

## MEMORIA DE CÁLCULO

## Índice de contenido

1. Datos de partida.	3
1.1 Objetivo	3
1.2 Ubicación	3
1.3 Datos meteorológicos	3
2. Dimensionado de la instalación.	4
2.1 Dimensionado	4
2.1.1 Dimensionado básico. Demanda energética	4
2.1.2 Energía aprovechable	6
2.1.3 Energía aprovechada. Tipo de captador y rendimiento	7
2.1.4 Pérdidas por sombras	9
2.1.5 Superficie de captación y número de captadores solares	11
2.1.6 Volumen de acumulación	13
2.1.7 Fluido caloportador y caudal de bombeo	13
2.1.8 Conducciones	14
2.1.9 Pérdida de carga de la instalación	16
2.1.10 Potencia de bombeo	17
2.1.11 Vaso de expansión	18
2.1.12 Purgadores y desaireadores	18

## 1. Datos de partida.

### 1.1 Objetivo

El contenido del presente proyecto es diseñar una instalación solar térmica para producir agua caliente sanitaria (ACS), en una vivienda unifamiliar en la que viven 4 personas y que presenta una ocupación del 100% los 12 meses del año.

### 1.2 Ubicación

La vivienda unifamiliar se ubicará en la urbanización Arco Norte en Dos Hermanas.

El edificio se compone de 2 plantas y un jardín con plaza de garaje. En la planta superior están situados 3 dormitorios y un cuarto de baño. En la planta inferior se encuentran una cocina, un salón comedor, un cuarto de baño y un pequeño recibidor.

Al ser una urbanización de casas, no existen en los alrededores edificios u obstáculos que puedan producir sombra sobre los colectores.

La cubierta de la vivienda es plana.

### 1.3 Datos meteorológicos

Según la Ordenanza Municipal de Sevilla, los datos de irradiación global media en una superficie inclinada 37º (igual a la latitud de Sevilla) y la temperatura ambiente, son los siguientes:

MES	IRRADIACIÓN (MJ/m2·día)	IRRADIACIÓN (kWh/m2·día)	T atm(°C)	T red agua (°C)
Enero	13,44	3,7	10,7	8
Febrero	13,28	3,7	11,7	9
Marzo	19,89	5,5	13,4	11
Abril	19,46	5,4	15,3	13
Mayo	21,29	5,9	18,7	14
Junio	21,29	5,9	22,3	15
Julio	22,94	6,4	25,6	16
Agosto	22,71	6,3	25,8	15
Septiembre	21,04	5,8	23,3	14
Octubre	16,98	4,7	18,7	13
Noviembre	13,42	3,7	14,0	11
Diciembre	11,65	3,2	11,1	8

Tabla 1: datos meteorológicos recogidos por la ordenanza municipal de Sevilla

## 2. Dimensionado de la instalación.

Según la ordenanza municipal de Sevilla, “el aporte solar se calculará por cualquier procedimiento aceptado por los proyectistas y por la normativa vigente”, pero “el aporte solar mínimo será 2/3 de la demanda de energía prevista”, con un grado de cobertura de la demanda de energía prevista “de un 80% en aquellos casos en que expresamente sean establecidos por parte del Excmo. Ayto.”

### 2.1 Dimensionado

#### 2.1.1 Dimensionado básico. Demanda energética

El cálculo de las necesidades energéticas de una vivienda se calcula utilizando datos de consumo y ocupación de las viviendas durante todo el año, suponiendo un mes de ocupación nula correspondiente al periodo vacacional.

Si no se tuviesen dichos datos se utilizaría un dato medio definido en el RITE y en la ordenanza municipal, como consumo unitario que para viviendas unifamiliares es de 40L/persona-día. Si no se tuviera el dato de número de personas que ocupan la vivienda, se recurriría a suponer 2 personas por cada dormitorio. A continuación se muestra la tabla de datos para la vivienda objeto del estudio, en la que viven 4 personas.

MES	DÍAS	Ocupación(%)	CONSUMO(m3)
Enero	31,00	100,00	4,96
Febrero	28,00	100,00	4,48
Marzo	31,00	100,00	4,96
Abril	30,00	100,00	4,80
Mayo	31,00	100,00	4,96
Junio	30,00	100,00	4,80
Julio	31,00	100,00	4,96
Agosto	31,00	100,00	4,96
Septiembre	30,00	100,00	4,80
Octubre	31,00	100,00	4,96
Noviembre	30,00	100,00	4,80
Diciembre	31,00	100,00	4,96

Tabla 2: consumos mensuales y consumo total para 4 personas

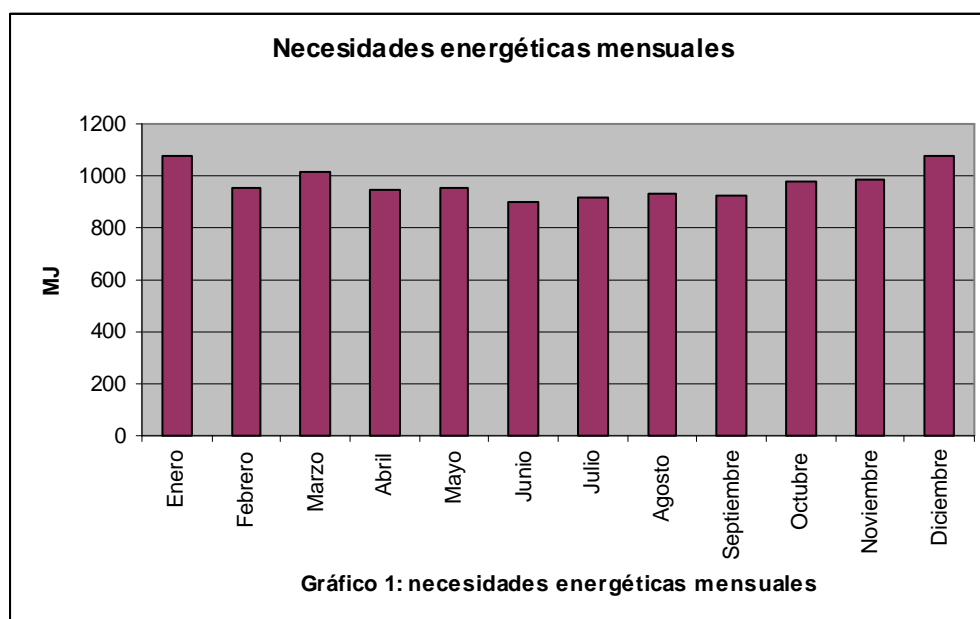
Una vez se conoce el consumo de ACS para la vivienda, a partir de datos tabulados de temperatura media de agua de red de abastecimiento para cada mes, se obtiene el valor energético que hay que aportar al agua de red para alcanzar la temperatura media de uso, según el RITE, la cual es de 60°C. Una vez se tenga el salto térmico se puede calcular la necesidad energética utilizando la expresión:

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

donde m representa el consumo de agua en kg, Ce el calor específico del agua y ΔT el salto térmico (60°C menos la temperatura media mensual del agua de red). Tomando como densidad media del agua 1000 kg/m3 y como calor específico medio del agua 4,18 kJ/°C·kg se obtienen los valores de la siguiente tabla.

MES	CONSUMO(m3)	Tred(°C)	ΔT(°C) (60-Tred)	E necesaria (MJ)
Enero	4,96	8	52	1078,11
Febrero	4,48	9	51	955,05
Marzo	4,96	11	49	1015,91
Abril	4,80	13	47	943,01
Mayo	4,96	14	46	953,71
Junio	4,80	15	45	902,88
Julio	4,96	16	44	912,24
Agosto	4,96	15	45	932,98
Septiembre	4,80	14	46	922,94
Octubre	4,96	13	47	974,44
Noviembre	4,80	11	49	983,14
Diciembre	4,96	8	52	1078,11

Tabla 3: necesidades energéticas mensuales y totales



### 2.1.2 Energía aprovechable

La energía efectiva obtenida en este tipo de instalaciones depende de la radiación solar (intensidad y números de horas de sol) y de las características del colector solar.

En la ordenanza municipal de Sevilla existe una tabla de irradiación media global mensual para una superficie inclinada 37º que se expone a continuación.

MES	RADIACIÓN a 37º (kWh/m2)	RADIACIÓN a 37º (MJ/m2)
Enero	3,70	13,44
Febrero	3,70	13,28
Marzo	5,50	19,89
Abril	5,40	19,46
Mayo	5,90	21,29
Junio	5,90	21,29
Julio	6,40	22,94
Agosto	6,30	22,71
Septiembre	5,80	21,04
Octubre	4,70	16,98
Noviembre	3,70	13,42
Diciembre	1,92	11,65

Tabla 4: irradiación global media para superficie inclinada 37º en Sevilla

Cuando no se tienen datos de irradiación en superficies inclinadas se recurre a los datos tabulados de irradiación horizontal, se le aplica un factor de corrección por polución y otro factor k de corrección para superficies inclinadas, obteniéndose el valor final de irradiación sobre superficie inclinada con un ángulo determinado. No se aprecia posible proyección de sombra sobre el captador solar, con lo que no se tendrán en cuenta las pérdidas por sombra, aunque se comentará más adelante.

MES	Rad H (KwH/M2)	Rad H' (KwH/M2)	CORRECCIÓN k	Rad E (kWh/m2)	Rad E (MJ/m2)
Enero	2,03	1,83	1,35	2,47	8,88
Febrero	3,03	2,73	1,25	3,41	12,27
Marzo	4,00	3,60	1,11	4,00	14,39
Abril	5,33	4,80	0,98	4,70	16,92
Mayo	6,22	5,60	0,88	4,93	17,73
Junio	6,75	6,08	0,85	5,16	18,59
Julio	6,92	6,23	0,88	5,48	19,73
Agosto	6,39	5,75	0,99	5,69	20,50
Septiembre	4,97	4,47	1,15	5,14	18,52
Octubre	3,42	3,08	1,34	4,12	14,85
Noviembre	2,44	2,20	1,46	3,21	11,54
Diciembre	1,92	1,73	1,45	2,51	9,02

Tabla 5: cálculo de la radiación inclinada media mensual

### 2.1.3 Energía aprovechada. Tipo de captador y rendimiento

El captador se ha tomado el modelo SDS 8 VE-HE, del fabricante Saunier Duval, cuyas características se muestran a continuación.

Colector SDS8 VE/HE	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Superficie Externa (m <sup>2</sup> )	2,1
Superficie apertura (m <sup>2</sup> )	2
Superficie absorbente (m <sup>2</sup> )	1,99
Longitud (mm)	2.000
Anchura (mm)	1.050
Profundidad (mm)	95
Peso en vacío (kg)	35
Contenido líquido (L)	1,3
Tubo absorbente Cu (diam.) (mm)	8
Presión máxima de prueba (bar)	12
Absorbente Cu selectivo (mm)	PU 30
Factor de absorción (%)	95 +/- 1
Factor de emisión (%)	9 +/- 1
Perdida de carga (mbar)	Ver tabla página 24-25
Resistencia térmica máxima (°C)	159
Presión de régimen admisible (bar)	7
Caudal recomendado (L/h)	50
Conexiones (G)	7/8"

Tabla 6: datos del captador SDS 8 VE HE de Saunier Duva

I

El rendimiento del captador viene definido por la expresión siguiente:

$$\eta = C - C' \cdot x$$

Donde:

$C$  representa el factor de ganancia del captador solar, que viene definido como  $C = Fr \cdot (\tau \cdot \alpha)$ , donde

$Fr$  es el factor de eficiencia del captador solar,

$\tau$  es la transmitancia de la cubierta transparente y

$\alpha$  es la absorbancia del captador;

$C'$  se corresponde con el factor de pérdidas y

$x$  representa el cociente  $(tm - ta) / RI$ , donde

$t_m$  es la temperatura media del fluido que se calcula como la diferencia entre el valor de temperatura demandada (60°C) y la temperatura del agua de la red, dividido entre 2,

$t_a$  representa la temperatura ambiente media mensual de la localidad (dato tabulado),

$R$  es el factor de rendimiento del intercambiador de calor del depósito, que en este proyecto se va a tomar como del 90%, y finalmente,

$I$  se corresponde con la intensidad de la radiación solar incidente, que se determina mediante la radiación solar para superficies inclinadas multiplicada por el número de horas de sol medias mensuales de la localidad (datos tabulados). Este valor se obtiene como resultado de dividir  $E$  (radiación media global para superficie inclinada 37°) entre  $h_{sol}$  (horas de sol).

MES	Rad E (kWh/m2)	Rad E (MJ/m2)	HORAS ÚTILES DE SOL/DÍA	INTENSIDAD RADIANTE I (MJ/m2)	INTENSIDAD RADIANTE I (kW/m2)
Enero	2,47	8,88	8,00	1,11	0,31
Febrero	3,41	12,27	9,00	1,36	0,38
Marzo	4,00	14,39	9,00	1,60	0,44
Abril	4,70	16,92	9,50	1,78	0,49
Mayo	4,93	17,73	9,50	1,87	0,52
Junio	5,16	18,59	9,50	1,96	0,54
Julio	5,48	19,73	9,50	2,08	0,58
Agosto	5,69	20,50	9,50	2,16	0,60
Septiembre	5,14	18,52	9,00	2,06	0,57
Octubre	4,12	14,85	9,00	1,65	0,46
Noviembre	3,21	11,54	8,00	1,44	0,40
Diciembre	2,51	9,02	7,50	1,20	0,33

Tabla 7: cálculo de la intensidad radiante

Una vez se tiene determinada la intensidad radiante, se calcula el rendimiento medio mensual.

Para obtener la energía disponible por la radiación solar se utilizan los datos de radiación solar para superficies inclinadas ( $E$ ) y los rendimientos medios mensuales en la expresión:

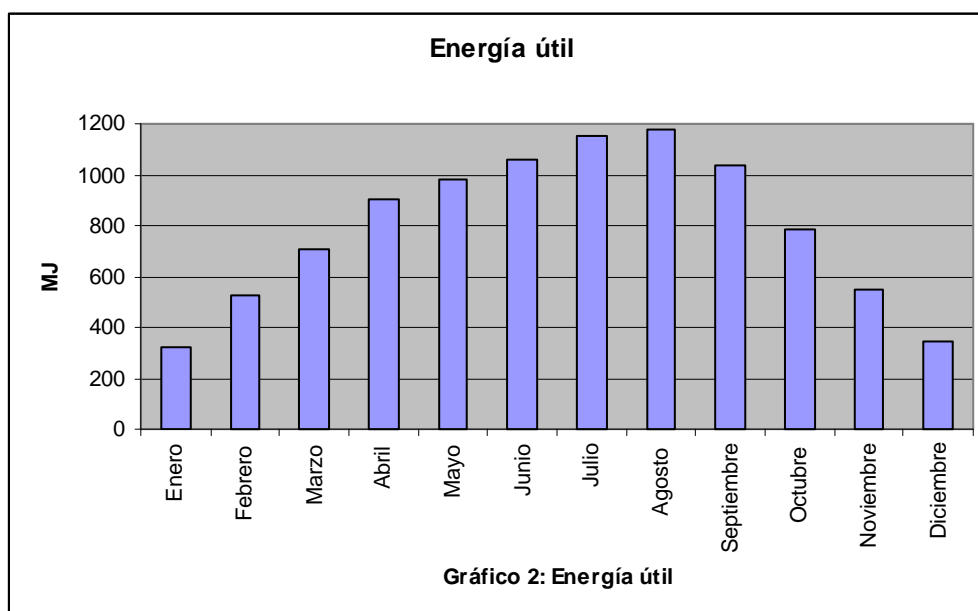
$$Q_c = E \cdot \eta \cdot 3,6$$

A este valor hay que restar las pérdidas, multiplicando por un factor 0,80 para obtener la energía útil.



MES	Tred (°C)	Tm (°C)	RENDIMIENTO T	ENERGÍA OBTENIDA (MJ)	ENERGÍA ÚTIL (MJ)
Enero	8,0	26,0	44,80	397,83	318,27
Febrero	9,0	25,5	53,54	656,96	525,57
Marzo	11,0	24,5	61,29	881,66	705,32
Abril	13,0	23,5	66,70	1128,81	903,05
Mayo	14,0	23,0	68,98	1223,24	978,59
Junio	15,0	22,5	71,07	1321,18	1056,94
Julio	16,0	22,0	73,07	1441,75	1153,40
Agosto	15,0	22,5	71,83	1472,22	1177,77
Septiembre	14,0	23,0	69,92	1294,85	1035,88
Octubre	13,0	23,5	65,70	975,56	780,45
Noviembre	11,0	24,5	59,36	685,09	548,07
Diciembre	8,0	26,0	47,46	428,08	342,47

Tabla 8: cálculo del rendimiento medio mensual y energía útil



#### 2.1.4 Pérdidas por sombras

Otra cuestión a tener en cuenta es la pérdida energética debido a proyección de sombra sobre los captadores. Esta sombra puede ser producida por objetos circundantes a la instalación o por la proyectada por otros captadores.

En el primer caso se realiza un estudio del perfil de obstáculos en el que, si es necesario se utiliza teodolito para la determinación de este perfil, y en el que se aplica un factor de llenado (fracción oculta frente al total de la instalación) tabulado respecto a los ángulos de inclinación y orientación.

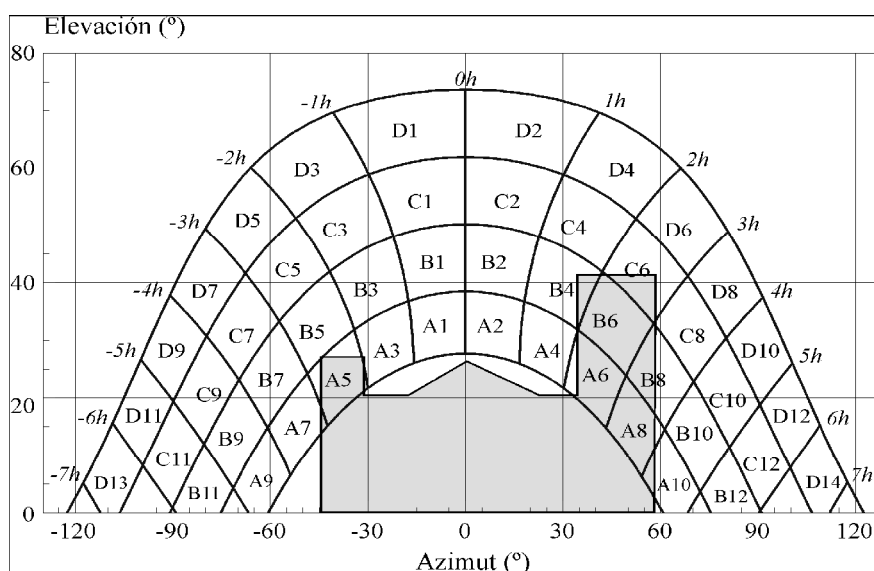


Gráfico 2: ejemplo de perfil de obstáculos

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0	0	0	3
11	0	1	12	44
9	13	41	62	149
7	100	95	127	276
5	184	150	183	387
3	270	188	221	467
1	315	212	243	504
2	317	212	233	499
4	270	189	201	446
6	179	151	165	363
8	98	99	108	255
10	11	42	52	133
12	0	2	10	40
14	0	0	0	2

Tabla 9: ejemplo, datos tabulados de irradiación perdida por sombra de obstáculos

$$\begin{aligned}
 &\text{Pérdidas por sombreado (\% de irradiación global incidente anual)} = \\
 &= 0,25 \times B4 + 0,5 \times A5 + 0,75 \times A6 + B6 + 0,25 \times C6 + A8 + 0,5 \times B8 + 0,25 \times A10 = \\
 &= 0,25 \times 1,89 + 0,5 \times 1,84 + 0,75 \times 1,79 + 1,51 + 0,25 \times 1,65 + 0,98 + 0,5 \times 0,99 + 0,25 \times 0,11 = \\
 &= 6,16\% \approx 6\%
 \end{aligned}$$

Cuadro 1: ejemplo de cálculo de pérdidas por sombra de obstáculos

En el segundo caso sólo se tiene en cuenta si la instalación consta de dos o más filas de captadores, existiendo la posibilidad de proyectar sombra unos sobre otros. Cuando esto ocurre, existe unos datos tabulados según inclinación de los captadores, en los

que se muestra el valor de un coeficiente K que regula la separación entre filas de captadores mediante la expresión

$$D(m) = K * h(m)$$

Siendo D(m) la separación mínima entre colectores, K el coeficiente de sombra y h(m) la altura máxima del modelo de captador utilizado en la instalación, si están al mismo nivel, o la diferencia entre la parte alta de una fila de captadores y la parte baja de la fila anterior.

Inclinación (°)	20	25	30	35	40	45	50	55
Coeficiente K	1,532	1,638	1,732	1,813	1,879	1,932	1,97	1,992

Tabla 10: datos de coeficiente K de sombras en función de la inclinación. PROSOL.

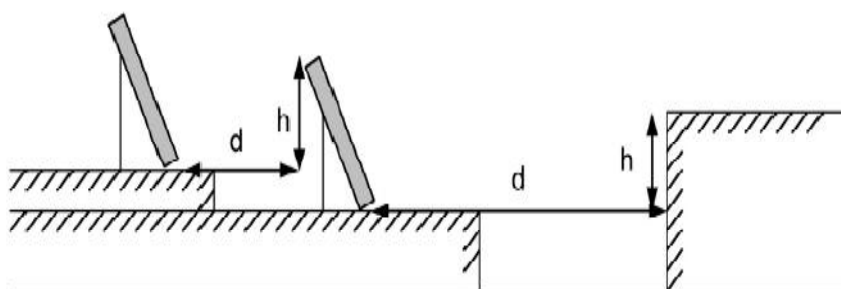


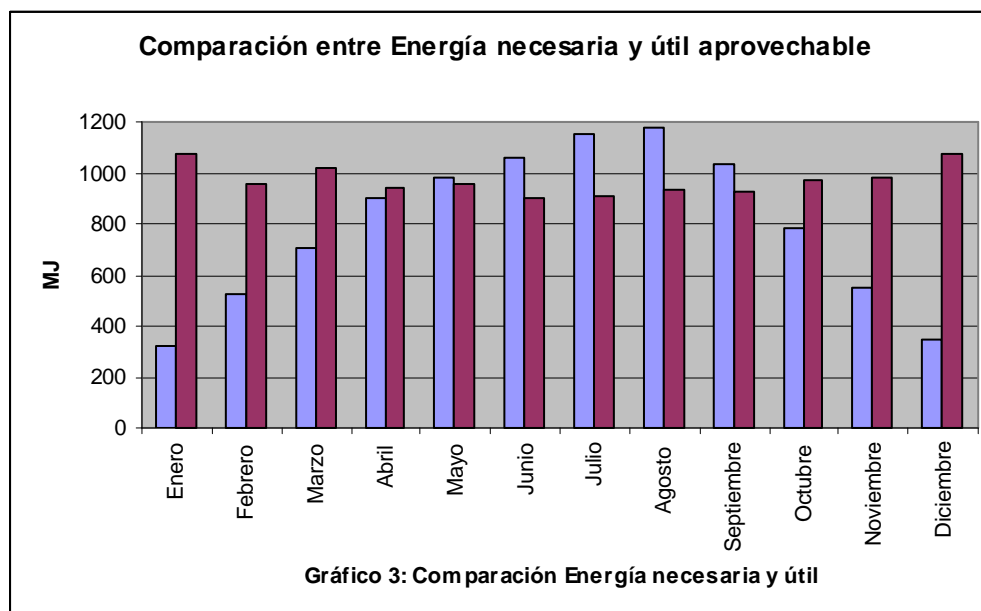
Gráfico 3: esquema representativo

### 2.1.5 Superficie de captación y número de captadores solares

Una vez calculada la energía necesaria y la energía que es capaz de aportar el sistema de colectores solares se calcula la superficie de captación que hará posible la recolección de esta energía. Este valor además proporcionará el número de placas solares que se deben instalar. En la tabla se puede ver el déficit energético medio mensual, es decir, la cantidad de energía que no es posible absorber de la radiación solar y para la cual es necesaria instalar un sistema de aporte energético auxiliar. Se observa también en la tabla el porcentaje de sustitución de la instalación solar. En los meses de verano se obtiene una cantidad de energía mayor a la necesaria por lo que el rendimiento es mayor del 100%.

MES	E necesaria (MJ)	ENERGÍA ÚTIL (MJ)	DÉFICIT ENERGÍA (MJ)	% DE SUSTITUCIÓN
Enero	1078,11	318,27	759,84	29,52
Febrero	955,05	525,57	429,48	55,03
Marzo	1015,91	705,32	310,58	69,43
Abril	943,01	903,05	39,96	95,76
Mayo	953,71	978,59	-24,88	102,61
Junio	902,88	1056,94	-154,06	117,06
Julio	912,24	1153,40	-241,16	126,44
Agosto	932,98	1177,77	-244,80	126,24
Septiembre	922,94	1035,88	-112,94	112,24
Octubre	974,44	780,45	193,99	80,09
Noviembre	983,14	548,07	435,07	55,75
Diciembre	1078,11	342,47	735,64	31,77

Tabla 11: Déficit energético y porcentaje de sustitución



Tanto en la tabla de datos como en la gráfica se puede observar que hay cinco meses en los que se produce más energía útil de la que se demanda, y que desde abril a octubre, prácticamente, no se requiere de sistema auxiliar de aporte de energía.

Con estos datos y haciendo uso de la aplicación del fabricante Saunier Duval "CALSOLAR", se ha obtenido un valor de 2 m<sup>2</sup> de captador. La superficie de un captador SDS8 VE-HE es de 1,99 m<sup>2</sup>, por lo tanto la instalación constará de un único captador solar de 1,99m<sup>2</sup>, puesto que se incurriría en un sobredimensionado innecesario.

Hay que comprobar que con el número de captadores solares calculados se cumple la ITC-10 del RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios). Esta

instrucción obliga que el área total de los captadores solares esté entre dos valores especificados:

$$1,25 \leq 100 \cdot A/M \leq 2$$

Donde A representa la suma de las áreas de los captadores solares y M el consumo medio diario de los meses de verano expresado en litros al día.

Para nuestros datos,  $A=1,99\text{m}^2$  y  $M=160\text{L/día}$ , por lo cual  $100 \cdot (A/M)=1,24375$

Si se toman dos captadores, el área se duplica y queda  $100 \cdot (A/M)=2,4875$

Así pues, se toma la primera opción, puesto que produce un menor número de meses con una producción de energía útil mayor a la demandada.

#### 2.1.6 Volumen de acumulación

---

Según el RITE (Reglamento de Instalaciones Técnicas en los Edificios), en su ITC-10, el volumen de acumulación se calculará a partir de la superficie colectora a instalar y deberá ser menor o igual a  $80\text{L/m}^2$  de superficie de captación. Para este proyecto, se tiene:

$$V=80\text{L/m}^2 \cdot 1,99\text{m}^2=159,20\text{L}$$

Este valor debe cumplir la instrucción:  $0,8 \leq V \leq M$

donde M representa el consumo medio diario en los meses de verano expresado en L/día. En este caso,  $M=160\text{ L/día}$ , por lo que se cumple la desigualdad

$$0,8 \leq V=159,2\text{L} \approx 160\text{L} \leq M=160\text{L}$$

Por motivos de catálogo, se va a tomar como volumen de acumulación  $V=150\text{L}$ .

#### 2.1.7 Fluido caloportador y caudal de bombeo

---

El fluido caloportador o del circuito primario, que es el que concentrará la energía del sol y la cederá en un intercambiador de calor al agua de red que va a acumularse como ACS, suele ser una mezcla de agua con anticongelante, etilenglicol o propilenglicol

principalmente, para impedir la congelación del fluido dentro de los tubos del captador en caso de bajas temperaturas nocturnas o estacionales, puesto que los tubos del captador, al ser de cobre no resisten constantes dilataciones y contracciones.

En Sevilla, por su clima, es muy poco probable que alcancen temperaturas tan bajas como las de congelación del agua, así que se podría usar agua como fluido caloportador, pero para evitar cualquier riesgo se va a usar etilenglicol-agua al 10%.

ETILENGLICOL 12%	a 10°C	a 50°C
T congelación (°C)	-4	-4
DENSIDAD (kg/m3)	1150	1000
Ce (kcal/kg·°C)	0,97	0,98

Tabla 12: propiedades del etilenglicol al 10%

### Caudal de bombeo

Para determinar el caudal de bombeo hacemos uso del valor de volumen de acumulación determinado anteriormente, el cual era  $V=150L$ . Para este volumen de acumulación y habiendo determinado anteriormente el número de captadores, y por lo tanto, el área de captador, se puede determinar el caudal de bombeo del fluido caloportador. Inicialmente se realiza una estimación aproximada a  $75L/h \cdot m^2$ , suponiendo que fluido caloportador es agua pura.

Con estos datos, el caudal mínimo para agua pura sería de:

$$C = 75(L/h \cdot m^2) \cdot 1,99(m^2) = 149,25L/h \approx 150L/h = 0,15m^3/h$$

Debido al menor calor específico de la mezcla agua-etilenglicol al 10%, se va a tomar como caudal de bombeo  $C=0,2 m^3/h$ .

### 2.1.8 Conducciones

Las conducciones del circuito primario son de cobre con conexiones por racores de nylon con la bomba y con el depósito, puesto que estos son de acero y se puede producir corrosión por formación de pila diferencial debido a la unión de dos metales distintos.

A continuación se muestran los elementos necesarios y la cantidad de cada uno de ellos.

ACCESORIOS	CANTIDAD
tubería de cobre	16 m
codos a 90	12
piezas en T	4
válvulas de regulación	2
válvulas de compuerta	1
válvulas de retención	1
racores de nylon	4

Tabla 13: accesorios de circuitos hidráulicos

### Diámetro de la conducción primaria y velocidad del fluido

El cálculo del diámetro de la conducción se realiza mediante aproximación por estimación según caudal de fluido determinado anteriormente y tipo de tubería. Se obtiene así un valor mínimo que se deberá ajustar a diámetro de tubería normalizada.

Para determinar el diámetro de las conducciones se usa la siguiente expresión:

$$D = j \cdot C^{0,35}$$

donde D es el diámetro interior en cm, j es un coeficiente que depende del material de la conducción, que al ser de metal (cobre) tiene un valor de 2'2, y C representa el caudal del circuito en m<sup>3</sup>/h, que en este caso tiene un valor de 0,15 m<sup>3</sup>/h.

Con estos datos se obtiene un diámetro interior de conducción de:

$$D = j \cdot C^{0,35} = 2,2 \cdot 0,15^{0,35} = 1,25 \text{ cm} = 12,5 \text{ mm}$$

Si consultamos la norma UNE-EN 1057, se puede observar que el diámetro normalizado de tubo que se aproxima a este valor es el de 15mm diámetro nominal exterior y 1mm de espesor de pared nominal.

Una vez calculado el diámetro y el caudal de bombeo se puede obtener la velocidad del fluido en el circuito mediante la ecuación de continuidad:

$$C = V \cdot S$$

donde C es el caudal de bombeo (C=0,2 m<sup>3</sup>/h), v es la velocidad del fluido y S el área transversal de la tubería ( $S = \pi \cdot r_{\text{int}}^2 = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ ).

De esta forma se obtiene la velocidad del fluido caloportador en el circuito primario.

$$V = C / S = 0,2 \text{ (m}^3/\text{h)} / 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ (m}^2) = 1506,8 \text{ m/h} = 0,4 \text{ m/s}$$

### 2.1.9 Pérdida de carga de la instalación

Para determinar la pérdida de carga de la instalación se debe tener en cuenta la pérdida de carga debido a fricción, a cambios de dirección motivado por los accesorios, al paso por el serpentín del depósito y al paso del fluido caloportador por la tubería del captador solar.

El cálculo de la pérdida de carga por fricción en la tubería ( $H_{rf}$ ) se obtiene a partir del caudal de bombeo y del diámetro interior de la conducción. Usando la gráfica de pérdidas de carga por rozamiento en tuberías de cobre (ver gráfica en anexo), se obtiene una pérdida de carga en torno a 20 mmca por cada metro de tubería. Si disponemos de 16m de tubería, se tiene un total de:

$$H_{rf} = 320 \text{ mmca} = 0,320 \text{ mca}$$

El cálculo de la pérdida de carga en los accesorios se obtiene a partir de la velocidad del fluido por dichos accesorios teniendo en cuenta el coeficiente K de pérdidas según tipo, mediante la expresión:

$$H_{ra} = K \cdot v^2 / 2g$$

donde g representa la aceleración de la gravedad ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ) y los valores de K se encuentran tabulados.

ACCESORIOS	Codo a 90°	Pieza en T	Válv. bola	Válv. retención	Válv. Compuerta
K	1,2	1,4	0,5	12	25

Tabla 14: coeficientes K según accesorios

Se ha considerado que la válvula de compuerta debe estar  $\frac{3}{4}$  cerrada para regular el caudal de la bomba, por ello que  $K=25$ .

Sumando la pérdida de carga de cada uno de los accesorios y teniendo en cuenta la velocidad del fluido, se obtiene un valor de:

$$H_{ra} = (12 \cdot 1,2 + 4 \cdot 1,4 + 2 \cdot 0,5 + 1 \cdot 12 + 1 \cdot 25) \cdot (0,2^2 / 2 \cdot 9,81) = 58 \cdot 0,002 = 0,116 \text{ mca}$$



La pérdida de carga debida al captador solar y al serpentín del depósito es un dato que proporciona el fabricante, en este caso SaunierDuval y que tiene por valor:

$$H_{rc}=7,24\text{mmca}=7,24\cdot 10^{-3}\text{ mca}$$

$$H_{rs}=0,5\text{ mca}$$

Con todos los datos de pérdida de carga obtenidos anteriormente se puede dar un valor final de:

$$H_{rtotal}=0,320+0,116+7,24\cdot 10^{-3}+0,5=0,943\text{ mca}$$

### 2.1.10 Potencia de bombeo

La expresión para determinar la potencia de la bomba es la siguiente:

$$P = C \cdot H_t \cdot \rho \cdot g / \eta$$

donde C es el caudal de bombeo,  $H_t$  es la carga total de la instalación,  $\rho$  la densidad del fluido caloportador,  $g$  la aceleración de la gravedad y  $\eta$  el rendimiento de la bomba o electrocirculador.

La carga total de la instalación se obtiene sumando las pérdidas de carga con la diferencia de alturas que existe entre bomba y captador solar ( $\Delta z=5\text{m}$  puesto que la vivienda unifamiliar es de una planta). Este valor resulta:

$$H_t=5+0,943= 5,943\text{ mca}$$

La bomba presenta un rendimiento del 60%.

Para obtener un valor directamente en vattios, el caudal de bombeo hay que pasarlo a  $\text{m}^3/\text{s}$ , con lo que queda  $C=0,2\text{m}^3/\text{h}=5,6\cdot 10^{-5}\text{ m}^3/\text{s}$ .

Al final queda lo siguiente:

$$P = 5,6\cdot 10^{-5}(\text{m}^3/\text{s}) \cdot 5,943\text{ (mca)} \cdot 1000(\text{kg}/\text{m}^3) \cdot 9,81(\text{m}/\text{s}^2) \div 0,60 = 5,44\text{ W}$$

Al ser tan poca la potencia necesaria se colocará un electrocirculador, para el cual hay que tener en cuenta que la potencia real será de un 75% mayor a la necesaria, es decir:

$$P(\text{electrocirculador})=P/0,25=21,77\text{ W}\approx 22\text{ W}$$

Se necesita un electrocirculador de 22 W.

### 2.1.11 Vaso de expansión

---

El volumen del vaso de expansión se determina usando la expresión siguiente:

$$V = V_t \cdot (0,2 + 0,02 \cdot h)$$

donde V es el volumen del vaso de expansión,  $V_t$  la capacidad del circuito primario y h la diferencia de altura máxima entre el punto más alto y el vaso de expansión, que en este caso será de 5m.

La capacidad del circuito se obtiene mediante el volumen de los colectores, que es un valor de fábrica (1,3L), el volumen del serpentín que según el fabricante es de 1,7 L, y el volumen de la conducción del circuito que se calcula mediante el radio interior de la tubería, que da un valor de 2,1 L. Entonces,  $V_t = 1,3 + 1,7 + 2,1 = 5,1L$ .

Al final se obtiene un vaso de expansión de:

$$V = 5,1 \cdot (0,2 + 0,01 \cdot 5) = 1,275L \approx 1,3L$$

aunque habrá que tomar el vaso de expansión de capacidad superior a 1,3L por motivos de catálogo.

### 2.1.12 Purgadores y desaireadores

---

El circuito primario contendrá un sistema de purgado de aire en la parte más elevada del circuito, que normalmente coincide con la altura del captador o captadores, y además, el desaireador debe ser de un volumen de 15 cm<sup>3</sup> por cada m<sup>2</sup> de captador, por lo que en esta instalación, el botellín desaireador tendrá un volumen de:

$$V(\text{desaireador}) = 15 \cdot 1,99 \approx 30 \text{ cm}^3$$