de calor a través de una piscina, para contrarrestar los excesos de aporte de calor en la instalación y calentar el agua, por lo que se explicarían y se validarían los resultados obtenidos. Este estudio se hará en el siguiente bloque.

10.2.2. Pérdidas en captadores solares

La siguiente tabla recoge los datos proporcionados por CENER, y los datos que ya se tenían anteriormente:

Mes	Energía (MJ/m ² ·día)	Horas de sol/mes	K	Días/mes	Tambiente (°C)	T media (°C)	G (W)
Enero	6,7	148	1,39	31	6,2	24,4	389,83
Febrero	10,6	157	1,24	28	7,4	52,0	525,12
Marzo	13,6	214	1,07	31	9,9	57,3	547,25
Abril	16,8	231	0,89	30	12,2	58,7	606,06
Mayo	20,9	272	0,77	31	16	70,9	661,66
Junio	23,5	310	0,72	30	20,7	73,8	631,72
Julio	26	359	0,77	31	24,4	77,9	623,65
Agosto	23,1	335	0,9	31	23,9	78,7	593,78
Septiembre	16,9	261	1,12	30	20,5	74,7	539,59
Octubre	11,4	198	1,36	31	14,7	62,1	495,79
Noviembre	7,5	157	1,53	30	9,4	39,5	398,09
Diciembre	5,9	124	1,51	31	6,4	31,8	409,72

Tabla 33. Datos necesarios para el cálculo de las pérdidas en los captadores.

Finalmente, al sustituir en la expresión ya comentada en el apartado 7.3 del Bloque V,

$$h_a = h_{oa} - a_{1a} \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2a} \cdot G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2$$

se obtienen los resultados que recoge la siguiente tabla, donde aparte del rendimiento de los captadores mes a mes, se obtiene el calor teórico que llega a los paneles Q , el calor real que llega a los paneles Q_{util} , y finalmente las pérdidas en los captadores $Q_{pérdidas}$.

Dónde:

$$Q_{util} = Q \cdot \eta$$

$$Q_{pérdidas} = \frac{Q - Q_{util}}{2,36}$$

Mes	Rto	Q (W)	Q útil (W)	Q pérdidas (W/m ²)
Enero	0,646	1.278,8	825,6	192,0
Febrero	0,464	1.536,7	712,9	349,1
Marzo	0,451	1.381,9	623,0	321,6
Abril	0,493	1.273,0	628,0	273,3
Mayo	0,453	1.202,4	544,4	278,8
Junio	0,452	1.073,4	484,7	249,5
Julio	0,444	1.133,3	502,7	267,2
Agosto	0,413	1.261,2	520,6	313,8
Septiembre	0,379	1.426,2	540,2	375,4
Octubre	0,415	1.491,3	559,7	394,8
Noviembre	0,526	1.437,4	755,8	288,8
Diciembre	0,583	1.460,1	850,6	258,3

Tabla 34. Cálculo de calor incidente, rendimiento y pérdidas en captadores.

Se observa que el rendimiento es mayor en invierno que en verano, lo cual tiene sentido al ser muy elevada en verano la temperatura la superficie de captación, lo que disminuye notablemente el rendimiento.

10.2.3. Pérdidas por conductos

Se obtienen las siguientes pérdidas por conductos:

$$Q_{\text{perd cond entrada}} = Q_{\text{perd cond ext ent}} + Q_{\text{perd cond int ent}}$$

$$Q_{\text{perd cond salida}} = Q_{\text{perd cond ext sal}} + Q_{\text{perd cond int sal}}$$

Mes	ΣR_{ext}	ΣR_{int}	Q perd cond ida ext (W)	Q perd cond vuelta ext (W)	Q perd cond ida int (W)	Q perd cond vuelta int (W)	Q perd cond entrada (W)	Q perd cond salida (W)
Ene	0,5264	1,0871	28,27	36,67	10,05	14,13	38,32	50,80
Feb	0,5276	1,0870	59,13	76,71	25,35	33,88	84,48	110,59
Mar	0,5145	1,0869	59,94	77,91	25,59	34,09	85,54	112,00
Abr	0,5151	1,0867	74,93	97,41	33,26	43,92	108,19	141,33
May	0,5213	1,0866	62,34	81,88	28,52	37,90	90,86	119,78
Jun	0,5244	1,0862	53,97	72,08	25,76	34,50	79,73	106,58
Jul	0,5195	1,0860	58,22	78,37	28,40	38,04	86,62	116,41
Ago	0,5230	1,0860	63,07	84,78	30,81	41,27	93,89	126,05
Sep	0,5239	1,0863	67,11	89,33	32,02	42,73	99,13	132,06
Oct	0,5240	1,0867	66,91	87,72	30,59	40,62	97,50	128,34
Nov	0,5245	1,0871	39,80	51,67	16,31	22,03	56,11	73,70
Dic	0,5241	1,0872	36,88	47,89	14,19	19,50	51,07	67,38

Tabla 35. Resumen de pérdidas en los conductos exteriores e interiores

En la gráfica siguiente se ven las diferentes variaciones de las pérdidas en los conductos.



Figura 43. Gráfico de variación de pérdidas por los conductos

10.2.4. Pérdidas en el tanque de acumulación

Sustituyendo en la siguiente expresión se obtienen las pérdidas en el tanque de acumulación.

$$Q_{perd\ PC} = \frac{T_t - \frac{T_t + T_{sala\ maquinas}}{2}}{R_{cond\ aisl\ PC} + R_{cond\ acero\ PC} + R_{conv\ aire\ PC}}$$

Meses	Tt (°C)	T sala maq (°C)	R cond aisl (K/W)	R cond acero (K/W)	R conv aire ext PC (K/W)	Q pérdidas tanque (W)
Enero	40,99	14,1	0,563	0,0000526	0,318	15,25
Febrero	45,32	14,7	0,563	0,0000526	0,320	17,35
Marzo	47,75	15,95	0,563	0,0000526	0,323	17,95
Abril	51,78	17,1	0,563	0,0000526	0,325	19,52
Mayo	56,53	19	0,563	0,0000526	0,330	21,01
Junio	161,24	21,35	0,563	0,0000526	0,337	77,73
Julio	163,23	23,2	0,563	0,0000526	0,342	77,32
Agosto	157,95	22,95	0,563	0,0000526	0,342	74,61
Septiembre	143,65	21,25	0,563	0,0000526	0,336	68,04
Octubre	57,51	18,35	0,563	0,0000526	0,328	21,96
Noviembre	47,62	15,7	0,563	0,0000526	0,322	18,04
Diciembre	42,66	14,2	0,563	0,0000526	0,319	16,14

Tabla 36. Resumen de las pérdidas de calor en el tanque de acumulación

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

A continuación comparamos la magnitud de unas pérdidas frente a otras, aunque las pérdidas térmicas en los captadores suponen la mayor parte de ellas.

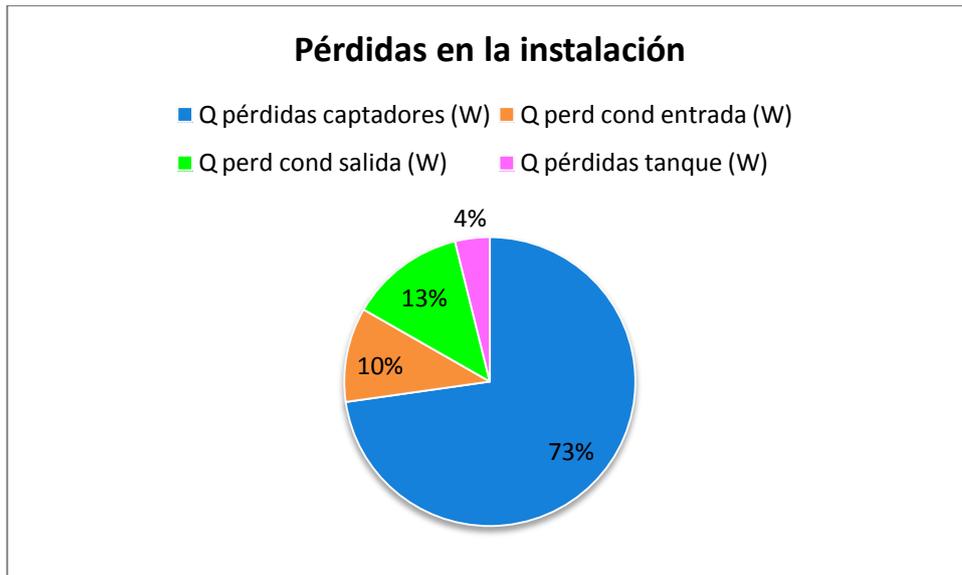


Figura 44. Gráfico de las pérdidas en la instalación completa

BLOQUE VII:

Cálculo del sistema de disipación de calor: piscina

11. SISTEMA DE DISIPACIÓN DE CALOR: PISCINA

Tanto el CTE como el RITE prohíben el uso de fuentes de energía convencionales para el calentamiento de piscinas al aire libre. Solamente se pueden usar fuentes de energías renovables o residuales, que es caso de este proyecto, ya que se usa el excedente de calor generado por la instalación solar térmica para calentar la piscina al aire libre que hay ya construida en la vivienda.

Las piscinas al aire libre deben estar situadas preferentemente en lugares en los que la velocidad del viento sea lo más baja posible según estipula el IDAE.

11.1. Valores iniciales y dimensionamiento

Hay que comprobar que se cumple con las exigencias del CTE, ya que la media anual de la fracción solar aportada debe ser como mínimo del 60%. Para ello hay que calcular la media anual, pero restando el excedente en los meses de verano.

Hay que calcular primero el calor excedente anual (que en realidad solo hay entre los meses de Junio a Septiembre incluidos), y posteriormente hay que calcular la fracción solar anual media de la instalación restando ese calor excedente.

$$Q_{exc\ anual} = \sum m_{cons\ ACS} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{sa} - T_{red}) - m_{cons\ ACS} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{sum} - T_{red}) = 6,93\ kW$$

Mes	Q _{excedente} (W)
Junio	1.560,7
Julio	1.682,8
Agosto	1.859,6
Septiembre	1.826,7
TOTAL	6.929,9

Tabla 37. Excedente de calor de la instalación

Hay que calcular ahora la fracción solar para ACS teniendo en cuenta que el calor excedente se disipa en una piscina de la vivienda.

$$f_{anual} = \frac{\sum m_{cons\ ACS} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{sa} - T_{red}) - Q_{excedente\ anual}}{\sum m_{cons\ ACS} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{sum} - T_{red})} = 0,886$$

Mes	Excedente de calor (W)	Fracción solar de ACS sin excedente de calor
Enero	0,0	0,677
Febrero	0,0	0,780
Marzo	0,0	0,814
Abril	0,0	0,903
Mayo	0,0	0,985
Junio	1.560,7	1,000
Julio	1.682,8	1,000
Agosto	1.859,6	1,000
Septiembre	1.826,7	1,000
Octubre	0,0	0,978
Noviembre	0,0	0,788
Diciembre	0,0	0,713
Media	577,49	0,886

Tabla 38. Fracción solar de ACS anual con sistema de disipación

Se obtiene una fracción solar media anual aportada para ACS de 88,6%, por lo que la instalación cumple sobradamente con las exigencias del Código Técnico. En caso de que hubiera sido inferior a lo estipulado en el CTE habría que haber aumentado la superficie de paneles.

Además del aporte de calor excedente de la instalación de ACS se van tener en cuenta y se van a tener que calcular, las pérdidas de calor en la piscina así como las ganancias debidas a la radiación solar aportada. No obstante, para los cálculos de la irradiación incidente en los captadores solares no se tuvo en cuenta ningún factor de sombras ya que se consideró que por la ubicación de los paneles (en la azotea de la vivienda), los paneles iban a estar libres de ellas. Sin embargo, para el caso de la irradiación incidente en la piscina es diferente. Aparte de que va a haber árboles que puedan dar lugar a sombras, también habrá que tener en cuenta la sombra por parte de la vivienda.

Dichas pérdidas se calculan a partir del apartado 3.6 del CTE y la tabla del Anejo B, y los resultados se reflejan en la Tabla 39 para los meses en los que hay un excedente de calor. Este valor varía según el mes ya que también lo hace la trayectoria del sol al tener un ángulo respecto a la horizontal menor en invierno que en verano con inclinación Sur. Además, hay que utilizar un coeficiente de uso de la piscina, ya que va a variar dependiendo del mes. Ese valor se estima en función de lo que se considere que se va a utilizar la piscina.

Otros datos iniciales que hay que tener en cuenta para el cálculo de las pérdidas y ganancias en la piscina son la temperatura ambiente, la temperatura de red, y la velocidad del viento. Todos estos valores se han usado ya en apartados anteriores.

Mes	Irradiación (W/m ²)	Velocidad del viento (m/s)	Coef. uso	T ambiente (°C)	T red (°C)	Factor de sombras
Junio	454,84	2,28	0,7	20,7	13	0,42
Julio	480,21	3,02	0,9	24,4	14	0,41
Agosto	534,40	2,51	0,9	23,9	13	0,39
Septiembre	604,34	2,33	0,7	20,5	12	0,31

Tabla 39. Valores iniciales para el cálculo de pérdidas y ganancias en la piscina

Tal y como especifica el IDAE, en instalaciones de piscinas la disposición de los elementos será la siguiente: el filtro ha de colocarse siempre entre la bomba y los captadores y el sentido de la corriente ha de ser bomba-filtro-captadores, para evitar que la resistencia del filtro provoque una sobrepresión perjudicial para los captadores, prestando especial atención a su mantenimiento. La impulsión de agua caliente deberá hacerse por la parte inferior de la piscina, quedando la impulsión de agua filtrada en superficie.

Otros factores que se tendrán en cuenta para los cálculos de los siguientes apartados son el área y el volumen de la piscina. En la vivienda, la piscina ya estaba construida por lo que se van a utilizar esas medidas. En principio no se considera que las dimensiones de la piscina sean un inconveniente, ya que el excedente de calor no supondrá un gran aumento de la temperatura del agua al no ser éste demasiado elevado.

Ancho (m)	Largo (m)	Profundidad 1 (m)	Profundidad 2 (m)	Área (m ²)	Volúmen (m ³)
3	6	1	2	18	28

Tabla 40. Dimensiones de la piscina

11.2. Pérdidas en la piscina

Existen varios tipos de pérdidas de calor en la piscina. Influirá además el hecho de que la piscina esté al aire libre en vez de estar cubierta, ya que las fórmulas del cálculo de las pérdidas son diferentes. Todas ellas se calculan a partir de la fórmula proporcionada por el Anexo IV del IDAE.

- Pérdidas por evaporación del agua

Estas pérdidas representan porcentualmente la mayor parte de las pérdidas de calor. Consiste en la evaporación del agua de la superficie debida a las elevadas temperaturas que se alcanzan durante el día.

- Pérdidas por radiación

Estas pérdidas corresponden a la emisión de radiación del agua hacia la atmósfera debido a la diferencia de temperaturas existente entre ella.

- Pérdidas por convección

Se deben a la convección del agua de la piscina con el aire que circula en el ambiente, y que al estar en el exterior, hay que considerarlo con una velocidad (ver valores en apartado de pérdidas en captadores).

- Pérdidas por renovación

Estas pérdidas no suponen un gran porcentaje del total de las pérdidas en la piscina, pero hay que tenerlas en cuenta. Se deben al agua de renovación que se introduce en la piscina para mantener el nivel a causa de las posibles fugas, las salpicaduras causadas por los bañistas, limpieza de fondos, así como la propia evaporación del agua...etc.

- Pérdidas por conducción

Se deben al calor que se pierde por las paredes de la piscina. Sin embargo, estas pérdidas no se van a tener en cuenta al ser prácticamente despreciables debido al gran espesor de las paredes y su alto grado de aislamiento hacia el terreno.

Como se ha mencionado anteriormente, el IDAE proporciona la siguiente fórmula empírica para los cálculos de las pérdidas de calor en la piscina.

$$Q_{\text{perd piscina}} = \frac{(28 + 20 \cdot v) \cdot (T_{\text{agua}} - T_{\text{ambiente}}) \cdot A_{\text{piscina}}}{1000} \quad (\text{kW})$$

Donde:

v : Velocidad del viento en m/s

T_{agua} : Temperatura media del agua (°C). Es un valor estimado para cada mes.

Los resultados de las pérdidas en la piscina se presentan en la tabla siguiente para los meses en los que hay un excedente de calor en la instalación.

Mes	Velocidad del viento (m/s)	T ambiente (°C)	T piscina (°C)	Área	Q perdidas piscina (kW)
Junio	2,28	20,7	26	18	4,37
Julio	3,02	24,4	26	18	2,55
Agosto	2,51	23,9	26	18	2,96
Septiembre	2,33	20,5	25	18	3,36

Tabla 41. Pérdidas de calor en la piscina

11.3. Ganancias de energía en la piscina

Como ganancias de calor en la piscina, hay que considerar la radiación incidente y el excedente de calor que aporta la instalación de ACS.

11.3.1. Radiación incidente

Para el cálculo del calor aportado por la radiación incidente se van a utilizar los valores de radiación calculados en apartados anteriores, pero para los meses en los que haya un excedente de calor. También se usará el coeficiente de sombras de la piscina, ya calculado en el apartado de los valores iniciales, y el área de la piscina. Se utilizará la fórmula siguiente:

$$Q_{rad} = I_{incidente} \cdot A_{piscina} \cdot f_{sombras}$$

Los resultados se presentan en la Tabla 42.

11.3.2. Excedente de calor

Este resultado se había calculado en el apartado 11.1, y se había dado su valor en Wattios, sin embargo ahora se da en Julios ya que el siguiente paso sería calcular el aumento de temperatura de la piscina, y ver si se considera excesivo o si supera. La temperatura del agua se mide en el centro de la piscina a unos 20 cm por debajo de la superficie tal y como estipula el RITE.

Mes	Ganancias por radiación (MJ)	Q _{excedente} (MJ)	Total (MJ)
Junio	4.456,4	2.022,7	6.479,1
Julio	4.592,9	2.181,0	6.773,9
Agosto	4.862,0	2.410,1	7.272,1
Septiembre	4.370,4	2.367,4	6.737,8
TOTAL	18.281,7	8.981,1	27.262,8

Tabla 42. Ganancias de calor en la piscina

11.3.3. Resultados

La segunda columna de la Tabla 43 presenta un resumen de los resultados de las pérdidas y ganancias naturales en la piscina de la vivienda en los meses mencionados anteriormente, sin tener en cuenta el aporte de calor proporcionado por la instalación. Esto se puede traducir en la carga térmica de la piscina. En los meses de Julio, Agosto y Septiembre, los valores son negativos, es decir, que hay ganancias de calor. La tercera

columna representa la potencia no cubierta, es decir el calor que se pierde en total por la piscina teniendo en cuenta el excedente de calor aportado por la instalación. Para Junio, Julio, Agosto y Septiembre, los valores siguen siendo negativos, ya que se está metiendo el calor disipado del circuito de captación en la piscina y hay más ganancias totales de calor que pérdidas. Por último, la cuarta columna representa la fracción de energía aportada a la piscina por el excedente de calor proveniente de la instalación de ACS respecto a las ganancias totales de calor en la piscina.

Mes	Carga térmica (W)	Potencia no cubierta (W)	Fracción de energía aportada por excedente de calor (W)	ΔT aportado por el excedente de calor ($^{\circ}C$)
Junio	933,26	-627,48	0,312	0,18
Julio	-998,01	-2.680,85	0,322	0,19
Agosto	-795,55	-2.655,19	0,331	0,20
Septiembre	-15,23	-1.841,90	0,351	0,19
TOTAL	-875,53	-7.805,41	0,219	0,19

Tabla 43. Resultados pérdidas y ganancias

Se obtiene un aporte total de 21,9% de calor por parte del excedente de la instalación de ACS. Los porcentajes más altos se encuentran en los meses de Julio y Agosto como es lógico, ya que en esos meses disminuyen las pérdidas, y por tanto las necesidades térmicas de la piscina, debido al aumento de la temperatura ambiente, de la temperatura de red y de la radiación solar.

El re direccionar el calor excedente de la instalación en los meses de verano, es una solución sencilla a la par que barata y eficaz, ya que el montaje es bastante simple tal y como se verá en el apartado 11.1, y los resultados obtenidos en la Tabla 43 de las pérdidas y ganancias y calor aportado, son coherentes.

BLOQUE VIII:

Pérdida de carga y cálculo de los componentes del circuito

12. PÉRDIDA DE CARGA DEL CIRCUITO PRIMARIO

El caudal recomendado por el fabricante es $Q = 25 \text{ L}/\text{m}^2 \cdot \text{h} = 2,125 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

12.1. Pérdida de carga en las tuberías

Todas las tuberías del circuito primario son del mismo material, acero inoxidable, con las siguientes características. Hay que tener en cuenta que el fabricante informa que la pérdida de carga es un 25% superior a la de un tubo liso. Es por esto que la pérdida de carga en las tuberías se ha calculado despreciando la rugosidad del tubo, aunque posteriormente se ha multiplicado por 1,25 para ponderar el efecto mencionado por el fabricante.

- DN 20
- $D_{int} = 21,1 \text{ mm}$
- $\rho = 1030 \text{ kg}/\text{m}^3$
- $\mu = 0,0028 \text{ Kg}/\text{m} \cdot \text{s}$
- $\epsilon = 0,05 \text{ mm}$ (APUNTES IMH)
- $\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,05}{21,1} = 2,37 \cdot 10^{-3}$
- $Re = \frac{4 \cdot \rho \cdot Q}{\mu \cdot D \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 1030 \cdot 2,125 \cdot 10^{-4}}{0,0028 \cdot 0,0211 \cdot \pi} = 4891,7$

Se procede a calcular el factor de fricción mediante método iterativo.

Se inicializa el procedimiento con la ecuación de Swamee-Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{2,37 \cdot 10^{-3}}{3,71} + \frac{5,74}{4891,7} \right) \right]^2} = 0.0495$$

Ahora se va a iterar con la fórmula de Colebrook para obtener un resultado más preciso:

$$f_1 = \left[\frac{1}{-2 \log \left(\frac{2,37 \cdot 10^{-3}}{3,71} + \frac{2,51}{4891,7 \cdot \sqrt{0.0495}} \right)} \right]^2 = 0.04005$$

$$f_2 = \left[\frac{1}{-2 \log \left(\frac{2,37 \cdot 10^{-3}}{3,71} + \frac{2,51}{4891,7 \cdot \sqrt{0,04005}} \right)} \right]^2 = 0,04018$$

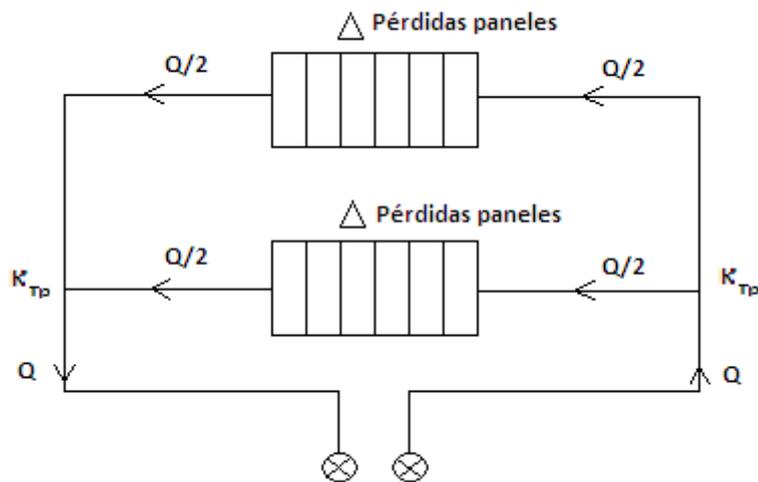
$$f_3 = \left[\frac{1}{-2 \log \left(\frac{2,37 \cdot 10^{-3}}{3,71} + \frac{2,51}{4891,7 \cdot \sqrt{0,04018}} \right)} \right]^2 = 0,04016$$

$$f_4 = 0,04016$$

Puede decirse que el circuito primario caliente, y el circuito primario frío, son simétricos, van paralelos, por tanto tendrán el mismo número de codos y las mismas longitudes.

- Longitud tubería fuera: 8,1 m
- Longitud tubería dentro: 4 m
- Codos 90°: 4 dentro y 4 fuera
- + tubería en T

Esquema del circuito:



Coefficiente de pérdida de carga para codo acoplado a 90 grados: $K_C = 0,5$

Coefficiente de pérdida de carga para el tramo perpendicular de una bifurcación en T: $K_{Tp} = 1$

Se va a calcular ahora la pérdida de carga de las tuberías, incluyendo los elementos (codos). $L_{TOT} = (8,1 + 4) \cdot 2 = 24,2 \text{ m}$

$$Q = v \cdot A \rightarrow v^2 = \frac{16 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4}$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \left\{ f \cdot \frac{L}{D} + \sum K \right\}$$

$$= \rho \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4} \cdot \left\{ f \cdot \frac{L}{D} + \sum K \right\}$$

$$= 1030 \cdot \frac{8 \cdot (2,125 \cdot 10^{-4})^2}{\pi^2 \cdot (21,1 \cdot 10^{-3})^4} \cdot \left\{ 0,04016 \cdot \frac{24,2}{21,1 \cdot 10^{-3}} + 16 \cdot 0,5 + 2 \cdot 1 \right\}$$

$$\Delta P_{tuberías+elementos} = 10662,79 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{real tuberías+elementos} = 1,25 \cdot \Delta P = 13328,49 \text{ Pa}$$

12.2. Pérdida de carga en los captadores

La pérdida de carga ha sido extraída de la gráfica facilitada por el fabricante, quien recomienda un caudal de 25 l/m²h. Con lo cual lo único que hay que hacer es entrar con ese valor en la gráfica y buscar la curva de 6 captadores, que es el número de captadores por fila que se va a utilizar.

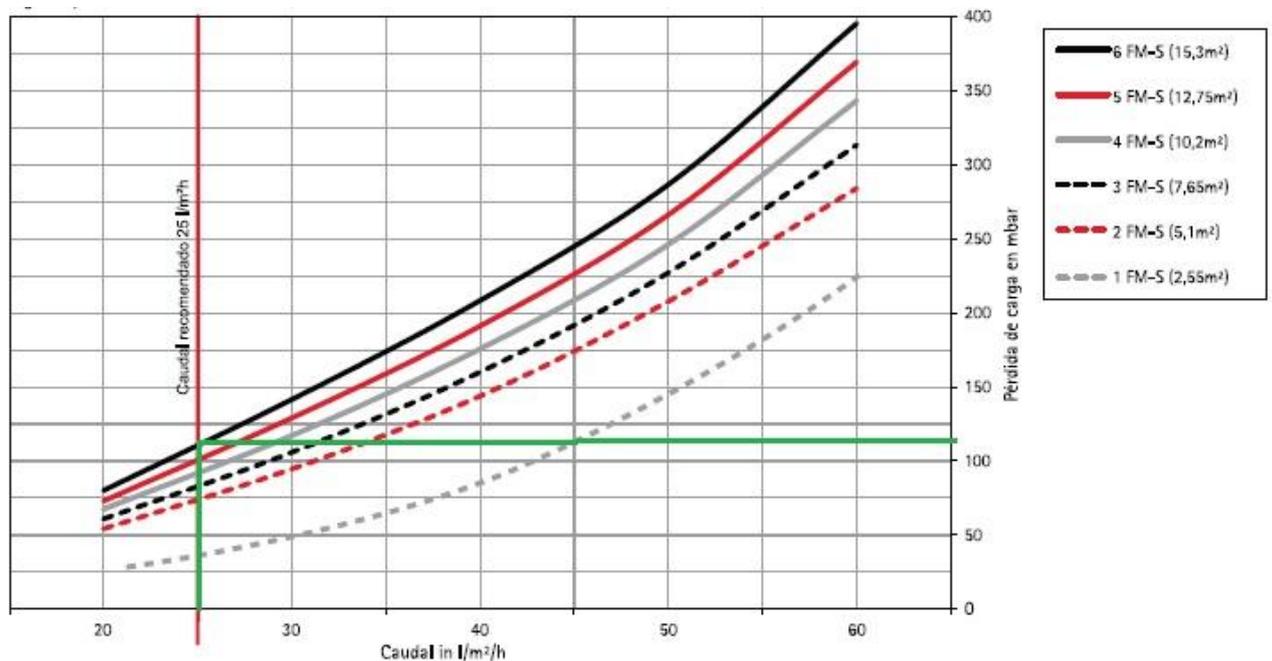


Figura 45. Pérdida de carga en los captadores

$$\Delta P_{colectores} = 110 \cdot 10^{-3} \text{ bar} = 11000 \text{ Pa}$$

12.3. Pérdida de carga en la estación solar

La estación solar incluye la bomba del circuito primario y la centralita que contiene toda la lógica de las válvulas y demás, de toda la instalación. Se ha seleccionado el modelo SD 25RD. En esta selección se ha encontrado un caso curioso. El fabricante recomienda esta estación para áreas de captación de hasta 25 m², pero para áreas de captación mayores recomienda la SDE 50. El caso es que al realizar los cálculos hidráulicos para seleccionar la bomba de impulsión que se necesita, se ha encontrado que la SD 25RD se acoplaba mucho más a las necesidades de impulsión que la SDE 50, siendo más eficiente para el circuito. Es por esto que aquí no se ha seguido la recomendación del fabricante al pie de la letra. Además, no solo hay que tener en cuenta la compatibilidad de la bomba, sino que la SDE 50 contiene una centralita SIMPLEX, es decir, que solo tiene capacidad para manejar la lógica de un circuito, ACS o calefacción, mientras que la SD 25RD contiene una centralita DUPLEX, capaz de manejar la lógica de 2 circuitos que es lo que se necesita para esta instalación. Además, no hay mucha diferencia de precio, por lo que se considera una decisión coherente.

Para calcular la pérdida de carga se acude a la gráfica facilitada por el fabricante de esta estación. Se entra con un caudal de 765 l/h.

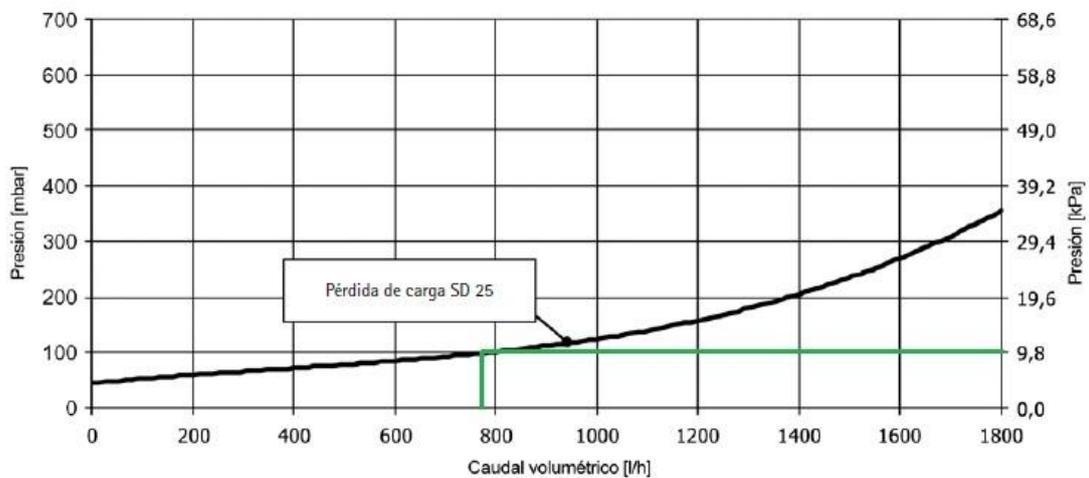


Figura 46. Pérdida de carga en la estación solar

$$\Delta P_{bomba} = 9,8 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

12.4. Pérdida de carga en el intercambiador de calor

Se selecciona el intercambiador de calor ST40, que es el recomendado para áreas de captación de hasta 40 m². La pérdida de carga se obtiene de la gráfica facilitada por el fabricante, entrando con un caudal de 0,765 m³/h.

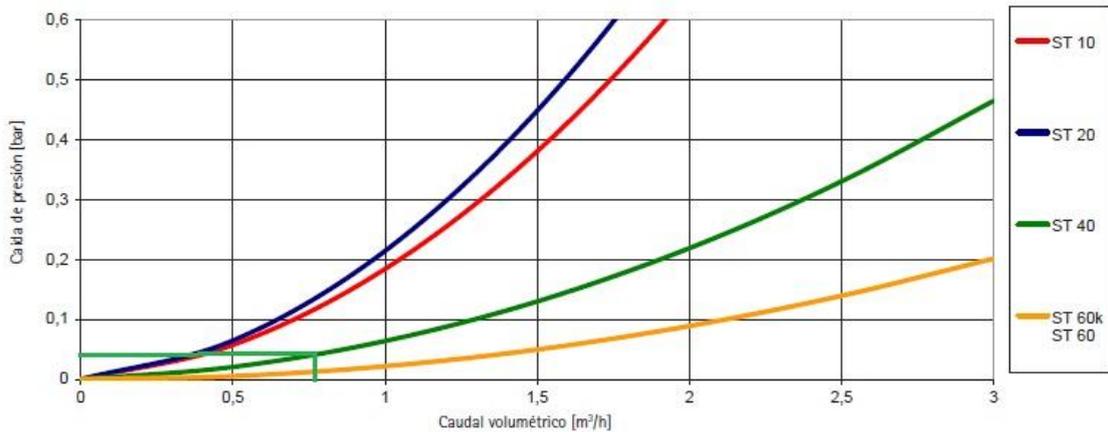


Figura 47. Pérdida de carga en el intercambiador de calor

$$\Delta P_{intercambiador} = 0,035 \text{ bar} = 3500 \text{ Pa}$$

12.5. Pérdidas de carga totales

$$\begin{aligned} \Delta P_{totales} &= \Delta P_{tub+elts} + \Delta P_{colectores} + \Delta P_{est \text{ solar}} + \Delta P_{intercambiador} \\ &= 13328,49 + 11000 + 9800 + 3500 \\ &= 37624,49 \text{ Pa} \end{aligned}$$

13. CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO PRIMARIO

13.1. Cálculo de la bomba

Altura de la bomba

$$H_b = \frac{\Delta P_{totales}}{\rho \cdot g} = \frac{37624,49}{1030 \cdot 9,81} = 3,72 \text{ m}$$

Hay que consultar las gráficas de TISUN, y con una altura $H_b = 3,72 \text{ m}$ y un caudal $Q = 0,765 \text{ m}^3/\text{h}$ se elige una bomba WILO STAR- ST 20/6, con potencia nominal 37W,

que como se observa en la gráfica se ajusta bien a las necesidades. La bomba siempre tendrá que estar funcionando entre el régimen mínimo y el medio.

Curvas características de la bomba solar de circulación Wilo STAR-ST20/6

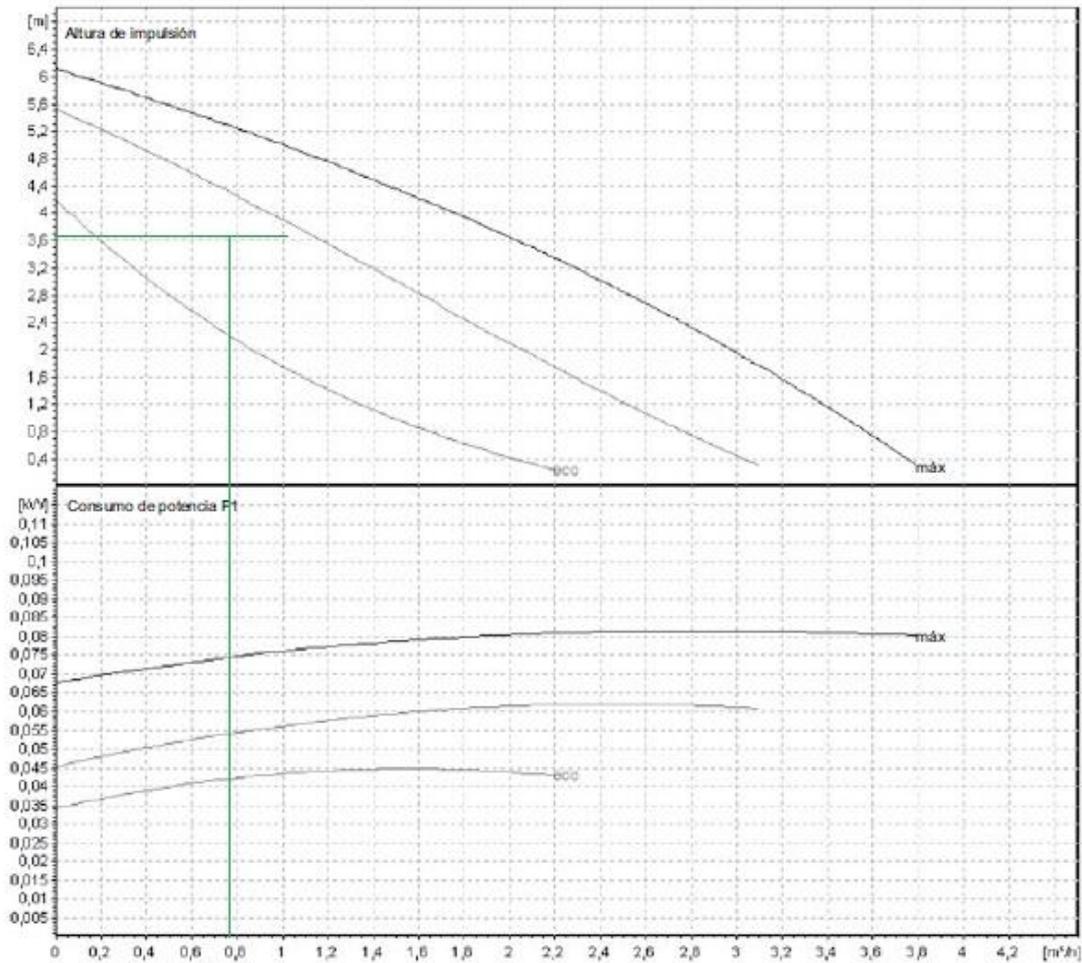


Figura 48. Curvas características de la bomba

13.2. Cálculo del intercambiador de calor

El intercambiador de calor ha sido seleccionado del catálogo del fabricante de acuerdo a sus recomendaciones. En este caso el criterio ha sido el del área de captación. Tenemos un área de captación de $30,6 \text{ m}^2$ y se ha elegido el ST 40 que está recomendado para áreas de captación de hasta 40 m^2 .

13.3. Cálculo del vaso de expansión

El rango de presiones que se a tener en el circuito primario, variará de $P_{\min} = 1,5 \text{ bar}$ hasta $P_{\max} = 5 \text{ bar}$.

Se fija una temperatura de 70°C aunque se sea consciente de que es un valor un poco sobredimensionado.

Se procede a los cálculos que proporciona la norma UNE-100-155-88.

Dónde:

C_e : Coeficiente de expansión del fluido

G : Porcentaje de glicol

f_c : Factor de corrección

t : Temperatura

Se calcula el coeficiente de expansión mediante la fórmula para temperaturas de entre 30 y 70 °C.

$$C_e = (-1,75 + 0,064 \cdot t + 0,0036 \cdot t^2) \cdot 10^{-3}$$

$$C_e = (-1,75 + 0,064 \cdot 70 + 0,0036 \cdot 70^2) \cdot 10^{-3} = 0,02037$$

Pero esto es válido para agua, cuando es para disolución de glicol en agua hay que utilizar un factor de corrección.

$$f_c = a \cdot (1,8t + 32)^b$$

Dónde:

$$G = 37,5\%$$

$$a = -0,0134 \cdot (G^2 - 143,8 \cdot G + 1918,2) = 27,712$$

$$b = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot (G^2 - 94,57 \cdot G + 500) = -0,574$$

Por tanto, $f_c = 1,516$

$$C_e = 0,02037 \cdot 1,516 = 0,0309$$

Se calcula ahora el coeficiente de presión:

$$C_p = \frac{P_{max}}{P_{max} - P_{min}} = \frac{5}{5 - 1,5} = 1,426$$

Se procede a calcular el volumen de la instalación:

$$V_{tuberías} = \frac{(21,1 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 24,2 = 8,462 \cdot 10^{-3} m^3 = 8,462L$$

$$V_{colectoes} = 12 \cdot 1,9 = 22,8 L$$

$$V_{empalmes} = 20 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (21,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,03 = 8,392 \cdot 10^{-4} m^3 = 0,8392L$$

$$V_{int} = 4,2L$$

$$V_{tot} = 8,46 + 22,8 + 0,839 + 4,2 = 36,301 L$$

Con los datos obtenidos anteriormente, se obtienen los volúmenes necesarios para determinar el modelo y tamaño de vaso de expansión que se necesita.

$$V_{vaso} = V_{tot} \cdot C_e \cdot C_p = 36,301 \cdot 0,0309 \cdot 1,426 = \mathbf{1,6 L}$$

Con los valores obtenidos, se elige el vaso de expansión SAG-18R.

14. PÉRDIDA DE CARGA DEL CIRCUITO DE CONSUMO

14.1. Pérdida de carga de la bomba

El circuito hidráulico de calefacción se compone de dos materiales: cobre y hierro galvanizado. Para el cálculo de la pérdida de carga se calculará la pérdida de carga asociada a la parte de cobre, la asociada a la parte de hierro y la correspondiente a los radiadores y se sumarán para obtener el valor total de la pérdida de carga de la instalación, lo que permitirá pasar a la selección de una bomba de circulación adecuada. La bomba será seleccionada del catálogo de Wilo de bombas de rotor húmedo.

Por la instalación circula un caudal de $Q = 0.241 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Densidad del agua: $\rho = 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$

Viscosidad dinámica del agua: $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}/\text{m} \cdot \text{s}$

- **Parte de cobre**

Longitud de tuberías: $L_{\text{cobre}}=98 \text{ m}$

Número de codos=22

Diámetro: $D=0.03175 \text{ m}$ (1 pulgada y cuarto)

$K_{\text{codo}}=0.5$

Rugosidad absoluta: $e_{\text{cobre}}=0.0015 \text{ mm}$

Rugosidad relativa: $\frac{e_{\text{cobre}}}{D} = 4.724 \cdot 10^{-5}$

Se calcula el número de Reynolds: $Re_{\text{cobre}} = \frac{4 \cdot \rho \cdot Q}{\mu \cdot \pi \cdot D} = \frac{4 \cdot 1000 \cdot 0.241 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 0.03175} = 9664.59$

Ahora se procede al cálculo del factor de fricción:

Para obtener un valor inicial se emplea la ecuación de Swamee-Jain, con el mismo procedimiento que para el cálculo de la pérdida de carga del circuito primario, por lo que no se volverán a hacer paso a paso los cálculos de las iteraciones, sino que se dará un resultado final:

$$f = \frac{1/4}{\left[\log \left(\frac{e_{cobre}/D}{3.71} + \frac{5.74}{Re^{9/10}} \right) \right]^2}$$

$$f_0 = \frac{1/4}{\left[\log \left(\frac{4.724 \cdot 10^{-5}}{3.71} + \frac{5.74}{9664.59^{9/10}} \right) \right]^2} = 0.03135$$

Se itera la fórmula de Colebrook y se obtiene:

$$f_4 = \left(\frac{1}{\left[-2 \log \left(\frac{4.724 \cdot 10^{-5}}{3.71} + \frac{2.51}{9664.59 \cdot \sqrt{0.03123}} \right) \right]} \right)^2 = 0.03124$$

$$f_{cobre} = 0.03124$$

Ahora se calcula la pérdida de carga de la bomba:

$$\Delta P_{cobre} = \frac{8 \cdot \rho \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4} \cdot \left\{ f_{cobre} \cdot \frac{L_{cobre}}{D} + \sum K \right\}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{cobre} &= \frac{8 \cdot 1000 \cdot 0.241 \cdot 10^{-3^2}}{\pi^2 \cdot 0.03175^4} \cdot \left\{ 0.03124 \cdot \frac{98}{0.03175} + 22 \cdot 0.5 \right\} \\ &= 4976.89 \text{ Pa} \end{aligned}$$

- **Parte de hierro**

Parte de los datos siguientes se han obtenido gracias a un plano de la instalación de calefacción que había en la memoria de calefacción original de la casa.

Longitud de tuberías: $L_{hierro}=98$ m

Número de codos=38

Diámetro: $d=0.01905$ m ($3/4$ pulgada)

$K_{codo}=0.5$

Rugosidad absoluta: $e_{hierro}=0.17$ mm

Rugosidad relativa: $\frac{e_{hierro}}{d} = 8.924 \cdot 10^{-3}$

Se calcula el número de Reynolds: $Re_{cobre} = \frac{4 \cdot \rho \cdot Q}{\mu \cdot \pi \cdot D} = \frac{4 \cdot 1000 \cdot 0.241 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 0.01905} = 16107.65$

Ahora se procede al cálculo del factor de fricción. Para obtener un valor inicial otra vez la ecuación de Swamee-Jain:

$$f = \frac{1/4}{\left[\log \left(\frac{e_{hierro}/d}{3.71} + \frac{5.74}{Re^{9/10}} \right) \right]^2}$$

$$f_0 = \frac{1/4}{\left[\log \left(\frac{8.924 \cdot 10^{-3}}{3.71} + \frac{5.74}{16107.65^{9/10}} \right) \right]^2} = 0.04079$$

Se itera la fórmula de Colebrook y se obtiene:

$$f_5 = \left(\frac{1}{\left[-2 \log \left(\frac{8.294 \cdot 10^{-3}}{3.71} + \frac{2.51}{16107.65 \cdot \sqrt{0.03937}} \right) \right]} \right)^2 = 0.03937$$

$$f_{hierro} = 0.03937$$

Ahora se calcula la pérdida de carga:

$$\Delta P_{hierro} = \frac{8 \cdot \rho \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^4} \cdot \left\{ f_{hierro} \cdot \frac{L_{hierro}}{d} + \sum K \right\}$$

$$\Delta P_{hierro} = \frac{8 \cdot 1000 \cdot 0.241 \cdot 10^{-3}^2}{\pi^2 \cdot 0.01905^4} \cdot \left\{ 0.03937 \cdot \frac{5.7}{0.01905} + 38 \cdot 0.5 \right\}$$

$$= 11003.05 \text{ Pa}$$

Para la pérdida de carga que provoca cada radiador se coge un valor típico suministrado por el fabricante Grundfos de 500 Pa.

Por tanto:

$$\Delta P_{rad} = n \cdot 500 = 9500 \text{ Pa}$$

Donde:

n: número de radiadores=19

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{cobre} + \Delta P_{hierro} + \Delta P_{rad} = 4976.89 + 11003.05 + 950$$

$$= 25479.94 \text{ Pa}$$

$$H_b = \frac{\Delta P_{tot}}{\rho \cdot g} = \frac{25479.94}{1000 \cdot 9.81} = 2.597 \text{ m}$$

15. CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO DE CONSUMO

15.1. Cálculo de la bomba

Una vez calculada la altura y sabiendo el caudal $Q = 0.241 \text{ L/s}$ se consulta el catálogo de Wilo de bombas de rotor húmedo y se elige la bomba Wilo-Star E30/1-5.

Aquí se muestran sus curvas características para ver que, efectivamente, la bomba puede operar en las condiciones que se necesitan.

Wilo-Star-E 20/1-5, E 25/1-5, E 30/1-5

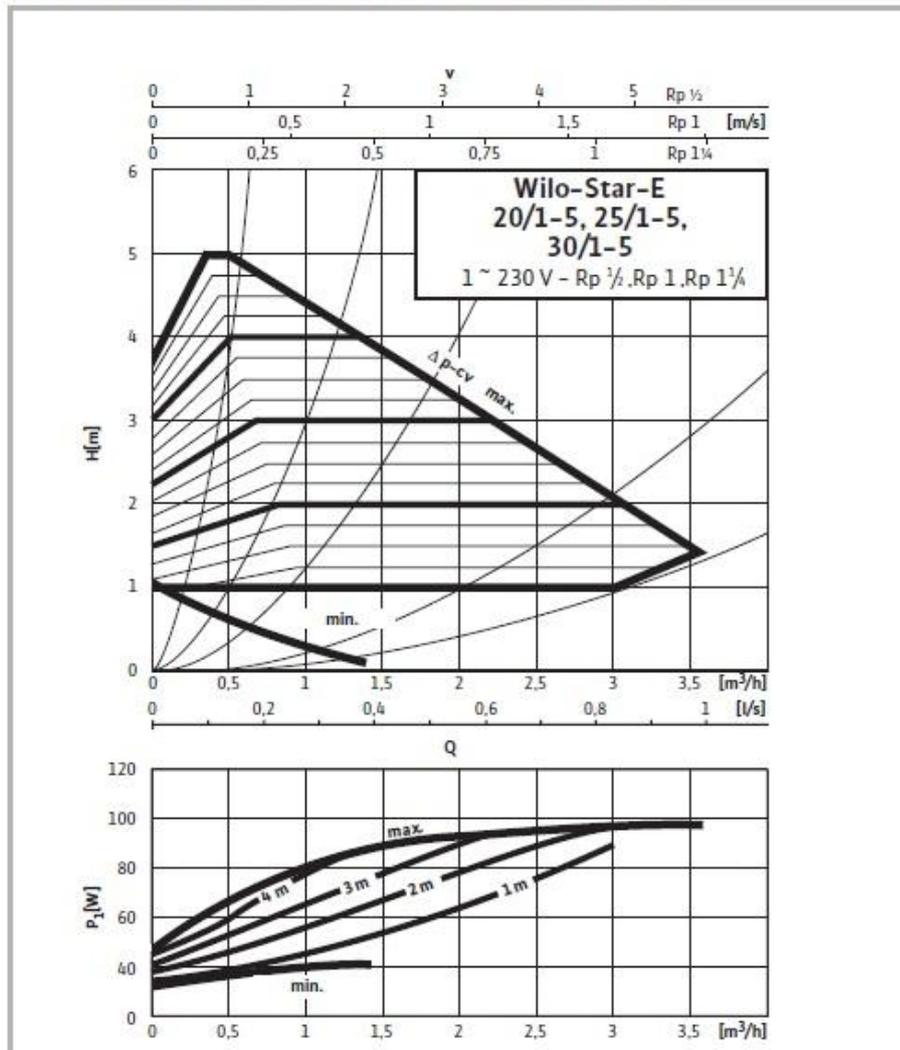


Figura 49. Curva característica de la bomba

Se observa que la bomba consumirá alrededor de 60 W.

15.2. Cálculo del vaso de expansión

Los cálculos realizados para el dimensionado del vaso de expansión son los recomendados en la norma UNE-100-155-88.

Para el dimensionado del vaso se va a tomar una temperatura media de la instalación de 60 °C, aunque se sabe que la temperatura media real será de alrededor de 50. Se hace esto con el objetivo de sobredimensionar el equipo y dejar un margen de seguridad.

Se empieza calculando el volumen de la instalación.

Volumen de las tuberías:

$$V_{cobre} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L_{cobre} = \pi \cdot \frac{0.03175^2}{4} \cdot 98 = 0.07759 \text{ m}^3 = 77.59 \text{ L}$$

$$V_{hierro} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot L_{hierro} = \pi \cdot \frac{0.01905^2}{4} \cdot 5.7 = 1.62 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1.62 \text{ L}$$

Volumen de los radiadores:

Para estimar el volumen de los radiadores se ha utilizado un parámetro facilitado por FERNOX, según el cual por cada kW se necesitan 11 L de agua para el caso de los radiadores de acero. Se han tomado 27,43 kW que es la carga térmica de la vivienda en el mes de Enero. Se ha tomado este valor por ser el más elevado, y de esta manera aseguramos los cálculos de cara a dar más seguridad.

Así el volumen de los radiadores queda:

$$V_{rad} = 27.43 \cdot 11 = 301.94 \text{ L}$$

Por lo tanto el volumen total de la instalación será:

$$V_{tot} = 77.59 + 1.62 + 301.73 = 380.94 \text{ L}$$

Cálculo del coeficiente de expansión:

Se utiliza la expresión 3 de la norma, donde t es la temperatura de la instalación:

$$\begin{aligned} C_e &= (-1.75 + 0.064 \cdot t + 0.0036 \cdot t^2) \cdot 10^{-3} \\ &= (-1.75 + 0.064 \cdot 60 + 0.0036 \cdot 60^2) \cdot 10^{-3} = 0.01505 \end{aligned}$$

Cálculo del coeficiente de presión:

Se utiliza la expresión 13 de la norma, donde P_M y P_m , son la presión máxima y mínima respectivamente.

Para este cálculo se ha supuesto una presión máxima en el vaso de 3 bares y una mínima de 1,5.

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} = \frac{3}{3 - 1.5} = 2$$

Se procede ya a determinar el volumen del vaso de expansión mediante la expresión 16 de la noma:

$$V_{vaso} = V_{tot} \cdot C_e \cdot C_p = 380.94 \cdot 0.01505 \cdot 2 = 11.47 L$$

Se elige un vaso de expansión modelo 12 CMF (de 12 L de capacidad) suministrado por Ibérica de Calor.

BLOQUE IX:

Estudio de impacto ambiental

16. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA INSTALACIÓN

El principal objetivo de esta instalación es ahorrar energía para que no tenga que ser generada mediante combustibles fósiles, o a partir de energía que en algún punto de su proceso de generación produzca gases de efecto invernadero, es decir, se quieren disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Esta instalación solar térmica se considera también una inversión de cara al estudio económico tal y como se verá en el bloque siguiente, ya que a la larga, al ahorrar energía, también se ahorrará dinero.

Además, hay que aprovechar la situación geográfica de la vivienda, ya que España se puede considerar un lugar adecuado para el uso de energía solar debido a la gran cantidad de horas de sol que hay al año.

16.1. Ahorro de emisiones de CO₂

Según el IDAE, en el apartado de Procedimientos de Inspección de Calderas (ver referencia 15 de Bibliografía) el factor de emisión de CO₂ para el gasóleo C es de 42,28 MJ/kg. Es el dato que se usará para realizar el estudio de ahorro en emisiones de CO₂ dado que la caldera de apoyo de la instalación consiste en una caldera de gasoil que ya estaba previamente en la casa.

Para calcular el ahorro de CO₂ liberado a la atmósfera, se va a diferenciar entre el ahorro debido exclusivamente a la demanda de ACS, y el ahorro de CO₂ teniendo en cuenta la instalación completa.

Hay que hacer una comparativa entre la demanda necesaria y la demanda cubierta por la instalación, y ver cuánto se ahorra en emisiones de CO₂.

Mes	Días/mes	Qacs necesaria (MJ/mes)	fACS	Qacs cubierta (MJ/mes)	Q no cubierta (MJ/mes)	Ahorro de emisiones en kg de CO ₂
Enero	31	1.225,5	0,677	829,6	395,9	19,621
Febrero	28	969,2	0,780	755,9	213,3	17,878
Marzo	31	891,0	0,814	725,0	166,0	17,146
Abril	30	689,1	0,903	622,5	66,6	14,723
Mayo	31	603,4	0,985	594,5	8,9	14,062
Junio	30	534,7	1,000	534,7	0,0	12,646
Julio	31	578,3	1,000	578,3	0,0	13,678
Agosto	31	690,6	1,000	690,6	0,0	16,335
Septiembre	30	849,4	1,000	849,4	0,0	20,091
Octubre	31	1.088,0	0,978	1.063,9	24,1	25,163
Noviembre	30	1.232,9	0,788	971,0	261,9	22,967
Diciembre	31	1.331,3	0,713	949,3	382,0	22,453
Anual	365	10.683,47	0,886	9.164,74	1.518,73	216,76

Tabla 44. Ahorro de CO₂ para la instalación exclusiva de ACS

En la gráfica siguiente, se representa la diferencia de ahorro en emisiones de CO₂ al utilizar exclusivamente la caldera de gasoil para suplir la demanda de ACS, o al emplear también la instalación solar térmica teniendo solo en cuenta el circuito de ACS. Se considera que la caldera de gasoil tiene un rendimiento del 80%. Este es un valor estimado ya que como la caldera no es de nueva adquisición, sino que ya está en la casa, no se puede dar un valor concreto del rendimiento.

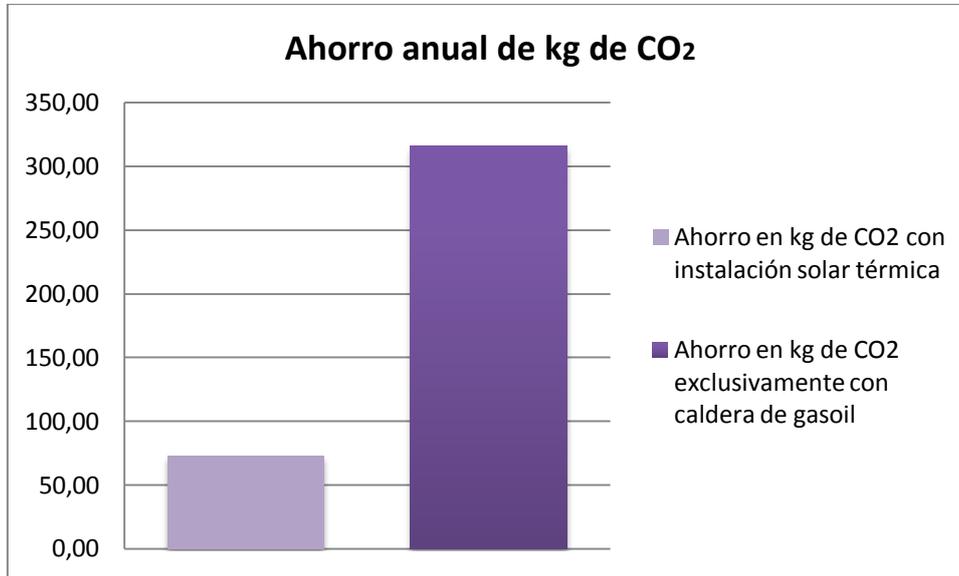


Figura 50. Ahorro de emisiones de CO₂ con o sin instalación solar térmica para instalación de ACS

Ahora se calcula el ahorro de CO₂ para la instalación completa, es decir, para la demanda de ACS y calefacción de la misma forma que se ha hecho anteriormente para la instalación teniendo en cuenta el uso exclusivo de ACS.

Mes	Qtotal necesaria (MJ/mes)	Qtotal cubierta (MJ/mes)	Qtotal no cubierta (MJ/mes)	ftOT	Ahorro en emisiones de CO ₂ en kg
Enero	30.914,7	8.439,7	22.475,0	0,273	199,6
Febrero	24.091,8	10.528,1	13.563,7	0,437	249,0
Marzo	22.818,5	10.724,7	12.093,8	0,470	253,7
Abril	17.351,5	11.556,1	5.795,4	0,666	273,3
Mayo	10.406,1	9.552,8	853,3	0,918	225,9
Junio	534,7	534,7	0,0	1,000	12,6
Julio	578,3	578,3	0,0	1,000	13,7
Agosto	690,6	690,6	0,0	1,000	16,3
Septiembre	849,4	849,4	0,0	1,000	20,1
Octubre	9.667,6	8.497,8	1.169,8	0,879	201,0
Noviembre	21.572,7	8.521,2	13.051,5	0,395	201,5
Diciembre	29.386,3	9.609,3	19.777,0	0,327	227,3
Anual	168.862,3	80.082,9	88.779,4	8,4	1.894,1

Tabla 45. Ahorro de CO₂ para la instalación completa

En la gráfica siguiente, se representa la diferencia de ahorro en emisiones de CO₂ al utilizar exclusivamente la caldera de gasoil para suplir la demanda de ACS y de calefacción, o al emplear también la instalación solar térmica teniendo en cuenta la instalación completa.

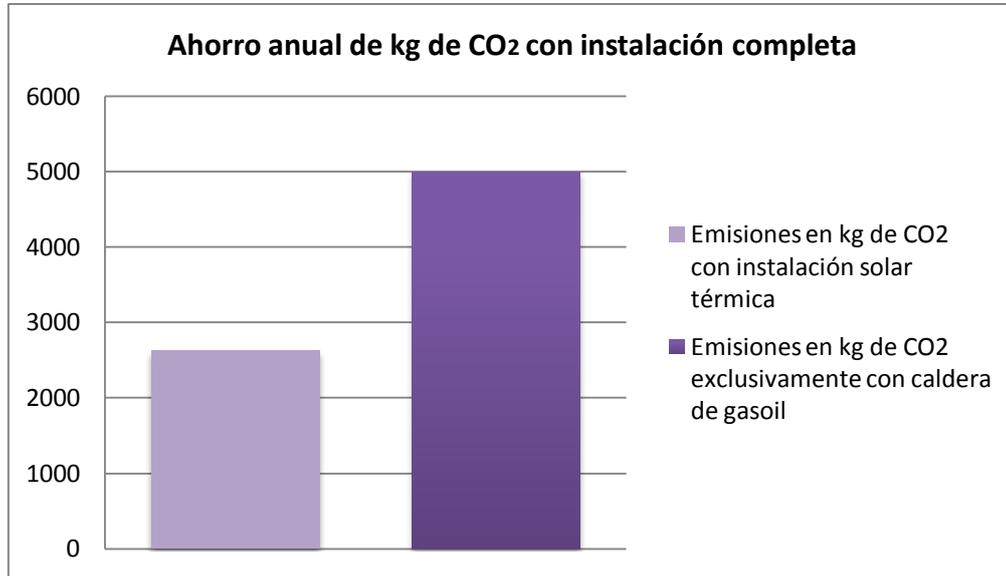


Figura 51. Diferencia de ahorro de emisiones de CO₂ con o sin instalación solar térmica para instalación completa

Con este estudio ambiental se ha comprobado el ahorro de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Se concluye que para la instalación exclusiva de ACS es cómo más diferencia de emisiones de CO₂ hay, respecto al uso exclusivo de la caldera de gasoil para suplir la demanda. Esto se debe a que prácticamente para todos los meses hay una elevada fracción solar, por lo que se cubre prácticamente la totalidad de la demanda.

Sin embargo, con el uso de la instalación completa, se ahorran más kg de emisiones de CO₂ a la atmósfera al ser la demanda necesaria de la instalación casi 8 veces mayor que para el uso exclusivo de ACS.

Hay que tener en cuenta, que al ser una vivienda particular, en la que solamente viven 4/5 personas, no se puede esperar tener grandes cifras en cuanto a ahorro de emisiones ya que tampoco hay grandes demandas ni de ACS ni de calefacción respecto a lo que podría aportar un edificio de viviendas.

BLOQUE X:

Estudio económico de la instalación

17. ESTUDIO ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN

Para este tipo de proyectos, es muy importante realizar un estudio económico de la instalación que se va a montar, de cara a la conveniencia de instalar este tipo de soluciones para suplir la demanda de ACS y calefacción a través de energías renovables frente a los sistemas convencionales como pueden ser el Gas Natural o el gasoil.

Uno de los inconvenientes encontrados, es la falta de ayudas económicas aportadas por instituciones públicas para la implantación de este tipo de soluciones energéticas aprobada por “el Real Decreto-ley 1/2012, del 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de pre asignación de retribución, y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos”.

17.1. Coste de material de la instalación

En este apartado solamente se va a tener en cuenta el coste de la adquisición de los materiales. Además, habría que estimar un porcentaje del coste del montaje de la instalación. Todos los equipos los proporciona TISUN, menos el vaso de expansión del circuito de consumo que lo proporciona Ibérica de Calor.

Se van a diferenciar los 3 circuitos que hay en la instalación según las tablas siguientes:

- CIRCUITO PRIMARIO

Item	Circuito primario		
	Cantidad	Coste unitario	Coste total
Paneles FM-S	12	719,00 €	8.628,00 €
Anticongelante FWF-F	48L	3,70 €	177,60 €
Mezclador termostático de agua BMV 34	1	60,00 €	60,00 €
Bastidor inferior colector	2	420,00 €	840,00 €
Válvula de cierre SRV 34	2	73,00 €	146,00 €
Bomba de llenado y lavado FP-S-50	1	799,00 €	799,00 €
Válvula antorretorno VK1	2	67,00 €	134,00 €
Purgador PE SD	1	40,00 €	40,00 €
Vaso de expansión SAG 18R	1	53,00 €	53,00 €
Estación solar (bomba+centralita) SD25 RD	1	635,00 €	635,00 €
Tuberías con aislante incluido SVS 20/18	30m	1.095,00 €	1.095,00 €
Abrazadera para tubo S20	20	9,00 €	180,00 €
Acoplamiento tubos K20	20	20,00 €	400,00 €
Sensores FKP6-15	2	28,00 €	56,00 €
TOTAL			13.243,60 €

Tabla 46. Coste de los equipos del circuito primario

- CIRCUITO SECUNDARIO

	Circuito Secundario		
	Cantidad	Coste unitario	Coste total
Válvula antorretorno VK1	1	67,00 €	67,00 €
Sensores FKP6-15	3	28,00 €	84,00 €
Aislante Proclean ISOM PC 800	1	639,00 €	639,00 €
Proclean 800	1	1.897,00 €	1.897,00 €
Intercambiador térmico de esfera	1	1.464,00 €	1.464,00 €
Placa de briba intercambiador	4	12,00 €	48,00 €
Set conexión intercambiador STAS 1	1	65,00 €	65,00 €
Tubo ondulado de conexión al PC PVS 64	1	114,00 €	114,00 €
Aislante PSN	1	640,00 €	640,00 €
PSN 800	1	793,00 €	793,00 €
TOTAL			5.811,00 €

Tabla 47. Coste de los equipos del circuito secundario

- CIRCUITO DE CONSUMO

	Circuito de consumo		
	Cantidad	Coste unitario	Coste total
Válvula de cierre SRV 34	1	73,00 €	73,00 €
Válvula de mezclado BMV 34	1	60,00 €	60,00 €
Válvula antirretorno VK1	1	67,00 €	67,00 €
Válvula de 3 vías 3WW 34	2	119,00 €	238,00 €
Purgador PE SD	1	40,00 €	40,00 €
Vaso de expansión 12 CMF	1	18,67 €	18,67 €
Bomba WILO STAR E30/1-5	1	236,00 €	236,00 €
Tuberías hierro	6m	59,74 €	358,44 €
Termómetro indicador Z150	1	11,00 €	11,00 €
Termostato BT 210	1	32,00 €	32,00 €
TOTAL			1.134,11 €

Tabla 48. Coste de los equipos del circuito de consumo

Por tanto, el coste total inicial de la instalación se puede estimar en la suma del total de los 3 circuitos, y se incluirá un 15% del valor total del coste para cubrir la parte de la instalación de los equipos y algún elemento que se haya podido pasar por alto.

Esto supondría un coste total de **23.217,02 €**.

17.2. Ahorro económico

17.2.1. Ahorro económico en combustible

El ahorro que supone la instalación, es el del combustible que se ahorra al sustituir la energía aportada exclusivamente por la caldera de gasoil, por la energía que aporta la instalación solar térmica.

Aún así, seguirá habiendo un coste de combustible anual, ya que la instalación no es capaz de cubrir la demanda entera tanto de ACS como de calefacción.

Estos cálculos van ligados a los cálculos de emisiones de CO₂ del bloque anterior del Estudio de Impacto Ambiental, ya que se van a utilizar las cantidades en kg por MJ que se calcularon.

En la página de www.caloryfrio.es, se han encontrado valores para el precio del combustible para el año 2012, y es el valor que se va a tomar como referencia para calcular el ahorro de combustible anual, gracias a la instalación solar.

- Precio del gasóleo: 1,024 EUR/L
- Incremento anual del precio: 15%
- Densidad: 0,85 kg/L
- Factor de emisión 42,28 MJ/kg

El valor anual de kg ahorrados en emisiones de CO₂ gracias a la instalación solar se reflejaba en la tabla 45, y era por valor de 1894,11 kg de CO₂.

Por tanto, con los datos mencionados anteriormente para el gasóleo, se obtiene:

$$\frac{1894,11 \cdot 1,024}{0,85} = 2281,84 \text{ €/año}$$

Se puede concluir, que gracias a la instalación, se ahorran en combustible **2281,84 €**.

Ahorro económico en CO₂

Hay que tener en cuenta también como ahorro económico el ahorro que supone la reducción de emisiones de CO₂ ya que es un valor que actualmente se cotiza. El problema es que habría que tener equipos adecuados para recuperar el CO₂, y no siempre sale rentable instalarlo, sobretodo en instalaciones de pequeña magnitud como es esta.

El Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono proporciona diariamente un valor en €/tm del valor del dióxido de carbono en el mercado para la Unión Europea. El valor con el que se hacen los cálculos es 3,5€ a 08 de Junio de 2012.

El cálculo de kg de CO₂ se había tenido en cuenta previamente en el bloque del estudio de impacto ambiental. Anualmente, usando exclusivamente el gasoil, se emitían 3993,9 kg de CO₂, y con la instalación completa se emiten 2099,8 kg de CO₂. Esto supone que para la instalación suponga un ahorro totalmente despreciable y no merezca la pena instalar un dispositivo para recuperar el CO₂ emitido.

17.3. Periodo de amortización

La vida útil de este tipo de instalaciones se estima en torno a 20-25 años, por lo que para obtener un beneficio económico, habría que amortizar la instalación antes de cumplir ese periodo. El periodo de amortización es el periodo en el que la instalación empieza a dar beneficios. A partir de la siguiente fórmula se calcula el beneficio para cada año. Este valor saldrá negativo mientras no se amortice la instalación.

$$B = A_a \sum_{n=1}^{25} \left[\frac{1+c}{1+i} \right]^n - C_m \sum_{n=1}^{25} \left[\frac{1+e}{1+i} \right]^n - I$$

Dónde:

B: es el beneficio anual

A_a : es el ahorro anual de combustible

c: es el incremento en tanto por uno del precio de combustible

i: inflación anual en tanto por uno

C_m : son los costes de mantenimiento y operación. Se estimará un valor del 5% del coste del material

e: es el tipo de interés anual

I: es la inversión inicial en la instalación, es decir, los costes de material.

Los siguientes valores se han obtenido en apartados anteriores:

$$A_a = 2281,4 \text{ €}$$

$$C_m = 1160,85 \text{ €}$$

$$I = 23217,02 \text{ €}$$

$$c = 0,15 \text{ (variación del 2012 a 2011)}$$

Los siguientes valores se obtienen por el Instituto Nacional de Estadística (ver referencia XXX de Bibliografía):

$$i = 0,024$$

$$e = 0,01223 \text{ (Euribor Junio 2012)}$$

Año	Beneficio
1	-21.775,3
2	-21.411,7
3	-20.999,8
4	-20.533,0
5	-20.003,8
6	-19.403,6
7	-18.722,8
8	-17.950,2
9	-17.073,5
10	-16.078,3
11	-14.948,5
12	-13.665,6
13	-12.208,7
14	-10.554,2
15	-8.674,8
16	-6.540,0
17	-4.114,8
18	-1.359,6
19	1.770,8
20	5.327,5
21	9.368,8
22	13.961,0
23	19.179,2
24	25.109,1
25	31.847,7

Tabla 49. Amortización de la instalación.

Con los valores que se han tenido en cuenta anteriormente, se obtiene en la tabla 49 que el periodo de amortización de la instalación es de 19 años. Este valor es correcto, ya que se amortiza antes de finalizar la vida útil estimada de los componentes de la instalación, pero no se obtiene demasiado beneficio. Esto se debe a que este tipo de proyectos es más rentable para instalaciones de gran magnitud, es decir, instalaciones solares térmicas en edificios o instalaciones exclusivamente para ACS.

También hay que tener en cuenta, que desde Enero de 2012 se han anulado todo tipo de subvenciones para este tipo de instalaciones, y esto también hace que se retrase el periodo de amortización.

BLOQUE XI: Conclusiones y anexos

Conclusiones y trabajos futuros

En este proyecto se ha diseñado y calculado una instalación para el suministro de agua caliente sanitaria y calefacción para una vivienda unifamiliar, teniendo en cuenta las consideraciones del Código Técnico de la Edificación entre otros.

Tras la realización del proyecto se han obtenido las siguientes conclusiones:

El sistema de captación solar es capaz de suministrar para la instalación exclusiva de ACS el 88,7 % de las necesidades de la vivienda (sin tener en cuenta el excedente de calor que se explicará a continuación). De este modo, se confirma que se cumple con la normativa, ya que en la provincia de Madrid, correspondiente a la zona climática IV, se debe tener al menos el 60 % de la contribución solar.

Para la instalación de calefacción, el sistema de captación es capaz de cubrir durante los meses en los que se necesite calefacción el 49,1% de la demanda. Sin embargo, no existe ninguna restricción para este valor.

Finalmente, la instalación completa, es decir para suministro de ACS y calefacción, suministra el 69,7%. Este valor no tiene en cuenta un excedente de calor que se obtiene en verano y que se disipa en la piscina de la vivienda.

En este tipo de instalaciones suele ser muy importante el estudio ambiental por el ahorro que supone en cuestión de emisiones de CO₂, sin embargo, al tratarse de una vivienda individual, el ahorro no será un dato demasiado destacado. Aún así, anualmente se obtendrá un ahorro de emisiones de 1,894 tm anuales de CO₂.

El principal contratiempo al que se enfrentan este tipo de instalaciones, es su elevado coste de inversión. Además, debido a la crisis económica del país, se han suprimido todas las subvenciones. Aún así, el coste inicial de la instalación, será de alrededor de 25.000€, el periodo de amortización de la instalación es de 19 años, y el ahorro económico en combustible, respecto al uso exclusivo de una caldera de gasoil, es de alrededor de 2300 € al año.

Como mejoras propuestas o futuras líneas de investigación para aumentar el rendimiento de la instalación o disminuir el coste, podríamos incluir en el circuito una caldera de biomasa. Así, en los meses de invierno sobretodo, en los que no se pudieran suplir adecuadamente las demandas de la vivienda, se pondría en funcionamiento.

Esta mejora supondría además una solución a otro problema existente. Y es que como la vivienda tiene una parcela de alrededor de 3500 m² se generan alrededor de 3 toneladas de biomasa que actualmente es tedioso eliminar o transportar al punto limpio. Esto supondría un mayor ahorro de combustible, ya que prácticamente no se utilizaría la caldera de gasoil, un ahorro de emisiones de CO₂, y consecuencia de todo lo mencionado, un mayor ahorro económico.

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Además, se podría contemplar la posibilidad de incorporar también a la instalación una máquina de absorción para contrarrestar el excedente de calor de los meses de verano y proporcionar aire acondicionado.

Bibliografía

NORMATIVA

- (1) CTE: “Código Técnico de la Edificación”. HE 4 Documento básico de Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- (2) RITE: “Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios” 2009.
- (3) IDAE: “Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía”. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura
- (4) NORMA UNE-100-155-88: Cálculo de vasos de expansión

LIBROS

- (5) Manual de energía solar térmica: diseño y cálculo de instalaciones. (Javier Cabaña Ribera)
- (6) Compendio de energía solar: fotovoltaica, térmica y termoeléctrica. (Jose María Fernández Salgado)
- (7) Fundamentos de transferencia de calor. Incropera

APUNTES

- (8) Instalaciones Térmicas (Marcelo Izquierdo Millán)
- (9) Ingeniería Térmica I (Néstor García Hernando)
- (10) Ingeniería Térmica II (Mathieu Legrand)
- (11) Ingeniería Térmica y de Fluidos (Pedro Rodríguez Aumente)
- (12) Ingeniería Fluidotérmica (Carlos Pérez Sánchez)
- (13) Instalaciones y Máquinas Hidráulicas (Carlos Pérez Sánchez)

PÁGINAS WEB

- (14) CTE:
<http://www.codigotecnico.org/web>

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

- (15) IDAE: (Procedimientos de Inspección de Calderas)
http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10540_Procedimientos_inspeccion_calderas_GT5_07_f5b208e3.pdf
- (16) RITE:
<http://www.ingenieria-civil.org/PDFs/RITE.pdf> (RITE)
- (17) Consumo ACS y calefacción
<http://www.caloryfrio.com/200909284452/calefaccion-y-agua-caliente/calefaccion-centralizada/consumo-instalaciones-calefaccion-ac.html>
- (18) Conductividades térmicas
<http://didactica.fisica.uson.mx/tablas/conductermica.htm>
- (19) Diseño sistema de captación
<http://www.caloryfrio.com/energia-solar/energia-solar-termica/instalacion-captadores-solares.html>
- (20) Diseño sistema de captación
<http://www.caloryfrio.com/energia-solar/energia-solar-termica/instalacion-captadores-solares.html>
- (21) Pérdidas en piscinas
<http://www.galeon.com/pikaso/Piscinas.pdf>
- (22) Datos radiación solar
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radmonth.php?lang=es&map=europe>
- (23) Emisiones de CO₂
http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Guia%20de%20calcul%20demissions%20de%20CO2/120301_Guia%20practica%20calcul%20emissions_rev_ES.pdf
- (24) Emisiones CO₂
<http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadervalue1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DInventario+GEI.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1310630320516&ssbinary=true>
- (25) Subvenciones
http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-2012-1310
- (26) Precio CO₂
<http://www.sendeco2.com/>
- (27) Evolución precio gasoil
<http://www.cetm.es/principal/carburantes/gasoleos/datos.asp>

Anexos

ANEXO I. FOTOS DE LA VIVIENDA ESTUDIADA

- Fachada principal



- Fachada posterior norte



Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

- Fachada lateral este



- Fachada lateral oeste



ANEXO II. FICHAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

- ACUMULADOR PROCLEAN

Acumulador de estratificación

TISUN®

Vista general del producto



Acumulador de estratificación Pro-Clean® con intercambiador térmico de esfera y calefacción

Sistema acumulador de estratificación multifuncional (sólo en combinación con el intercambiador térmico de esfera) de acero St 37.2 (acero inoxidable 1.4404) para agua caliente y calefacción. Acumulador con carga óptima por estratificación sin mezcla del acumulador, con producción higiénica integrada de A.C.S. en proceso de calentamiento por paso continuo con tubo ondulado de acero inoxidable y dispositivos de toma (atenuador de flujo de entrada) para un mantenimiento óptimo de la estratificación. Ampliable con acumulador de calefacción PSN.

Campo de aplicación:

- para instalaciones solares, producción de agua caliente sanitaria y apoyo a la calefacción
- para instalaciones de biomasa como acumulador intermedio
- para instalaciones de bombas de calor como acumulador de agua caliente sanitaria y para calefacción

Ventajas:

- Aprovechamiento óptimo de la energía solar para A.C.S. y calefacción
- Concepto funcional sencillo sin técnica complicada (principio natural) – larga vida útil
- Rentabilidad mejorada para todos los sistemas de calefacción (solar, biomasa, bomba de calor)
- Producción de A.C.S. instantánea libre de gérmenes gracias a su tubo ondulado especial de acero inoxidable
- Construcción que ahorra espacio con pérdidas de calor mínimas (aislamiento de resina de melamina)

Datos técnicos

Descripción técnica								
Presión máx. de servicio del acumulador	3 bares							
Presión máx. de servicio para agua caliente	6 bares							
Conexión de A.C.S.	1" RI* V4A (nº 1.4401)							
Conexión de agua fría	1" RI* V4A (nº 1.4401)							
Conexión de calefacción/caldera	6/4" RI* con atenuador de flujo de entrada							
Conexión de termómetro y sensores	1/2" RI*							
Temperatura máx.	110 °C							
Datos técnicos								
Modelo	Altura total con aislamiento ¹	Ø con aislamiento ¹	Ø sin aislamiento ¹	Anchura A con aislamiento ¹	Anchura B con aislamiento ¹	Inclinación ¹	Peso	Art. nº
PC 500	1.860 mm	850 mm	650 mm	1.020 mm	1.175 mm	1.820 mm	178 kg	002 400
PC 800	2.010 mm	950 mm	750 mm	1.105 mm	1.280 mm	1.975 mm	210 kg	002 402
PC 1000-B	2.050 mm	1.050 mm	850 mm	1.180 mm	1.380 mm	2.020 mm	240 kg	002 404
PC 1000-S	2.220 mm	990 mm	790 mm	1.140 mm	1.320 mm	2.185 mm	235 kg	002 407
PC 1250	2.300 mm	1.100 mm	900 mm	1.235 mm	1.440 mm	2.270 mm	276 kg	002 408
PC 1500	2.290 mm	1.200 mm	1.000 mm	1.320 mm	1.540 mm	2.280 mm	303 kg	002 410
PC 2000	2.380 mm	1.300 mm	1.100 mm	1.400 mm	1.640 mm	2.380 mm	360 kg	002 412
PC 2500	2.270 mm	1.500 mm	1.300 mm	1.600 mm	1.840 mm	2.350 mm	448 kg	002 414
PC 3000	2.760 mm	1.450 mm	1.250 mm	1.530 mm	1.790 mm	2.780 mm	458 kg	002 416
PC 4000	2.390 mm	1.800 mm	1.600 mm	1.830 mm	2.130 mm	2.520 mm	550 kg	002 418
PC 5000	2.900 mm	1.800 mm	1.600 mm	1.830 mm	2.130 mm	3.020 mm	630 kg	002 420

Rendimiento de extracción de A.C.S.

Rendimiento de extracción de A.C.S. y dimensiones del intercambiador térmico de esfera con acumulador de estratificación Pro-Clean®:												
Modelo		PC 500	PC 800	PC 1000-B	PC 1000-S	PC 1250	PC 1500	PC 2000	PC 2500	PC 3000	PC 4000	PC 5000
Capacidad del acumulador	l	520	760	980	980	1.250	1.490	1.930	2.430	2.910	3.920	4.950
Capacidad del tubo ondulado de agua caliente	l	45	55	55	55	55	60	65	75	75	75	75
Descarga única ¹	l	400	600	810	810	1.050	1.290	1.710	2.150	2.610	3.560	4.475
Cantidad de toma (agua caliente)												
$\Delta-T^2$ a 30 l/min	°C	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$\Delta-T^2$ a 40 l/min	°C	6	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
$\Delta-T^2$ a 50 l/min	°C	10	8	8	8	8	7	7	6	6	6	6
$\Delta-T^2$ a 70 l/min	°C	-	-	-	-	-	11	11	10	9	9	8
Campo de aplicación (agua caliente sanitaria) ³	AW ⁴	1-2	1-4	1-5	1-5	1-5	1-6	1-7	1-9	1-11	1-12	1-14
Combinable con		ST10-40	ST10-40	ST20-40 ST60K	ST20-40 ST60K	ST20-40 ST60K	ST20-40 ST60K	ST20-40 ST60K	ST20-40 ST60K	ST60	ST60	ST60

Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido (el agua caliente tiende a subir): la conexión de entrada de agua caliente del intercambiador o de los captadores al acumulador se realizará por la parte superior de éste, la conexión de entrada de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste.

La entrada de agua caliente de los captadores en depósitos con aporte de energía auxiliar en su parte superior, estará situada por debajo del volumen destinado a dicho aporte.

El serpentín incorporado al acumulador solar se situará en la parte inferior del depósito. Hemos visto antes que éste era el principio de funcionamiento básico del Pro-Clean, ya que como el agua caliente sube, así se calienta el agua fría que se almacena en la parte inferior del depósito.

El acumulador solar será de configuración vertical. Los depósitos vienen equipados de fábrica con las bocas necesarias soldadas antes de efectuar el tratamiento de protección interior.

■ **Trubería de A.C.S. alta**

Debido al perfil ondulado de las paredes de los tubos, se forman fuertes remolinos con el flujo del agua y una gran superficie de intercambio. El rendimiento del A.C.S. se multiplica entonces.

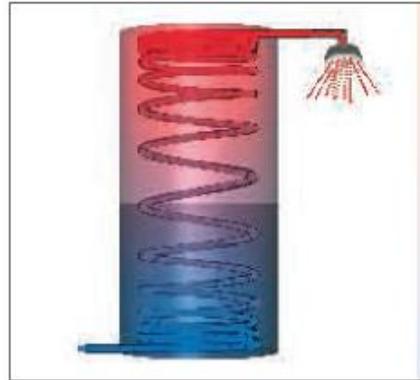


■ **Calentamiento libre de gérmenes (sin legionelas)**

La formación de gérmenes se evita de forma efectiva: El bajo volumen total de agua caliente y el frecuente cambio de agua impide la formación de bacterias (legionelas). Así, se puede prescindir de un calentamiento complementario de protección contra las legionelas y la instalación solar puede suministrar más energía para la producción de A.C.S. De otro modo que los calentadores convencionales con grandes volúmenes de agua caliente, el sistema Pro-Clean® suministra agua instantánea y sana a su grifo. Higiene sencilla, por así decirlo.

■ **Larga vida útil (acero inoxidable)**

El sistema Pro-Clean® sabe hacer muchas cosas más: En el interior del acumulador, el tubo ondulado de acero inoxidable se encarga del suministro de agua caliente para su hogar. El material, acero inoxidable, permite excluir la posibilidad de oxidación, como ocurre en los calentadores convencionales.



■ **Ningún riesgo de calcificación**

La forma especial y la longitud del tubo ondulado previenen la calcificación. La cal y el óxido están excluidos en el sistema Pro-Clean®.

■ **Funcionamiento del acumulador libre de mantenimiento**

El tubo ondulado de acero inoxidable prolonga notablemente la vida útil del acumulador y garantiza un funcionamiento libre de trabajos de mantenimiento (el mantenimiento de los ánodos deja de ser necesario).



● AISLAMIENTO DEL PROCLEAN

Acumulador de estratificación



Accesorios



Aislamiento de resina de melamina para el acumulador de estratificación solar Pro-Clean®

La lámina de plástico duro tiene un grosor de 1 mm y es de poliestireno, el revestimiento externo es estructurado gris (RAL9022); el revestimiento de aislamiento interno es de resina de melamina. Regletas ajustables con cierre de clip, incl. aislamiento para techo y suelo. Todo el aislamiento es de la clase de incendios B1, sin CFC ni PVC y 100 % reciclable.

Datos técnicos

Densidad	8,5-11,5 según DIN 53420 [kg/m³]
Dureza	7-20 según DIN 53577 [kPa]
Resistencia a la tracción	>120 según DIN 53571 [kPa]
Dilatación de rotura	>10 según DIN 53571 [%]
Deformación remanente por compresión	10-20 según DIN 53572 [%]
Clase de incendios	B1 según DIN 4102
Temperatura máxima con conexión continua	150°C
Coefficiente de conductibilidad térmica del aislamiento	0,035 W/mK (a 10°C de temperatura media y espesor de 50 mm)

Dimensiones

		ISOM PC500	ISOM PC800	ISOM PC1000B	ISOM PC1000S	ISOM PC1250	ISOM PC1500
Dimensiones	Dimensión A	1020 mm	1105 mm	1180 mm	1140 mm	1235 mm	1320 mm
	Dimensión B	1175 mm	1280 mm	1380 mm	1320 mm	1440 mm	1540 mm
Grosor		100 mm					
		ISOM PC2000	ISOM PC2500	ISOM PC3000	ISOM PC4000	ISOM PC5000	
Dimensiones	Dimensión A	1400 mm	1600 mm	1540 mm	1840 mm	1840 mm	
	Dimensión B	1640 mm	1840 mm	1800 mm	2140 mm	2140 mm	
Grosor		100 mm			110 mm		

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

- INTERCAMBIADOR TÉRMICO DE ESFERA

Acumulador de estratificación

TISUN®

Accesorios



Intercambiador térmico de esfera para el acumulador de estratificación solar Pro-Clean®

El intercambiador térmico de esfera proporciona una carga óptima del acumulador de estratificación Pro-Clean. Tiene integrado un intercambiador de calor de tubo con aletas de cobre que proporciona la transmisión de calor.

Datos generales					
	ST10	ST20	ST40	ST60	ST60K
Art. n°	002 460	002 462	002 465	002 287	002 286
Material	Carcasa: S 235 JR / Intercambiador de calor: Cu				
Instalación	Montaje en el acumulador Pro-Clean mediante bridas				
Carcasa Presión máx. de servicio / temperatura máx.	3 bar / 110 °C				
Intercambiador de calor Presión máx. de servicio / temperatura máx.	10 bar / 110 °C				
Altura sin aislamiento	1457 mm		1927 mm		1457 mm
Diámetro sin aislamiento	216 mm			300 mm	
Capacidad total con intercambiador de calor	32 litros			67,5 litros	
Capacidad carcasa sin intercambiador de calor	29,9 litros	29,6 litros	27,8 litros	60 litros	
Capacidad intercambiador de calor	2,1 litros	2,4 litros	4,2 litros	7,5 litros	
Diámetro exterior intercambiador de calor	190 mm			257 mm	
Longitud (profundidad de penetración) intercambiador de calor	570 mm	665 mm	850 mm	980 mm	
Superficie intercambiador de calor	2,63 m ²	3,87 m ²	5,5 m ²	9,5 m ²	
Superficie recomendada máxima del colector	10 m ²	20 m ²	40 m ²	60 m ²	

- CAPTADORES SOLARES

Descripción del producto



Colector modular FM

Se puede montar horizontal o verticalmente. Disponemos de sistemas de fijación correspondientes para cada tipo de cubierta o para montajes en suelo con subconstrucciones resistentes a factores climáticos. Su reducido peso y sus dimensiones ideales lo convierten en el colector perfecto para un montaje en un tiempo mínimo. El entubado interno y la interconexión de los colectores se montan de forma rápida con unas sencillas maniobras.

Campo de aplicación

- Montaje en tejado, sobre tejado – sobre tejas, tejas planas, pizarra, cóncavas/convexas y chapa y como instalación independiente

Ventajas del producto

- Altos grados de rendimiento, revestimiento PVD, soldado con láser, sistema tipo meandro (absorción 95%, emisión 5%)
- Larga vida útil (20-25 años), construcción robusta, resistente a las temperaturas y a los factores
- Bajas pérdidas de calor, altos valores de aislamiento
- Montaje rápido y sencillo para todos los campos de aplicación (variantes en tejado, sobre tejado y de instalación independiente para tejas, pizarra, cóncavas/convexas, chapa, tejado plano...)
- Alta competencia y experiencia desde hace 19 años

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Colector modular FM		
Modelo	FM-S (vertical)	FM-W (horizontal)
Conexiones		
Superficie bruta	2,55 m ²	2,55 m ²
Superficie neta	2,35 m ²	2,35 m ²
Dimensiones exteriores (Al x An) ¹	2,16 x 1,18 m	1,18 x 2,16 m
Peso	49 kg	49 kg
Descripción técnica:		
Tipo de construcción	Colector modular plano para unos sencillos montajes en tejado, sobre tejado e instalación independiente para pendientes de tejado de 15° a 70°	
Bastidor	La construcción de marcos de aluminio anodizado marrón resistente a los cambios climáticos con pared posterior de aluminio garantizan una larga vida útil y alta seguridad de funcionamiento (resistencia a la carga de nieve 250 kg/m ²)	
Cubierta	Vidrio solar de seguridad estructurado, con bajo contenido férreo, de 4 mm con la máxima transmisión de luz	
Aislamiento	Lana mineral sin desgasificación de 50 mm	
Absorbedor	El absorbedor en toda la superficie, soldado con láser, con revestimiento altamente selectivo de PVD con flujo en meandro garantiza el mejor aporte solar.	
Estanqueidad del colector	Sistema de perfiles de aluminio con junta de silicona de doble resistencia a la temperatura y resistente a la radiación UV, sin desgasificación.	
Conexiones	4 conexiones con atornilladura de anillos de apriete	
Presión máx. de servicio	15 bares	
Absorción	95 %	
Emisión	5 %	
Temp. máx. de parada	+ 220 °C	

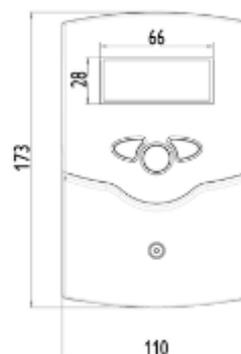
- CENTRAL SOLAR

Central solar de dos circuitos Duplex



Descripción del producto

- Pantalla de seguimiento del sistema
- 4 entradas de sensores
- 2 relés semiconductores para la regulación por revoluciones
- 9 sistemas básicos que puede elegir
- Balance de cantidades de calor
- Control de funcionamiento
- Comodidad gracias a su sencillo manejo
- Carcasa fácil de montar y con excelente diseño



Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Datos técnicos

Tipo	N-Duplex
Nº de art.	330 367
Carcasa	Plástico, PC-ABS y PMMA
Tipo de protección	IP 20/DIN 40050
Temperatura ambiente	De 0 °C a 40 °C
Dimensiones	172 x 110 x 46 mm
Montaje	Montaje en pared, también es posible el montaje en panel de conmutación
Visualización	Monitor de sistema para visualización de la instalación, indicador de 16 segmentos, indicador de 7 segmentos, 8 símbolos de estado de sistema y lámpara de control de funcionamiento
Manejo	3 pulsadores en el frontal de la carcasa
Funciones	Regulador de temperatura diferencial con funciones de instalación de conexión opcional. Control de funcionamiento según directiva BAW, contador de horas de funcionamiento para la bomba solar, función de colectores de tubos, regulación por revoluciones y balance de cantidades de calor, colector este-oeste
Entradas	para 4 sensores de temperatura PT1000
Salidas	2 relés semiconductores
Alimentación	De 200 a 240 V~
Potencia total de conmutación	2 (1) A 220 a 240 V~

Volumen de suministro

1 Duplex	
1 bolsa de accesorios	1 fusible de repuesto T4A
	2 tornillos y tacos
	4 descargas de tracción
	1 condensador 4,7 µF
Con la oferta completa, además	2 sensores FKP 6
	1 sensores FRP 6
	2 vainas de inmersión 100 mm ½"

- ESTACIÓN SOLAR

Estación solar SD 25RS y SD 25RD – bomba solar de circulación

Descripción técnica de la bomba solar de circulación Wilo STAR-ST20/6

Tipo	Wilo STAR-ST 20/6	
Materiales	Carcasa	EN-GJL-200 – Recubrimiento por cataforesis
	Rotor	Polipropileno P GF
	Eje	Acero inoxidable (X 40 Cr 13)
	Cojinete	Grafito
Datos técnicos	Revoluciones nominales	2500 rpm
	Potencia nominal	37 vatios
	Tensión nominal	1~230 V, 50 Hz
	Consumo máx. de corriente	0,36 A
	Tipo de protección	IP 44
	Temperatura de servicio	De -10 °C a +110 °C
Dimensiones	Peso	2,2 kg
	Conexiones	1" RE de junta plana
	Altura de montaje	130 mm

Estaciones solares SD 25RS y SD 25RD



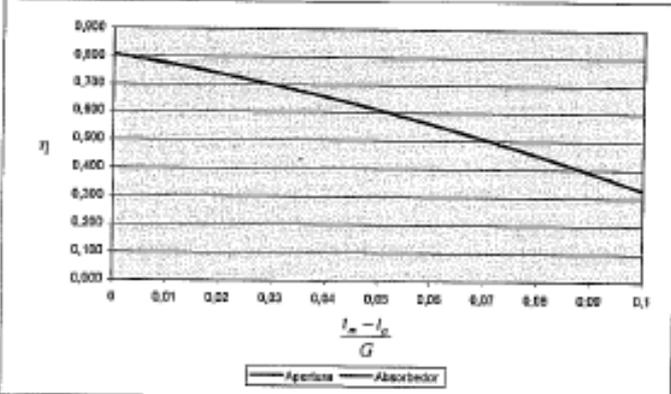
Estación solar incl. regulación de uno o dos circuitos

Esta estación solar de 2 ramales y $\frac{3}{4}$ " se utiliza en instalaciones solares térmicas con una superficie de colector de hasta 25 m². La bomba solar correspondiente ya viene integrada en la estación. En la estación solar SD 25RS ya hay montada y cableada una central de un circuito. En la SD 25RD hay una central de dos circuitos montada y cableada. La estación se puede instalar en la pared o en los acumuladores de los tipos BE-SSP o FS. El material de fijación correspondiente se incluye en el volumen de suministro de la estación. Los sets de conexión para la vinculación a los acumuladores y para el depósito de expansión solar se suministran como accesorios.

Datos técnicos

Tipo	SD 25RS	SD 25RD
Nº de art.	002 730	002 731
Conexiones	Todas $\frac{3}{4}$ " RI	
Posibilidades de montaje	Montaje mural y montaje en acumuladores BE-SSP o FS	
Distancia entre ejes de las tuberías	a la pared o al acumulador 63 mm/entre impulsión y retorno 90 mm	
Placa de sujeción	con 2 agujeros largos, distancia 150 mm, para tornillos M6	
Material de fijación	para montaje mural	2 tacos de plástico S8, 2 tornillos de madera 6x60 mm (panhead)
	para montaje de acumuladores	2 2 tornillos cilíndricos M6 x 10 mm galvanizados DIN 912, 2 arandelas M6 galvanizadas DIN 912
Aislamiento	Material	EPP, $\lambda = 0,041$ W/mK
	Temperatura máxima	120 °C
	Temp. tiempo breve	160 °C
	Altura	515 mm
	Anchura	270 mm
	Profundidad	200 mm
	Piezas	1 pieza inferior E 17140, 1 pieza superior E 17131, 1 Aislamiento para la ventanilla del caudalímetro (sin N°)
Caudalímetro	Tipo	Caudalímetro DN 20
	Material carcasa	Latón MS 58
	Material junta	EPDM
	Material mirilla	Vidrio de silicato bórico
	Tamaño nominal	DN 20
	Rango de medición	1 – 13 l/min
	Presión máx.	10 bar
	Temperatura máxima	120 °C
	Conexión arriba	DN 20 = 1" junta plana con tuerca de racor
	Conexión abajo	$\frac{3}{4}$ " RI 12,5 mm de longitud de rosca
	Conexión a la derecha	$\frac{1}{2}$ " RI
	Altura de montaje	135 mm
Grifo de lavado KFE	$\frac{1}{2}$ " – 1 en la cabecera de seguridad y 1 en el caudalímetro con roscado hermético 2 conexiones de manguera y tapón de cierre hermético incluidos en el suministro	
Bomba solar de circulación	Wilo STAR-ST20/6	
Grifo esférico de impulsión	$\frac{3}{4}$ " RI-RI	con freno de gravedad integrado (2 x 15 mm de profundidad de rosca)
Grifo esférico de retorno	F (DN 20) – $\frac{3}{4}$ " RI	con freno de gravedad integrado
Cabecera de seguridad	con grifo de llenado KFE	
Manómetro solar	0 – 10 bar, diámetro 39 mm (EN 837-1, CL 2,5)	
Válvula de seguridad solar	Tipo	DIN EN 12164 CW 617N
	Presión nominal	PN 10
	Presión de respuesta	10 bar
	Temperatura máxima	120 °C
	Mezcla de agua y glicol	máx. 50%
Frenos de gravedad	Lugar de montaje	en los dos grifos esféricos
	Material	Latón
	Presión de apertura	2 x 20 mbar
	Ajustable	sí
	Temperatura máx.	120 °C, brevemente 160 °C

ANEXO III. ENSAYO CENER

	<h2 style="margin: 0;">INFORME DE ENSAYO</h2>	<p><i>LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES</i></p>																		
<p>Curva de eficiencia instantánea basada en el área de (absorbedor/apertura) a 800 W/m^2</p> <div style="text-align: center;">  </div>																				
<p>Caudal de fluido usado para los ensayos 0,019 kg/s m^2</p> <p>Área total de captador 2,54 m^2</p>																				
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> $h_A = h_{s,A} - a_{1,A} \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right) - a_{2,A} G \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right)^2$ <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$h_{s,A}$</td><td>0,807</td><td></td></tr> <tr><td>$a_{1,A}$</td><td>3,075</td><td>$\text{W/m}^2\text{K}$</td></tr> <tr><td>$a_{2,A}$</td><td>0,022</td><td>$\text{W/m}^2\text{K}^2$</td></tr> </table> </div> <div style="text-align: center;"> $h_e = h_{s,e} - a_{1,e} \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right) - a_{2,e} G \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right)^2$ <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$h_{s,e}$</td><td>0,808</td><td></td></tr> <tr><td>$a_{1,e}$</td><td>3,076</td><td>$\text{W/m}^2\text{K}$</td></tr> <tr><td>$a_{2,e}$</td><td>0,022</td><td>$\text{W/m}^2\text{K}^2$</td></tr> </table> </div> </div>			$h_{s,A}$	0,807		$a_{1,A}$	3,075	$\text{W/m}^2\text{K}$	$a_{2,A}$	0,022	$\text{W/m}^2\text{K}^2$	$h_{s,e}$	0,808		$a_{1,e}$	3,076	$\text{W/m}^2\text{K}$	$a_{2,e}$	0,022	$\text{W/m}^2\text{K}^2$
$h_{s,A}$	0,807																			
$a_{1,A}$	3,075	$\text{W/m}^2\text{K}$																		
$a_{2,A}$	0,022	$\text{W/m}^2\text{K}^2$																		
$h_{s,e}$	0,808																			
$a_{1,e}$	3,076	$\text{W/m}^2\text{K}$																		
$a_{2,e}$	0,022	$\text{W/m}^2\text{K}^2$																		
<p>Fluido utilizado: Agua</p>																				
Informe nº: 30.0215.0-1 Anexo 6	Fecha de emisión: 25-01-2011	Pág.: 9/10																		

ANEXO IV. PROGRAMACIÓN EN MATHCAD

CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DE ACS+CALEFACCIÓN

• Datos iniciales

$m_1 := 0.1094$
 $m_2 := 0.11$ $m_{\text{consCAL}} := 0.241$
 $CP_1 := 3770$ $CP_{\text{cons}} := 4180$
 $CP_2 := 4180$
 $T_{\text{sum}} := 333.15$ $E_t := 0.3$
 $A_{\text{capt}} := 30.6$ $E_{\text{ic}} := 0.7$

 $x_1 := 132.76$ $x_7 := 128.36$
 $x_2 := 174.82$ $x_8 := 113.36$
 $x_3 := 173.7$ $x_9 := 121.54$
 $x_4 := 131.6$ $x_{10} := 2.08$
 $x_5 := 152.46$
 $x_6 := 114.76$

Los datos anteriores son comunes a todos los meses.

• Datos para Enero

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_1 := 541.86$	$T_{\text{red}} := 273.15 + 6$	$Q_{\text{cal}} := 22169.3$	$R_t := .318 + .563 + .0000526$
$G_i := 389$	$T_{\text{amb}} := 273.15 + 5$	$m_{\text{cons}} := \frac{5429.34}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 2.095 \times 10^{-3}$	$R_{\text{int}} := 1.0871$ $R_{\text{ext}} := 0.5264$
	$T_{\text{salamaq}} := 14.1 + 273.15$		

Given

$$412.44x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{[0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{\text{amb}}]}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{[0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{\text{amb}}]}{G_i} \right]^2 \right]$$

$$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = 1007.48 \cdot x_7 - 1007.48 \cdot x_8 + m_{\text{cons}} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{\text{red}}) + \left(\frac{x_9 - T_{\text{salamaq}}}{R_t} \right)$$

$$1007.48 \cdot (T_{\text{sum}} - x_8) = Q_{\text{cal}}$$

$$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$$

$$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$$

$$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$$

$$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$$

$$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$$

$$X = \begin{pmatrix} 323.266 \\ 346.862 \\ 346.428 \\ 323.542 \\ 334.262 \\ 313.734 \\ 323.209 \\ 314.176 \\ 318.471 \end{pmatrix}$$

Salida tanque	$T_{\text{sal}} := x_{7-1} - 273.15 = 50.059$	Retorno tanque desde calefaccion	$T_{\text{ret}} := x_{8-1} - 273.15 = 41.026$
Media del tanque	$T_{\text{med}} := x_{9-1} - 273.15 = 45.321$		
Perdidas colector	$Q_{\text{pérdidas}} := 30.6 \cdot l_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] \right] = 1.019 \times 10^4$		
	$Q_{\text{pérdidas}} := 30.6 \cdot l_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] = 9.732 \times 10^3$		
	$Q_{\text{pérdidas}} := 30.6 \cdot l_1 = 1.993 \times 10^4$		
$Q_{p_col} + Q_{in_col} = 1.993 \times 10^4$	$E_{\text{cal}} := 0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 = 0.488$		
Fraccion solar ACS	$f_{\text{ACS}} := \frac{(x_{7-1} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} = 0.812$	$Q_{\text{ACS}} := m_{\text{cons}} \cdot 4182 \cdot (x_{7-1} - T_{red}) = 303.919$	$Q_{\text{demandaACS}} := m_{\text{cons}} \cdot 4182 \cdot (T_{sum} - T_{red}) = 374.087$
		$Q_{\text{cal}} = 1.912 \times 10^4$	
Fraccion solar Calefaccion	$f_{\text{cal}} := \frac{(x_{7-1} - x_{8-1})}{(T_{sum} - x_{8-1})} = 0.476$		
Fraccion total	$f := \frac{1007.48 \cdot (x_{7-1} - x_{8-1}) + Q_{\text{ACS}}}{Q_{\text{cal}} + Q_{\text{demandaACS}}} = 0.483$		

• Datos para Marzo

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_a := 585.56$	$T_{red} := 273.15 + 9$	$Q_{\text{cal}} := 16373.6$	$R_{\text{ext}} := 0.886$ $R_{\text{ext}} := 0.5145$
$G_i := 547.25$	$T_{amb} := 273.15 + 9.9$	$m_{\text{cal}} := \frac{4179.4}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 1.612 \times 10^{-3}$	$R_{\text{int}} := 1.0869$
	$T_{salamaq} := 15.95 + 273.15$		

Given

$$412.44x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right]$$

$$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = 1007.48 \cdot x_7 - 1007.48 \cdot x_8 + m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{red}) + \left(\frac{x_9 - T_{salamaq}}{R_t} \right)$$

$$1007.48 \cdot (T_{sum} - x_8) = Q_{cal}$$

$$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$$

$$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$$

$$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$$

$$X = \begin{pmatrix} 325.347 \\ 347.417 \\ 346.985 \\ 325.628 \\ 335.632 \\ 316.475 \\ 325.317 \\ 316.898 \\ 320.896 \end{pmatrix}$$

Salida tanque

$$T_{solv} := x_{7-1} - 273.15 = 52.167$$

Retorno tanque desde calefaccion

$$T_{solv} := x_{8-1} - 273.15 = 43.748$$

Media del tanque

$$T_{solv} := x_{9-1} - 273.15 = 47.746$$

$$\text{Perdidas colector } Q_{p_{col}} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] \right] = 8.815 \times 10^3$$

$$Q_{p_{col}} := 30.6 \cdot I_1 = 1.792 \times 10^4 \quad Q_{in_{col}} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] = 9.103 \times 10^3$$

$$Q_{p_{col}} + Q_{in_{col}} = 1.792 \times 10^4 \quad \eta_{cal} := 0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 = 0.508$$

Fraccion solar ACS

$$f_{ACS} := \frac{(x_{7-1} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} = 0.846$$

$$Q_{ACS} := m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_{7-1} - T_{red}) = 291.08$$

$$Q_{demandaACS} := m_{cons} \cdot 4182 \cdot (T_{sum} - T_{red}) = 343.901$$

Fraccion solar Calefaccion

$$f_{cal} := \frac{(x_{7-1} - x_{8-1})}{(T_{sum} - x_{8-1})} = 0.518$$

$$Q_{cal} = 1.637 \times 10^4$$

Fraccion total

$$f := \frac{1007.48 \cdot (x_{7-1} - x_{8-1}) + Q_{ACS}}{Q_{cal} + Q_{demandaACS}} = 0.525$$

• Datos para Abril

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_{sk} := 603.51$	$T_{red} := 273.15 + 11$	$Q_{cal} := 12856.8$	$R_{ext} := 0.888$
$G_i := 678.21$	$T_{amb} := 273.15 + 12.2$ $T_{salamaq} := 17.1 + 273.15$	$m_{cons} := \frac{3364.2}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 1.298 \times 10^{-3}$	$R_{int} := 1.0867$ $R_{ext} := 0.5151$

Given

$$412.44x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right]$$

$$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = 1007.48 \cdot x_7 - 1007.48 \cdot x_8 + m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{red}) + \left(\frac{x_9 - T_{salamaq}}{R_t} \right)$$

$$1007.48 \cdot (T_{sum} - x_8) = Q_{cal}$$

$$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$$

$$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$$

$$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$$

$$X = \begin{pmatrix} 329.917 \\ 354.539 \\ 354.071 \\ 330.217 \\ 341.391 \\ 319.993 \\ 329.869 \\ 320.389 \\ 324.931 \end{pmatrix}$$

Salida tanque

$$T_{s7} := x_{7-1} - 273.15 = 56.719$$

Retorno tanque desde calefaccion

$$T_{s8} := x_{8-1} - 273.15 = 47.239$$

Media del tanque

$$T_{s9} := x_{9-1} - 273.15 = 51.781$$

Perdidas colector

$$Q_{p,col} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] \right] = 8.313 \times 10^3$$

$$Q_{p,col} := 30.6 \cdot I_1 = 1.847 \times 10^4$$

$$Q_{in,col} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] = 1.015 \times 10^4$$

$$Q_{p,col} + Q_{in,col} = 1.847 \times 10^4$$

$$E_{p,col} := 0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 = 0.55$$

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Fraccion solar ACS $f_{ACS} := \frac{(X_{7-1} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} = 0.933$ $Q_{ACS} := m_{cons} \cdot 4182 \cdot (X_{7-1} - T_{red}) = 248.158$
 $Q_{demandaACS} := m_{cons} \cdot 4182 \cdot (T_{sum} - T_{red}) = 265.966$

Fraccion solar Calefaccion $f_{cal} := \frac{(X_{7-1} - X_{8-1})}{(T_{sum} - X_{8-1})} = 0.743$ $Q_{cal} = 1.286 \times 10^4$

Fraccion total $f_w := \frac{1007.48 \cdot (X_{7-1} - X_{8-1}) + Q_{ACS}}{Q_{cal} + Q_{demandaACS}} = 0.747$

• Datos para Mayo

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_{a1} := 509.48$	$T_{red} := 273.15 + 12$	$Q_{cal} := 7319.8$	$R_t := 0.893$ $R_{ext} := 0.5213$
$G_i := 661.66$	$T_{amb} := 273.15 + 16$	$m_{cons} := \frac{3007.6}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 1.16 \times 10^{-3}$	$R_{int} := 1.0866$
	$T_{salamaq} := 19 + 273.15$		

Given

$$412.44x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot 1.1 \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right] \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right]^2$$

$$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = 1007.48 \cdot x_7 - 1007.48 \cdot x_8 + m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{red}) + \left(\frac{x_9 - T_{salamaq}}{R_t} \right)$$

$$1007.48 \cdot (T_{sum} - x_8) = Q_{cal}$$

$$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$$

$$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$$

$$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$$

$$X = \begin{pmatrix} 333.831 \\ 354.684 \\ 354.241 \\ 334.133 \\ 343.552 \\ 325.515 \\ 333.84 \\ 325.885 \\ 329.678 \end{pmatrix}$$

Salida tanque

Retorno tanque desde calefaccion

$$T_{sal} := X_{7-1} - 273.15 = 60.69 \quad T_{reg} := X_{8-1} - 273.15 = 52.735$$

Media del tanque $T_{med} := X_{9-1} - 273.15 = 56.528$

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

$$\begin{aligned}
 \text{Perdidas colector} \quad Q_{p_col} &:= 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] \right] = 6.99 \times 10^3 \\
 Q_{amb} &:= 30.6 \cdot I_1 = 1.559 \times 10^4 \\
 Q_{p_col} + Q_{in_col} &= 1.559 \times 10^4 \\
 Q_{real} &:= 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] = 8.6 \times 10^3 \\
 \eta_{real} &:= 0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 = 0.552 \\
 \text{Fraccion solar ACS} \quad f_{ACS} &:= \frac{(x_{7-1} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} = 1.014 \\
 Q_{ACS} &:= m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_{7-1} - T_{red}) = 236.27 \\
 Q_{demandaACS} &:= m_{cons} \cdot 4182 \cdot (T_{sum} - T_{red}) = 232.922 \\
 \text{Fraccion solar Calefaccion} \quad f_{cal} &:= \frac{(x_{7-1} - x_{8-1})}{(T_{sum} - x_{8-1})} = 1.095 \\
 Q_{cal} &= 7.32 \times 10^3 \\
 \text{Fraccion total} \quad f_w &:= \frac{1007.48 \cdot (x_{7-1} - x_{8-1}) + Q_{ACS}}{Q_{cal} + Q_{demandaACS}} = 1.092
 \end{aligned}$$

• Datos para Junio

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_{amb} := 454.84$	$T_{red} := 273.15 + 13$	$Q_{cal} := -593.2$	$R_t := 0.9$
$G_i := 631.72$	$T_{amb} := 273.15 + 20.7$	$m_{cal} := \frac{2721.6}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 1.05 \times 10^{-3}$	$R_{ext} := 0.5244$
	$T_{salamaq} := 21.35 + 273.15$	$m_{cal} = 0$	$R_{int} := 1.0862$

Given

$$412.44x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right]$$

$$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{red}) + \left(\frac{x_9 - T_{salamaq}}{R_t} \right)$$

$$x_8 = 0$$

$$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$$

$$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$$

$$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$$

$$X = \begin{pmatrix} 433.858 \\ 437.761 \\ 436.779 \\ 434.819 \\ 435.737 \\ 433.98 \\ 434.791 \\ 0 \\ 434.385 \end{pmatrix}$$

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Salida tanque	Media del tanque	
$T_{ex} := X_{7-1} - 273.15 = 161.641$	$T_{ex} := X_{9-1} - 273.15 = 161.235$	
Perdidas colector		
$Q_{p_col} := 30.6 \cdot I_1 = 1.392 \times 10^4$	$Q_{real} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} \right]^2 \right]$	$= 1.231 \times 10^4$
	$Q_{in_col} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} \right]^2$	$= 1.61 \times 10^3$
$Q_{p_col} + Q_{in_col} = 1.392 \times 10^4$	$E_{real} := 0.808 - 3.076 \cdot \frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} - 0.022 \left[\frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} \right]^2$	$= 0.116$
Fraccion solar ACS	$f_{ACS} := \frac{(X_{7-1} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} = 3.163$	

• Datos para Julio

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_{nk} := 480.21$	$T_{red} := 273.15 + 14$	$Q_{real} := -7020.5$	$R_{nt} := 0.905$
$G_i := 623.65$	$T_{amb} := 273.15 + 24.4$	$m_{cons} := \frac{3007.06}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 1.16 \times 10^{-3}$	$R_{ext} := 0.5195$
	$T_{salamaq} := 23.2 + 273.15$	$m_{cons_cal} := 0$	$R_{int} := 1.0860$

Given

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \frac{[0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}]}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{[0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}]}{G_i} \right]^2$$

$$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{red}) + \left(\frac{x_9 - T_{salamaq}}{R_t} \right)$$

$$x_8 = 0$$

$$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$$

$$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$$

$$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$$

$$X = \begin{pmatrix} 435.896 \\ 439.974 \\ 438.992 \\ 436.856 \\ 437.857 \\ 435.941 \\ 436.825 \\ 0 \\ 436.383 \end{pmatrix}$$

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Salida tanque	Media del tanque
$T_{7-1} := x_{7-1} - 273.15 = 163.675$	$T_{9-1} := x_{9-1} - 273.15 = 163.233$
Perdidas colector	$Q_{p_{solar}} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] \right] = 1.301 \times 10^4$
$Q_{in_{col}} := 30.6 \cdot I_1 = 1.469 \times 10^4$	$Q_{in_{solar}} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] = 1.682 \times 10^3$
$Q_{p_{col}} + Q_{in_{col}} = 1.469 \times 10^4$	$\eta_{solar} := 0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 = 0.114$
Fraccion solar ACS	$f_{ACS} := \frac{(x_{7-1} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} = 3.254$

• Datos para Agosto

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_{av} := 534.4$	$T_{red} := 273.15 + 14$	$Q_{cal} := -7020.5$	$R_s := 0.905$
$G_i := 593.78$	$T_{amb} := 273.15 + 24.4$	$m_{cons} := \frac{3515.4}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 1.356 \times 10^{-3}$	$R_{ext} := 0.5230$
	$T_{salamaq} := 23.2 + 273.15$	$m_{cons_{cal}} := 0$	$R_{int} := 1.0860$

Given

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right]$$

$$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{red}) + \left(\frac{x_9 - T_{salamaq}}{R_t} \right)$$

$$x_8 = 0$$

$$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$$

$$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$$

$$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$$

$$X = \begin{pmatrix} 430.698 \\ 434.909 \\ 433.966 \\ 431.618 \\ 432.718 \\ 430.613 \\ 431.584 \\ 0 \\ 431.098 \end{pmatrix}$$

Salida tanque	Media del tanque
$T_{7-1} := X_{7-1} - 273.15 = 158.434$	$T_{9-1} := X_{9-1} - 273.15 = 157.948$
Perdidas colector	$Q_{p_col} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] \right] = 1.462 \times 10^4$
$Q_{p_col} := 30.6 \cdot I_1 = 1.635 \times 10^4$	$Q_{p_col} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] = 1.737 \times 10^3$
$Q_{p_col} + Q_{in_col} = 1.635 \times 10^4$	$E_{ta_cal} := 0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 = 0.106$
Fraccion solar ACS	$f_{ACS} := \frac{(X_{7-1} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} = 3.14$

• Datos para Septiembre

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_{sk} := 604.34$	$T_{red} := 273.15 + 12$	$Q_{cal} := -2562.7$	$R_{ext} := 0.9$ $R_{ext} := 0.5239$
$G_i := 539.59$	$T_{amb} := 273.15 + 20.5$	$m_{cal} := \frac{4233.6}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 1.633 \times 10^{-3}$	$R_{int} := 1.0863$
Given	$T_{salamaq} := 21.25 + 273.15$	$m_{cal} := 0$	
$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right]$			
$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$			
$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$			
$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{red}) + \left(\frac{x_9 - T_{salamaq}}{R_t} \right)$			
$x_8 = 0$			
$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$			
$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$			
$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$			
$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$			
$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$			
$X = \begin{pmatrix} 416.517 \\ 420.747 \\ 419.88 \\ 417.361 \\ 418.541 \\ 416.282 \\ 417.325 \\ 0 \\ 416.803 \end{pmatrix}$			

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Salida tanque	Media del tanque
$T_{w_{out}} := x_{7-1} - 273.15 = 144.175$	$T_{w_{in}} := x_{9-1} - 273.15 = 143.653$
Perdidas colector	$Q_{p_{solar}} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] \right] = 1.675 \times 10^4$
$Q_{p_{tot}} := 30.6 \cdot I_1 = 1.849 \times 10^4$	$Q_{in_{solar}} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] = 1.745 \times 10^3$
$Q_{p_{col}} + Q_{in_{col}} = 1.849 \times 10^4$	$E_{ta_{solar}} := 0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 = 0.094$
Fraccion solar ACS	$f_{ACS} := \frac{(x_{7-1} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} = 2.754$

• Datos para Octubre

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_{w_{s}} := 614.28$	$T_{red} := 273.15 + 11$	$Q_{real} := 6406.5$	$R_{ext} := 0.892$
$G_i := 495.79$	$T_{amb} := 273.15 + 14.7$	$m_{cons} := \frac{5312.2}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 2.049 \times 10^{-3}$	$R_{ext} := 0.524$
Given	$T_{salamaq} := 18.35 + 273.15$	$m_{cons_{cal}} := 0.241$	$R_{int} := 1.0867$
$412.44x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right]$			
$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$			
$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$			
$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = 1007.48 \cdot x_7 - 1007.48 \cdot x_8 + m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{red}) + \left(\frac{x_9 - T_{salamaq}}{R_t} \right)$			
$1007.48 \cdot (T_{sum} - x_8) = Q_{cal}$			
$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$			
$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$			
$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$			
$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$			

$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$

$X = \begin{pmatrix} 334.461 \\ 355.165 \\ 354.713 \\ 334.773 \\ 344.114 \\ 326.227 \\ 334.483 \\ 326.791 \\ 330.355 \end{pmatrix}$

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

Salida tanque	$T_{7-1} := X_{7-1} - 273.15 = 61.333$	Retorno tanque desde calefaccion	$T_{8-1} := X_{8-1} - 273.15 = 53.641$
Media del tanque	$T_{9-1} := X_{9-1} - 273.15 = 57.205$		
Perdidas colector	$Q_{p_col} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} \right]^2 \right] = 1.026 \times 10^4$		
	$Q_{p_col} := 30.6 \cdot I_1 = 1.88 \times 10^4$		
	$Q_{in_col} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} \right]^2 = 8.539 \times 10^3$		
	$Q_{p_col} + Q_{in_col} = 1.88 \times 10^4$		
	$Eta_{cal} := 0.808 - 3.076 \cdot \frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} - 0.022 \cdot \left[\frac{[0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}]}{G_i} \right]^2 = 0.454$		
Fraccion solar ACS	$f_{ACS} := \frac{(X_{7-1} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} = 1.027$		
		$Q_{ACS} := m_{cons} \cdot 4182 \cdot (X_{7-1} - T_{red}) = 431.393$	
Fraccion solar Calefaccion	$f_{cal} := \frac{(X_{7-1} - X_{8-1})}{(T_{sum} - X_{8-1})} = 1.21$		
		$Q_{demandaACS} := m_{cons} \cdot 4182 \cdot (T_{sum} - T_{red}) = 419.971$	
		$Q_{cal} = 6.407 \times 10^3$	
Fraccion total	$f := \frac{1007.48 \cdot (X_{7-1} - X_{8-1}) + Q_{ACS}}{Q_{cal} + Q_{demandaACS}} = 1.198$		

• Datos para Noviembre

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_{sk} := 609.08$	$T_{red} := 273.15 + 9$	$Q_{cal} := 15694.3$	$R_t := 0.885$
$G_i := 398.09$	$T_{amb} := 273.15 + 9.4$	$m_{cons} := \frac{5783.4}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 2.231 \times 10^{-3}$	$R_{ext} := 0.5245$
	$T_{salamaq} := 15.7 + 273.15$		$R_{int} := 1.0871$

Given

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \frac{[0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}]}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{[0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{amb}]}{G_i} \right]^2$$

$$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = 1007.48 \cdot x_7 - 1007.48 \cdot x_8 + m_{cons} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{red}) + \left(\frac{x_9 - T_{salamaq}}{R_t} \right)$$

$$1007.48 \cdot (T_{sum} - x_8) = Q_{cal}$$

$$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$$

$$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$$

$$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$$

$$X = \begin{pmatrix} 324.474 \\ 343.083 \\ 342.683 \\ 324.748 \\ 333.149 \\ 317.061 \\ 324.487 \\ 317.572 \\ 320.774 \end{pmatrix}$$

Salida tanque Retorno tanque desde calefacción

$$T_{\text{sal}} := x_{7-1} - 273.15 = 31.337 \quad T_{\text{ret}} := x_{8-1} - 273.15 = 44.422$$

Media del tanque $T_{\text{med}} := x_{9-1} - 273.15 = 47.624$

Perdidas colector $Q_{\text{perd}} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{\text{amb}}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{\text{amb}}}{G_i} \right]^2 \right] \right] = 1.096 \times 10^4$

$Q_{\text{sol}} := 30.6 \cdot I_1 = 1.864 \times 10^4$ $Q_{\text{in,col}} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{\text{amb}}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{\text{amb}}}{G_i} \right]^2 \right] = 7.675 \times 10^3$

$Q_{p,col} + Q_{in,col} = 1.864 \times 10^4$ $\eta_{\text{real}} := 0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{\text{amb}}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_{1-1} + x_{2-1}) - T_{\text{amb}}}{G_i} \right]^2 = 0.412$

Fracion solar ACS $f_{\text{ACS}} := \frac{(x_{7-1} - T_{\text{red}})}{(T_{\text{sum}} - T_{\text{red}})} = 0.83$ $Q_{\text{ACS}} := m_{\text{cons}} \cdot 4182 \cdot (x_{7-1} - T_{\text{red}}) = 395.047$

Fracion solar Calefaccion $f_{\text{cal}} := \frac{(x_{7-1} - x_{8-1})}{(T_{\text{sum}} - x_{8-1})} = 0.444$ $Q_{\text{demandaACS}} := m_{\text{cons}} \cdot 4182 \cdot (T_{\text{sum}} - T_{\text{red}}) = 475.885$
 $Q_{\text{cal}} = 1.569 \times 10^4$

Fracion total $f := \frac{1007.48 \cdot (x_{7-1} - x_{8-1}) + Q_{\text{ACS}}}{Q_{\text{cal}} + Q_{\text{demandaACS}}} = 0.455$

• Datos para Diciembre

Radiacion	Datos ambientales	Demandas	Perdidas
$I_1 := 618.68$	$T_{\text{red}} := 273.15 + 6$	$Q_{\text{cal}} := 20949.1$	$R_t := 0.882$
$G_i := 409.72$	$T_{\text{amb}} := 273.15 + 6.4$	$m_{\text{cons}} := \frac{5898.1}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 2.276 \times 10^{-3}$	$R_{\text{ext}} := 0.5241$
	$T_{\text{salamaq}} := 14.2 + 273.15$		$R_{\text{int}} := 1.0872$

Given

$$412.44x_2 - 412.44 \cdot x_1 = 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{\text{amb}}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (x_1 + x_2) - T_{\text{amb}}}{G_i} \right]^2 \right]$$

$$412.44 \cdot x_3 - 412.44 \cdot x_4 - 459.8 \cdot x_5 + 459.8 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 - 288.708 \cdot x_3 + 288.708 \cdot x_6 = 0$$

$$459.8 \cdot x_5 - 459.8 \cdot x_6 = 1007.48 \cdot x_7 - 1007.48 \cdot x_8 + m_{\text{cons}} \cdot 4182 \cdot (x_7 - T_{\text{red}}) + \left(\frac{x_9 \cdot T_{\text{salamaq}}}{R_t} \right)$$

$$1007.48 \cdot (T_{\text{sum}} - x_8) = Q_{\text{cal}}$$

$$x_9 = \frac{x_7 + x_6}{2}$$

$$E_t = \frac{x_7 - x_9}{x_5 - x_9}$$

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

$$412.44 \cdot x_4 - 412.44 \cdot x_1 = \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_4 + x_1) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$412.44 \cdot x_2 - 412.44 \cdot x_3 = \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{amb}}{R_{ext}} + \frac{0.5(x_2 + x_3) - T_{salamaq}}{R_{int}}$$

$$X := \text{Find}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$$

$$X = \begin{pmatrix} 319.796 \\ 339.59 \\ 339.197 \\ 320.056 \\ 329.022 \\ 311.852 \\ 319.777 \\ 312.356 \\ 315.814 \end{pmatrix}$$

Salida tanque

Retorno tanque desde calefaccion

$$T_{7-1} := X_{7-1} - 273.15 = 46.627$$

$$T_{8-1} := X_{8-1} - 273.15 = 39.206$$

Media del tanque

$$T_{9-1} := X_{9-1} - 273.15 = 42.664$$

Perdidas colector

$$Q_{p_{solar}} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[1 - \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] \right] = 1.077 \times 10^4$$

$$Q_{p_{tanq}} := 30.6 \cdot I_1 = 1.893 \times 10^4$$

$$Q_{in_{solar}} := 30.6 \cdot I_1 \cdot \left[0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 \right] = 8.164 \times 10^3$$

$$Q_{p_{col}} + Q_{in_{col}} = 1.893 \times 10^4$$

$$\eta_{solar} := 0.808 - 3.076 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right] - 0.022 \cdot \left[\frac{0.5 \cdot (X_{1-1} + X_{2-1}) - T_{amb}}{G_i} \right]^2 = 0.431$$

Fraccion solar ACS

$$f_{ACS} := \frac{(X_{7-1} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} = 0.752$$

$$Q_{ACS} := m_{cons} \cdot 4182 \cdot (X_{7-1} - T_{red}) = 386.609$$

Fraccion solar Calefaccion

$$f_{cal} := \frac{(X_{7-1} - X_{8-1})}{(T_{sum} - X_{8-1})} = 0.357$$

$$Q_{demandaACS} := m_{cons} \cdot 4182 \cdot (T_{sum} - T_{red}) = 513.872$$

Fraccion total

$$f := \frac{1007.48 \cdot (X_{7-1} - X_{8-1}) + Q_{ACS}}{Q_{cal} + Q_{demandaACS}} = 0.366$$

$$Q_{cal} = 2.095 \times 10^4$$

Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción con uso significativo de energías renovables.

ANEXO V. PLANOS