

Figura 6. Resumen del conjunto de pérdidas

Caso			
General			
PÉRDIDAS			
	Sombras	Orientación e Inclinación	Total
Límite máximo	10	10	15
Calculadas	1.51	0.588	2.098

Las exigencias del CTE en cuanto a pérdidas por sombras, orientación e inclinación quedan sobradamente cumplidas.

5.3.6 Cálculo de la cobertura solar mensual y anual. Método f-CHART

Se determina el porcentaje de la demanda energética mensual, o fracción solar mensual, como relación entre dos magnitudes adimensionales D1 y D2, mediante la fórmula siguiente:

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

La secuencia que se ha seguido en el cálculo es la siguiente:

1. Cálculo de la radiación solar mensual incidente Hmes sobre la superficie inclinada de los captadores

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$H_{mes} = k_{mes} \times H_{día} \times N$$

Donde:

- Hmes: irradiación, o radiación solar incidente por m2 de superficie de los captadores por mes, en kW ·h/m2 ·mes
- kmes: coeficiente función del mes, de la latitud y de la inclinación de la superficie de captación solar
- Hdía: irradiación, o radiación solar incidente por m2 de superficie de los captadores por día, en kW ·h/m2 ·día
- N: número de días del mes

2. Cálculo del parámetro D1

El parámetro D1 expresa la relación entre la energía absorbida por el captador plano EAmes y la demanda o carga energética mensual del edificio durante un mes, DEMes.

$$D_1 = \frac{EA_{mes}}{DE_{mes}}$$

La expresión de la energía absorbida por el captador, EAmes, es la siguiente:

$$EA_{mes} = S_c \times F'_R (\tau \alpha) \times H_{mes}$$

Donde:

- EAmes: energía solar mensual absorbida por los captadores, en kW ·h/mes
- Sc: superficie de captación, en m²
- Hmes: energía solar mensual incidente sobre la superficie de los captadores, en kW ·h/m²·mes
- F'R(τα): factor adimensional, cuya expresión es:

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha)_n \times \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \times \frac{F'_R}{F_R}$$

Donde:

- FR(τα)n: factor de eficiencia óptica del captador, ordenada en origen de la curva característica del captador, dato que debe proporcionar el fabricante
- (τα)/(τα)n: modificador del ángulo de incidencia, en general se puede tomar como constante: 0,96 para superficie transparente sencilla y 0,94 para superficie transparente doble
- F'R/FR: factor de corrección del conjunto captador-intercambiador, se recomienda tomar el valor 0,95

3. Cálculo del parámetro D2

El parámetro D2 expresa la relación entre la energía perdida por el captador EPmes, para una determinada temperatura, y la demanda energética mensual del edificio DEmes.

$$D_2 = \frac{EP_{mes}}{DE_{mes}}$$

La expresión de las pérdidas del captador es la siguiente:

$$EP_{mes} = S_c \times F'_R U_L \times (100 - T_{AMB}) \times \Delta t \times K_1 \times K_2$$

Donde:

- EPmes: energía solar mensual perdida por los captadores, en kW ·h/mes
- Sc: superficie de captación solar, en m²
- F'R·UL: factor, en kW ·h/m²·K, cuya expresión es:

$$F'_R U_L = F_R U_L \times \frac{F'_R}{F_R} \times 10^{-3}$$

Donde:

- FR·UL: coeficiente global de pérdidas del captador, también denominado U0, en W/m²·K, pendiente de la curva característica del captador solar, dato proporcionado por el fabricante
- F'R/FR: factor de corrección del conjunto captador – intercambiador, se recomienda tomar el valor 0,95

- TAMB: temperatura media mensual del ambiente en °C
- Δt: periodo del tiempo considerado, en horas
- K1: factor de corrección por almacenamiento:

$$K_1 = \left[\frac{V}{75 \times S_c} \right]^{-0,25}$$

- V: volumen de acumulación solar, en litros. Se recomienda que el valor de V sea tal que se cumpla la condición $50 < V/Sc < 100$
- K2: factor de corrección para A.C.S. que relaciona las distintas temperaturas

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

Donde:

- TAC: temperatura mínima del agua caliente sanitaria, que establece el apartado 1.1 de la Sección HE4 del DB HE, en 60 °C
- TAF: temperatura del agua de la red, en °C
- TAMB: temperatura media mensual del ambiente, en °C

4. Determinación de la fracción energética mensual f aportada por el sistema de captación solar, mediante gráficas o ecuaciones
5. Valoración de la cobertura solar anual, grado de cobertura solar o fracción solar anual F

La fracción solar anual se calcula por la razón entre la suma de aportaciones solares mensuales y la suma de las demandas energéticas de cada mes:

$$F = \frac{\sum_{1}^{12} EU \text{ mes}}{\sum_{1}^{12} DE \text{ mes}}$$

Donde:

- EUmes: energía útil mensual aportada por la instalación solar para la producción del agua caliente sanitaria del edificio, en Kw ·h/mes, determinada por la siguiente expresión: $EUmes = fmes \times DEmes$
- fmes: fracción solar mensual
- DEmes: demanda energética, en kW ·h/mes

Una vez realizado el cálculo de la superficie de captadores solares Sc que cumplan la contribución solar mínima requerida, se podrá calcular la producción solar prevista definitiva EUmes a partir de la demanda energética DEmes y la fracción solar mensual.

El dimensionado básico de la instalación, siguiendo el criterio del CTE, se ha realizado de forma que en ningún mes del año la energía producida por la instalación solar supere el 110 % de la demanda de consumo y no más de tres meses seguidos el 100 %.

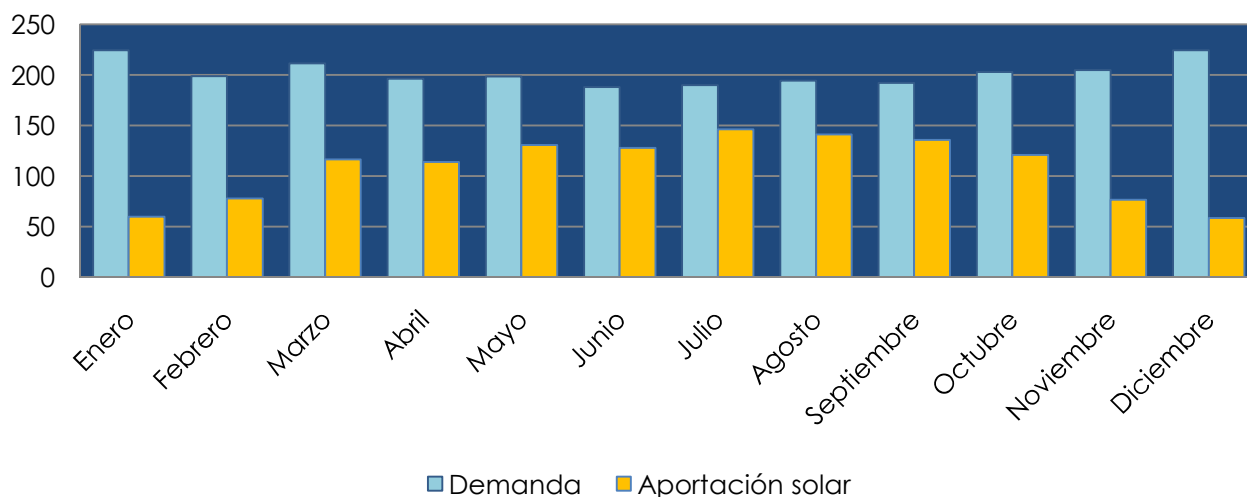
Cálculo de los parámetros D1 y D2

Mes	Tamb	EA mes	D1	EP mes	D2
Enero	11	98,76	0,44	517,79	2,31
Febrero	11	121,10	0,61	488,25	2,46
Marzo	14	178,32	0,84	545,04	2,58
Abril	14	179,95	0,92	571,54	2,91
Mayo	16	208,36	1,05	585,99	2,95
Junio	19	203,94	1,09	549,39	2,92
Julio	21	238,12	1,25	563,10	2,97
Agosto	21	223,82	1,15	540,32	2,78
Septiembre	20	212,51	1,11	514,10	2,68
Octubre	17	187,65	0,93	549,53	2,71
Noviembre	14	121,57	0,59	527,46	2,58
Diciembre	12	96,24	0,43	504,10	2,25
ANUAL	15,8	2070,34		6456,60	
	°C	kW·h		kW·h	

Cálculo de la fracción solar mensual y de la energía útil mensual

Mes	f mes	EU mes
Enero	26,69	59,88
Febrero	39,20	77,92
Marzo	55,08	116,47
Abril	58,00	113,84
Mayo	65,88	130,78
Junio	68,10	127,98
Julio	77,06	146,32
Agosto	72,65	141,08
Septiembre	70,66	135,73
Octubre	59,65	120,97
Noviembre	37,38	76,49
Diciembre	26,10	58,57
ANUAL		1306,04
	%	kW·h

Gráfico anual ACS kW h/mes



Con el dimensionado elegido, se consigue una cobertura solar anual del 53,85 %, cuando la cobertura solar mínima exigida es del 30 %, siendo el rendimiento anual de la instalación el 48,21 %.

5.4 Volumen de acumulación

El volumen de acumulación solar se ha dimensionado en función de la energía que la instalación proyectada, aportará a lo largo del día, de forma que sea acorde con la demanda al no ser ésta simultánea con la generación.

Por consiguiente, para la relación V/A se ha considerado un valor de 75 l/m² (lo más usual), que cumple la condición exigida en el CTE, de $50 < V/A < 180$.

Donde:

- A: superficie de captación, en m²
- V: volumen de acumulación solar, en litros

Con esta relación, se obtiene una capacidad de acumulación de 158,25 litros, por lo que se opta por colocar un acumulador centralizado comercial de 160 litros.

5.5 Potencia de intercambio

La relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación, debe ser mayor o igual a 0,20 (superior al mínimo de 0,15 especificado en el CTE, pero que supone una mejora en el rendimiento de la instalación), es decir, $1,00 / 2,11 = 0,47$, luego la opción elegida, al disponer de 1,00 m², es suficiente.

Se instalará una válvula de cierre en cada una de las tuberías de entrada y salida de agua del intercambiador de calor.

5.6 Circuito hidráulico

5.6.1 Caudal

El caudal del circuito primario se calcula a partir del caudal unitario por m² de captador, de su superficie y del número de ellos. El caudal del fluido portador se determina de acuerdo con las especificaciones del fabricante como consecuencia del diseño de su producto.

Por defecto, su valor se estima comprendido entre 1,2 l/s y 2 l/s por cada 100 m² de red de captadores, lo que equivale a 43,2 l/h · m² y 72 l/h · m², respectivamente.

Como base de los cálculos se ha considerado un valor medio de 50 l/h por m² de captación solar, por indicación concreta del fabricante acerca del caudal recomendado para su captador.

En este caso concreto, para un captador, el caudal total del circuito primario será 105,5 l/h.

5.6.2 Redes de tuberías y pérdidas de carga

El dimensionado de la red de tuberías se realizará de forma que la velocidad máxima del agua en todos los tramos sea inferior a 2 m/s. La pérdida de carga en todos los tramos se procurará que sea inferior a 40 mm c.a. por metro lineal de conducción.

Para calcular las pérdidas de carga se utilizará la siguiente expresión, derivada de la ecuación de Flamant, que relaciona el diámetro con el caudal de la siguiente forma:

$$P_{dc \text{ unitaria}} = 378 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Expresión que permite el cálculo para los tramos rectos de tubería.

Donde:

- Pdcunitaria: pérdida de carga en mm de columna de agua por metro lineal de tubería, en mm c.a./m
- Q: caudal de circulación por la tubería, en l/h
- D: diámetro interior de la tubería, en mm

Para los elementos singulares (codos, tes, curvas, derivaciones, cambios de sección, llaves, etc.), se empleará el sistema de aumento de rozamiento en las tuberías, utilizando un factor igual al 30 % de la pérdida de carga obtenida en cada uno de los tramos rectos.

Dimensionado de la red de tuberías del circuito primario

TRAMO	Q diseño l/h	Dn mm	Di mm	e aislam mm	v m/s	pdc mm c.a. por m	L m	L total m	pdc mm c.a.
O-A	105	18	16	20	0,15	3,2	15,0	19,5	62,9
B-C	105	18	16	20	0,15	3,2	15,0	19,5	62,9
PÉRDIDA DE PRESIÓN EN TRAMO MÁS DESFAVORABLE								125,9	mm c.a.
PÉRDIDA DE PRESIÓN EN CAPTADORES								724,0	mm c.a.
PÉRDIDA DE PRESIÓN EN INTERCAMBIADOR								1937,0	mm c.a.
COLUMNA DE FLUIDO EN TRAMO MÁS DESFAVORABLE								5750,0	mm c.a.
PÉRDIDA DE PRESIÓN TOTAL								8,54	m c.a.

5.6.3 Bombas de circulación

Atendiendo a los resultados obtenidos en el trazado de tuberías de la instalación, se obtiene la siguiente conclusión:

- En el circuito primario, se seleccionará una bomba circuladora para las condiciones nominales de Q = 105,5 l/h (0,03 l/s) y altura manométrica = 8,54 m c.a.

5.7 Volumen de los vasos de expansión

El volumen del vaso de expansión cerrado se determina con la fórmula siguiente:

$$V_{\text{vaso}} = V \times n \times \frac{P_f}{P_f - P_i}$$

Donde:

- Vvaso: volumen del vaso de expansión, en litros
- V: volumen de expansión del fluido caloportador en el circuito primario, en litros
- n: coeficiente de dilatación, adimensional
- Pf: presión absoluta final del vaso de expansión, kg/cm²
- Pi: presión absoluta inicial del vaso de expansión, en kg/cm²

El criterio elegido para el cálculo de V, según el CTE, será el de elegir el mayor de entre estos dos valores:

- El 110 % del volumen contenido en el sistema de captación
- La compensación de variaciones de densidad del fluido, según UNE 100-155-88

Como se comprobará más adelante, el valor mayor corresponderá siempre al primero de los dos anteriores supuestos, si bien se justificará a continuación.

En el circuito primario, tenemos los siguientes datos de partida:

- Volumen del circuito primario: 6,03 litros
- Volumen del sistema de captación: 1,76 litros
- Volumen del intercambiador: 4,50 litros
- Volumen total: 12,29 litros

El volumen de expansión de este circuito será, como ya se ha dicho, el mayor de entre el 110 % del contenido en los captadores y la compensación de variaciones de densidad de la mezcla formada por un 75 % en peso de agua y un 25 % de propilenglicol:

- 110 % del volumen contenido en los captadores: $1,1 \times 1,76 = 1,94$ litros
- Compensación de variaciones de densidad del fluido: considerando una temperatura máxima en la acumulación de 140 °C, su coeficiente de dilatación será 0,0849, y el volumen de expansión será de 1,04 litros

El mayor de estos valores, resulta ser el de 1,94 litros, como volumen de expansión.

La presión absoluta final del vaso será la de la válvula limitadora de presión, 6 kg/cm², mientras que la presión absoluta inicial se corresponde con la mínima necesaria para tener 1,5 kg/cm² en los captadores más la altura estática entre éstos y el acumulador, es decir, 2,09 kg/cm².

Con estos datos, y aplicando la fórmula anterior, se obtiene un volumen para el vaso de expansión del circuito primario de 3,39 litros, por lo que se colocará uno con una capacidad comercial estandarizada de 8 litros.

Figura 7. Esquema de principio dimensionado

