

INSTALACIONES TÉRMOSOLARES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

En este capítulo se trata del aprovechamiento eficiente de la energía térmica de origen solar. El principal uso es el de calentar agua a baja temperatura. Sin embargo, existen plantas de producción de aceite térmico o vapor de agua a muy altas temperaturas, que después se utilizan para la conversión de esa energía en energía eléctrica, en las centrales termosolares. Hay otras tecnologías que también proporcionan rendimientos interesantes.

1 AGUA CALIENTE SANITARIA SOLAR

Al igual que ocurría con la demanda energética de los edificios, el Código Técnico de la Edificación también exige ciertas medidas de ahorro energético para calentar el agua sanitaria. En concreto, se exige instalar sistemas de captación de energía solar, y la normativa aplicable es ahora:

- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, BOE nº74, de 28 de marzo de 2006.
- Documento Básico del CTE: HE “Ahorro de energía”, sección HE-4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”.

A continuación se explica la manera de justificar el cumplimiento de dicha norma en las nuevas edificaciones y rehabilitaciones a las que se aplique el CTE.

1.1 Descripción de la instalación típica

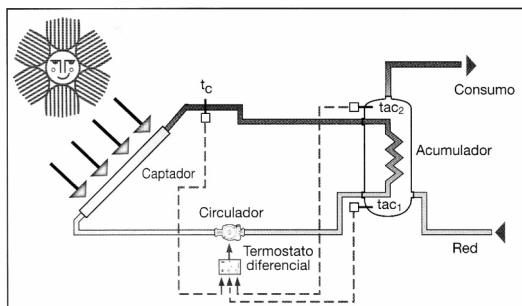
Los sistemas que conforman la instalación solar térmica para agua caliente son los siguientes:

- a) un sistema de captación formado por los captadores solares, encargado de transformar la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que circula por ellos;
- b) un sistema de acumulación constituido por uno o varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta que se precisa su uso;
- c) un circuito hidráulico constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de establecer el movimiento del fluido caliente hasta el sistema de acumulación;
- d) un sistema de intercambio que realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de captadores, o circuito primario, al agua caliente que se consume;
- e) sistema de regulación y control que se encarga por un lado de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima energía solar térmica posible y, por otro, actúa como protección frente a la acción de múltiples factores como sobrecalentamientos del sistema, riesgos de congelaciones, etc;
- f) adicionalmente, se dispondrá de un equipo de energía convencional auxiliar que se utilizará para complementar la contribución solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa

radiación solar o demanda superior al previsto.

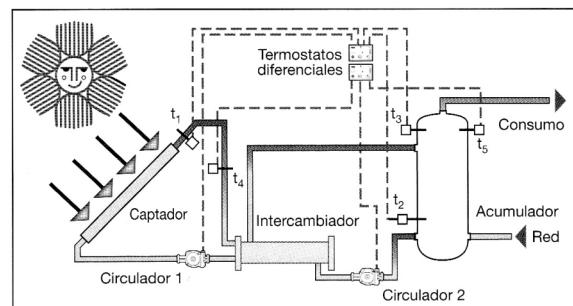
Este equipo lo constituye el sistema de calefacción y ACS convencional de que viene dotado el edificio, y no se contempla en esta parte del Proyecto. Únicamente se hace la observación de que la salida de ACS del acumulador solar deberá conectarse con el sistema auxiliar como se indica en los esquemas de principio de esta instalación solar. Queda prohibida la conexión de este sistema de calefacción auxiliar con el circuito primario de captadores solares.

Esquema de principio hidráulico para captación $\leq 25 \text{ m}^2$

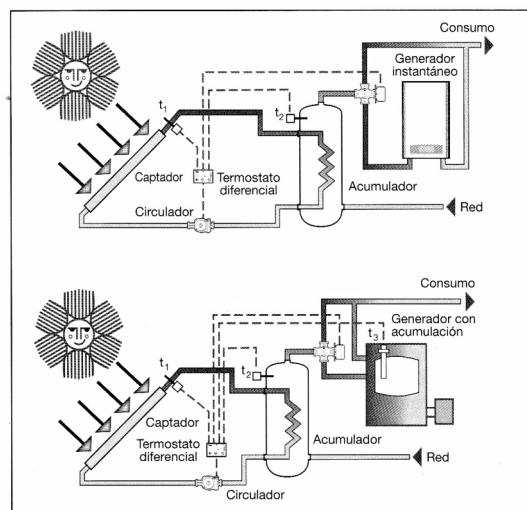


Circulador	
Marcha	Paro
$(t_c - t_{ac1}) \geq 6^\circ\text{C}$	$(t_c - t_{ac1}) \leq 2^\circ\text{C}$
$t_{ac2} \leq 60^\circ\text{C}$	$t_{ac2} \geq 60^\circ\text{C}$

Esquema de principio hidráulico para captación $\geq 50 \text{ m}^2$



Circulador 1		Circulador 2	
Marcha	Paro	Marcha	Paro
$(t_1 - t_2) \geq 6^\circ\text{C}$	$(t_1 - t_2) \leq 2^\circ\text{C}$	$(t_4 - t_5) \geq 6^\circ\text{C}$ y Circulador 1 en marcha	$(t_4 - t_5) \leq 2^\circ\text{C}$ ó Circulador 1 parado
$t_3 \leq 60^\circ\text{C}$	$t_3 \geq 60^\circ\text{C}$		



Distintas configuraciones habituales de los circuitos primario, secundario y de utilización final, en función de las necesidades y la potencia de la instalación. Se ofrecen también indicaciones de los márgenes de funcionamiento de cada uno de las bombas de recirculación.

Extraído de:

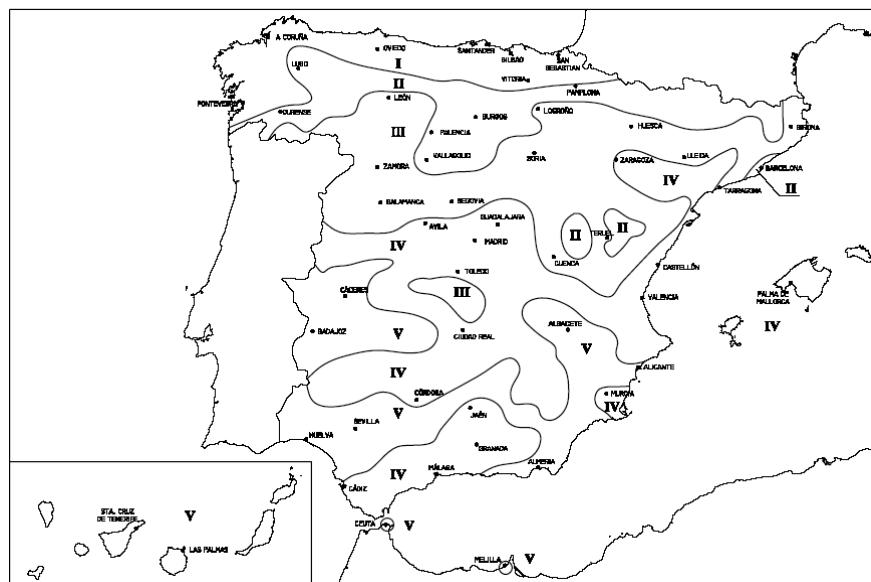
ROCA CALEFACCIÓN, Monografía técnica: *Utilización de la energía solar por medio de captadores planos*, Barcelona, 56p.

1.2 Contribución solar mínima

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. Debe fijarse en atención a varios criterios:

- La zona climática en que se encuentre la instalación, según el mapa siguiente.
- La fuente de energía auxiliar utilizada como respaldo al calentamiento solar. Se distinguen dos supuestos:
 - o general: la fuente energética de apoyo es gasóleo, propano, gas natural, u otras;

- efecto Joule: la fuente energética de apoyo es la energía eléctrica transformada en calor mediante resistencias.



Zona climática	MJ/m^2	kWh/m^2
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Las tablas de la norma indican, para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de agua caliente sanitaria (ACS) a una temperatura de referencia de 60 °C, la contribución solar mínima anual, considerándose los siguientes casos:

Tabla 2.1. Contribución solar mínima en %. Caso general

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Tabla 2.2. Contribución solar mínima en %. Caso Efecto Joule

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

La demanda total de ACS se obtiene, según los usos, de las tablas siguientes:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)

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
Cuartelares	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

(1) Los litros de ACS/día a 60°C de la tabla se han calculado a partir de la tabla 1 (Consumo unitario diario medio) de la norma UNE 94002:2005 "Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda energética".

En un ejemplo tipo, de una vivienda unifamiliar de 5 dormitorios en zona IV, con calefacción de gasoil dotada de acumulador de ACS (caso general), se obtienen los siguientes requerimientos:

EXIGENCIAS MÍNIMAS PARA UN EJEMPLO TIPO EN ZONA IV

Tipo de uso	Viviendas unifamiliares
Demanda diaria	30 litros ACS / día (a 60°C)
Número de dormitorios por vivienda	5
Número de personas mínimo considerado	7
Demanda mínima a 60°C	210 litros ACS a 60°C / día
Demanda considerada en cálculos	305 litros ACS a 45°C / día

El objetivo de diseño debe ser, por tanto, obtener al menos una cobertura solar mínima anual de:

Rendimiento mínimo anual de la contribución solar $\geq 60\%$

1.3 Condiciones de diseño

Supongamos que dada la ubicación del edificio de nuestro ejemplo, su entorno, y sus condiciones constructivas, los parámetros que inciden en el diseño de la instalación son:

PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE LA INSTALACIÓN

Acimut de los captadores solares	0° (SUR)
Inclinación sobre la horizontal	50°
Ubicación de los paneles captadores	Sobre cubierta
Sombras y obstáculos	Ninguno
Superposición arquitectónica	No
Integración arquitectónica	No
Ubicación del acumulador	No intemperie - en desván -
Ubicación del intercambiador	Inserto en el acumulador
Tipo de recirculación primaria	Forzada

Las pérdidas por orientación, inclinación, sombras, superposición ⁽¹⁾ e integración arquitectónica ⁽²⁾, no deben superar los valores de la tabla siguiente:

MÁXIMAS PÉRDIDAS ADMISIBLES

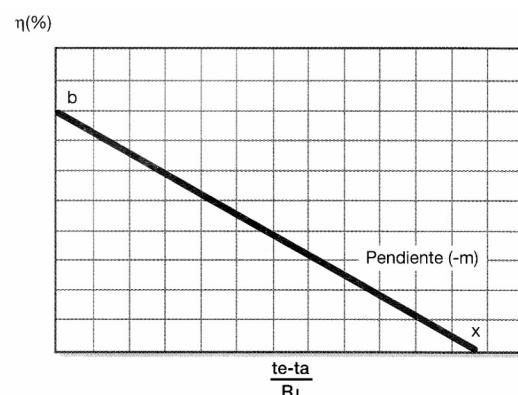
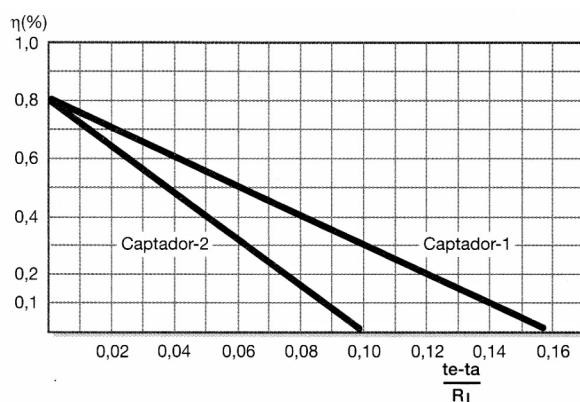
Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

En este caso no se tendrán en cuenta especiales implicaciones por estos conceptos. Su cálculo, si fuera necesario, debería realizarse mediante la técnica mostrada en el CTE-DB: HE-4, secciones 3.5 "Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación" y 3.6 "Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras".

Para el cálculo y el diseño de la instalación suele buscarse el poder utilizar alguno de los kits comercialmente disponibles en este momento, justificando previamente su idoneidad para cada caso. A tal efecto, y para nuestro ejemplo, se ha considerado la eficacia de un equipo como el siguiente:

EQUIPO SOLAR CONSIDERADO ⁽³⁾

Rendimiento máximo de los paneles captadores	67%
Factor de pérdidas de los paneles captadores	3,141 W/(m ² ·K)
Protección superior de los paneles captadores	Cristal sencillo
Caudal de diseño	1'5 l/s
Rendimiento global del sistema intercambiador	90%
Ineficiencia global del sistema acumulador	20%
Temperatura de acumulación	45°C
Volumen de acumulación	300 litros
Número de paneles captadores	2
Superficie total de captación	4,26 m ²



Curvas características de rendimiento de los captadores en función de la temperatura de entrada del fluido caloportador T_e , la temperatura ambiente T_a y la radiación incidente R_I .

¹ Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal con el fin de favorecer la autolimpieza de los módulos.

² Se considera que existe integración arquitectónica cuando los módulos cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica.

³ Estas características pueden conseguirse con un kit solar unifamiliar de la marca CHROMAGEN, compuesto de paneles del tipo CR10 SN y un acumulador de 150 litros con serpentín intercambiador interno.

1.4 Cálculos

La estimación de la cantidad de agua caliente necesaria cada día para la temperatura de acumulación se deduce de:

$$D_{i(T)} = D_{i(60^\circ\text{C})} \frac{60 - T_i}{T - T_i} = 210 \frac{60 - 12}{45 - 12} = 305 \text{ litros/día m\'in}$$

donde

- $D_{i(T)}$ demanda en l/día para la temperatura de acumulación
 $D_{i(60^\circ\text{C})}$ demanda en l/día para la temperatura de la norma (60°C)
 T_i temperatura en $^\circ\text{C}$ de referencia de la norma (12°C)
 T temperatura en $^\circ\text{C}$ del sistema de acumulación

El volumen mínimo de acumulación elegido cumple las exigencias de la norma (sección 3.3.3.1), pues

$$50 < \frac{V}{A} < 180; \quad 50 < \frac{300}{4,26} = 70,42 < 180$$

donde

- V es el volumen de acumulación en litros
 A es el área de captación, en m^2

El caudal exigido por la norma debe oscilar entre $1'2$ y $2'0$ l/s por cada 100m^2 de superficie de captación (ver sección 3.3.5.1). En este caso se elige un equipo cuyo primario haga circular el fluido caloportador a razón de

$$C = C_d \frac{S_c}{100} = 1'5 \frac{4,26}{100} = 0,06390 \left[\frac{\text{litros}}{\text{s}} \right] \frac{3600[\text{s}]}{[\text{h}]} = 230 \frac{\text{litros}}{\text{h}}$$

donde

- C es el caudal de circulación en el circuito primario
 C_d es el caudal de diseño fijado, en litros/segundo
 S_c es la superficie de captación, en m^2

Para estimar la demanda de energía necesaria para la producción de agua caliente se ha utilizado la expresión:

$$Q = D_{i(T)} c_e n \Delta T = D_{i(T)} c_e n (T - T_i) \quad (1)$$

donde

- $D_{i(T)}$ demanda en l/día para la temperatura de acumulación
 c_e calor específico del agua a presión constante en $\text{J/(l-}^\circ\text{C)}$
 n nº de días involucrados en el cálculo (usualmente los días de cada mes)
 T_i temperatura en $^\circ\text{C}$ de entrada del agua desde la red pública de abastecimiento
 T temperatura en $^\circ\text{C}$ del sistema de acumulación

Para estimar la contribución solar al calentamiento de esa agua se debe partir de tablas de irradiación solar sobre superficies inclinadas del Ministerio de Industria y Energía o de la Comunidad Autónoma correspondiente, aplicables a la zona del emplazamiento, y a través del método del factor de contribución, de reconocida solvencia y que involucra los rendimientos de las diferentes partes de la instalación, se obtienen los porcentajes de contribución solar en base mensual y anual.

TEMPERATURA DE REFERENCIA PARA LA RED DE ABASTECIMIENTO EN CADA PROVINCIA

Según UNE 94.002:2005 "Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica".

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ÁLAVA	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
ALBACETE	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
ALICANTE	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
ALMERÍA	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
ASTURIAS	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
ÁVILA	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
BADAJOZ	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
BALEARES	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
BARCELONA	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
BURGOS	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
CÁCERES	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
CÁDIZ	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
CANTABRIA	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
CASTELLÓN	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
CEUTA	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
CIUDAD REAL	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
CÓRDOBA	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
CUENCA	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
GERONA	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
GRANADA	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
GUADALAJARA	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
GUIPÚZCOA	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
HUELVA	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
HUESCA	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
JAÉN	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
LA CORUÑA	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
LA RIOJA	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
LAS PALMAS	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
LEÓN	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
LÉRIDA	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
LUGO	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
MADRID	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
MÁLAGA	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
MELILLA	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
MURCIA	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
NAVARRA	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
ORENSE	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
PALENCIA	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
PONTEVEDRA	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
SALAMANCA	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
SEGOVIA	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
SEVILLA	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
SORIA	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
STA.C.TENERIFE	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
TARRAGONA	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
TERUEL	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
TOLEDO	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
VALENCIA	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
VALLADOLID	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
VIZCAYA	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
ZAMORA	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
ZARAGOZA	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

ENERGÍA EN MEGAJULIOS QUE INCIDE SOBRE UN METRO CUADRADO
DE SUPERFICIE HORIZONTAL EN UN DÍA MEDIO DE CADA MES

(Fuente: CENSOLAR).

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1	ÁLAVA	4,6	6,9	11,2	13	14,8	16,6	18,1	17,3	14,3	9,5	5,5	4,1	11,3
2	ALBACETE	6,7	10,5	15	19,2	21,2	25,1	26,7	23,2	18,8	12,4	8,4	6,4	16,1
3	ALICANTE	8,5	12	16,3	18,9	23,1	24,8	25,8	22,5	18,3	13,6	9,8	7,6	16,8
4	ALMERÍA	8,9	12,2	16,4	19,6	23,1	24,6	25,3	22,5	18,5	13,9	10	8	16,9
5	ASTURIAS	5,3	7,7	10,6	12,2	15	15,2	16,8	14,8	12,4	9,8	5,9	4,6	10,9
6	ÁVILA	6	9,1	13,5	17,7	19,4	22,3	26,3	25,3	18,8	11,2	6,9	5,2	15,1
7	BADAJOZ	6,5	10	13,6	18,7	21,8	24,6	25,9	23,8	17,9	12,3	8,2	6,2	15,8
8	BALEARES	7,2	10,7	14,4	16,2	21	22,7	24,2	20,6	16,4	12,1	8,5	6,5	15
9	BARCELONA	6,5	9,5	12,9	16,1	18,6	20,3	21,6	18,1	14,6	10,8	7,2	5,8	13,5
10	BURGOS	5,1	7,9	12,4	16	18,7	21,5	23	20,7	16,7	10,1	6,5	4,5	13,6
11	CÁCERES	6,8	10	14,7	19,6	22,1	25,1	28,1	25,4	19,7	12,7	8,9	6,6	16,6
12	CÁDIZ	8,1	11,5	15,7	18,5	22,2	23,8	25,9	23	18,1	14,2	10	7,4	16,5
13	CANTABRIA	5	7,4	11	13	16,1	17	18,4	15,5	13	9,5	5,8	4,5	11,3
14	CASTELLÓN	8	12,2	15,5	17,4	20,6	21,4	23,9	19,5	16,6	13,1	8,6	7,3	15,3
15	CEUTA	8,9	13,1	18,6	21	24,3	26,7	26,8	24,3	19,1	14,2	11	8,6	18,1
16	CIUDAD_REAL	7	10,1	15	18,7	21,4	23,7	25,3	23,2	18,8	12,5	8,7	6,5	15,9
17	CÓRDOBA	7,2	10,1	15,1	18,5	21,8	25,9	28,5	25,1	19,9	12,6	8,6	6,9	16,7
18	LA_CORUÑA	5,4	8	11,4	12,4	15,4	16,2	17,4	15,3	13,9	10,9	6,4	5,1	11,5
19	CUENCA	5,9	8,8	12,9	17,4	18,7	22	25,6	22,3	17,5	11,2	7,2	5,5	14,6
20	GERONA	7,1	10,5	14,2	15,9	18,7	19	22,3	18,5	14,9	11,7	7,8	6,6	13,9
21	GRANADA	7,8	10,8	15,2	18,5	21,9	24,8	26,7	23,6	18,8	12,9	9,6	7,1	16,5
22	GUADALAJARA	6,5	9,2	14	17,9	19,4	22,7	25	23,2	17,8	11,7	7,8	5,6	15,1
23	GUIPÚZCOA	5,5	7,7	11,3	11,7	14,6	16,2	16,1	13,6	12,7	10,3	6,2	5	10,9
24	HUELVA	7,6	11,3	16	19,5	24,1	25,6	28,7	25,6	21,2	14,5	9,2	7,5	17,6
25	HUESCA	6,1	9,6	14,3	18,7	20,3	22,1	23,1	20,9	16,9	11,3	7,2	5,1	14,6
26	JAÉN	6,7	10,1	14,4	18	20,3	24,4	26,7	24,1	19,2	11,9	8,1	6,5	15,9
27	LEÓN	5,8	8,7	13,8	17,2	19,5	22,1	24,2	20,9	17,2	10,4	7	4,8	14,3
28	LÉRIDA	6	9,9	18	18,8	20,9	22,6	23,8	21,3	16,8	12,1	7,2	4,8	15,2
29	LUGO	5,1	7,6	11,7	15,2	17,1	19,5	20,2	18,4	15	9,9	6,2	4,5	12,5
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
31	MÁLAGA	8,3	12	15,5	18,5	23,2	24,5	26,5	23,2	19	13,6	9,3	8	16,8
32	MELILLA	9,4	12,6	17,2	20,3	23	24,8	24,8	22,6	18,3	14,2	10,9	8,7	17,2
33	MURCIA	10,1	14,8	16,6	20,4	24,2	25,6	27,7	23,5	18,6	13,9	9,8	8,1	17,8
34	NAVARRA	5	7,4	12,3	14,5	17,1	18,9	20,5	18,2	16,2	10,2	6	4,5	12,6
35	ORENSE	4,7	7,3	11,3	14	16,2	17,6	18,3	16,6	14,3	9,4	5,6	4,3	11,6
36	PALENCIA	5,3	9	13,2	17,5	19,7	21,8	24,1	21,6	17,1	10,9	6,6	4,6	14,3
37	LAS_PALMAS	11,2	14,2	17,8	19,6	21,7	22,5	24,3	21,9	19,8	15,1	12,3	10,7	17,6
38	PONTEVEDRA	5,5	8,2	13	15,7	17,5	20,4	22	18,9	15,1	11,3	6,8	5,5	13,3
39	LA_RIOJA	5,6	8,8	13,7	16,6	19,2	21,4	23,3	20,8	16,2	10,7	6,8	4,8	14
40	SALAMANCA	6,1	9,5	13,5	17,1	19,7	22,8	24,6	22,6	17,5	11,3	7,4	5,2	14,8
41	STA_C_DE_TENERIFE	10,7	13,3	18,1	21,5	25,7	26,5	29,3	26,6	21,2	16,2	10,8	9,3	19,1
42	SEGOVIA	5,7	8,8	13,4	18,4	20,4	22,6	25,7	24,9	18,8	11,4	6,8	5,1	15,2
43	SEVILLA	7,3	10,9	14,4	19,2	22,4	24,3	24,9	23	17,9	12,3	8,8	6,9	16
44	SORIA	5,9	8,7	12,8	17,1	19,7	21,8	24,1	22,3	17,5	11,1	7,6	5,6	14,5
45	TARRAGONA	7,3	10,7	14,9	17,6	20,2	22,5	23,8	20,5	16,4	12,3	8,8	6,3	15,1
46	TERUEL	6,1	8,8	12,9	16,7	18,4	20,6	21,8	20,7	16,9	11	7,1	5,3	13,9
47	TOLEDO	6,2	9,5	14	19,3	21	24,4	27,2	24,5	18,1	11,9	7,6	5,6	15,8
48	VALENCIA	7,6	10,6	14,9	18,1	20,6	22,8	23,8	20,7	16,7	12	8,7	6,6	15,3
49	VALLADOLID	5,5	8,8	13,9	17,2	19,9	22,6	25,1	23	18,3	11,2	6,9	4,2	14,7
50	VIZCAYA	5	7,1	10,8	12,7	15,5	16,7	17,9	15,7	13,1	9,3	6	4,6	11,2
51	ZAMORA	5,4	8,9	13,2	17,3	22,2	21,6	23,5	22	17,2	11,1	6,7	4,6	14,5
52	ZARAGOZA	6,3	9,8	15,2	18,3	21,8	24,2	25,1	23,4	18,3	12,1	7,4	5,7	15,6

FACTOR DE CORRECCIÓN K PARA SUPERFICIES INCLINADAS.

Representa el cociente entre la energía total
incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador
e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal.

(Fuente: CENSOLAR).

LATITUD 29°

Incl ^o	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	1,05	1,04	1,03	1,02	1	1	1	1,02	1,03	1,05	1,07	1,06
10	1,1	1,08	1,05	1,02	1	0,99	1	1,03	1,06	1,1	1,12	1,12
15	1,15	1,11	1,07	1,03	0,99	0,98	0,99	1,03	1,08	1,14	1,18	1,17
20	1,18	1,14	1,08	1,02	0,98	0,96	0,98	1,03	1,1	1,17	1,22	1,22
25	1,21	1,15	1,08	1,01	0,95	0,93	0,95	1,01	1,1	1,2	1,26	1,25
30	1,23	1,16	1,08	0,99	0,92	0,9	0,92	1	1,1	1,21	1,28	1,28
35	1,24	1,17	1,07	0,97	0,89	0,86	0,89	0,97	1,09	1,22	1,3	1,3
40	1,25	1,16	1,05	0,93	0,85	0,81	0,85	0,94	1,07	1,22	1,32	1,31
45	1,24	1,15	1,02	0,9	0,8	0,76	0,8	0,9	1,05	1,21	1,32	1,32
50	1,23	1,13	0,99	0,85	0,75	0,71	0,74	0,85	1,02	1,19	1,31	1,31
55	1,22	1,1	0,95	0,8	0,69	0,64	0,68	0,8	0,98	1,17	1,3	1,3
60	1,19	1,07	0,91	0,75	0,63	0,58	0,62	0,75	0,93	1,14	1,28	1,28
65	1,16	1,03	0,86	0,69	0,56	0,51	0,55	0,69	0,88	1,1	1,24	1,25
70	1,12	0,98	0,8	0,62	0,49	0,44	0,48	0,62	0,82	1,05	1,2	1,22
75	1,07	0,93	0,74	0,55	0,42	0,36	0,41	0,55	0,76	0,99	1,16	1,17
80	1,02	0,87	0,68	0,48	0,34	0,28	0,33	0,48	0,69	0,93	1,1	1,12
85	0,96	0,81	0,61	0,41	0,26	0,21	0,25	0,4	0,62	0,87	1,04	1,06
90	0,9	0,74	0,54	0,33	0,18	0,13	0,17	0,32	0,54	0,79	0,97	1

LATITUD 40°

Incl ^o	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

MÉTODO DEL FACTOR DE CONTRIBUCIÓN SOLAR (*F-CHART*)

Para el dimensionado de las instalaciones de energía solar térmica se sugiere el método de las curvas *f* (*f-Chart*) ⁽⁴⁾, que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su

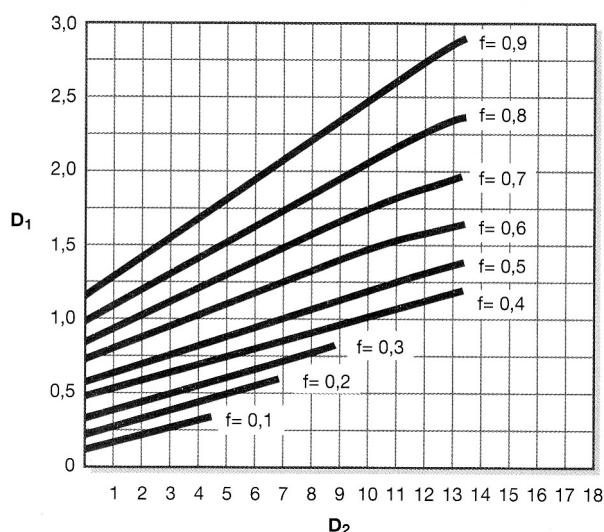
⁴ BECKMAN, W. A.; KLEIN, S. A.; DUFFIE, J. A. (University of Wisconsin), *Solar heating design, by the f-chart method*, Wiley-

contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo período de tiempo. Ampliamente aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, no ha de aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario. Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, y es perfectamente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones de calefacción, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos.

Su aplicación sistemática consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calefacción solar y utilizar la simulación de funcionamiento mediante ordenador, para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un dilatado período de tiempo.

La ecuación utilizada en este método puede apreciarse en la siguiente fórmula:

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



Familia de curvas para distintos valores de f .
El método aquí descrito sólo es aplicable si se cumplen, a la vez, estas dos condiciones:
 $0 < D_1 < 3$ y $0 < D_2 < 18$

La secuencia que suele seguirse en el cálculo es la siguiente:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calefacción de agua destinada a la producción de A.C.S. o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro D_1 y cálculo del parámetro D_2 . Verificación de la condición de aplicabilidad del método: $0 < D_1 < 3$ y $0 < D_2 < 18$.
4. Determinación de la gráfica f .
5. Valoración de la cobertura solar mensual.
6. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

Las cargas caloríficas determinan la cantidad de calor necesaria mensual para calentar el agua destinada al consumo doméstico, calculándose mediante la expresión (1) señalada más arriba.

El parámetro D_1 expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calefacción durante un mes:

Interscience, Nueva York, 1977. El método ha sido incluido y traducido en una publicación del Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético disponible en internet: IDAE, *Instalaciones de Energía Solar Térmica, Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*, rev. octubre 2002, pero tiene errores (la fórmula f tiene los signos mal).

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

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

$$E_a = S_c F'_r(\tau\alpha) R_i n$$

donde:

S_c	superficie del captador (m^2)
R_i	radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kJ/m^2)
n	número de días del mes
$F'_r(\tau\alpha)$	factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión

$$F'_r(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \left[\frac{F'_r}{F_r} \right] = F_r(\tau\alpha)_n \times \begin{cases} 0,96_{\text{senc}} & \times 0,95 \\ 0,94_{\text{doble}} & \end{cases}$$

donde:

$F_r(\tau\alpha)_n$	factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.
$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$	modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) ó 0,94 (superficie transparente doble).
$\frac{F'_r}{F_r}$	factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

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

$$E_p = S_c F'_r U_L (100 - t_a) \Delta t K_1 K_2, \quad \text{con} \quad F'_r U_L = F_r U_L \left(\frac{F'_r}{F_r} \right)$$

donde:

S_c	superficie del captador (m^2)
$F_r U_L$	pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador)
t_a	temperatura media mensual del ambiente
Δt	duración del mes considerado en segundos (s)
K_1	factor de corrección por almacenamiento que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K_1 = \left(\frac{\text{kg acumulación}}{75 S_c} \right)^{-0,25} \text{ con } 37,5 < (\text{kg acumulación}) / (\text{m}^2 \text{ captador}) < 300$$

K_2	factor de corrección, para A.C.S., que relaciona la temperatura mínima de A.C.S. (que será normalmente la temperatura de acumulación), la del agua de la red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:
-------	--

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18 t_{ac} + 3,86 t_r - 2,32 t_a}{100 - t_a}$$

donde:

t_{ac}	temperatura mínima del A.C.S.
t_r	temperatura del agua de red

$$t_a \quad \text{temperatura media mensual del ambiente}$$

Una vez obtenidos D_1 y D_2 , aplicando la ecuación inicial se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar. De esta forma, la energía útil captada cada mes, Q_u , tiene el valor:

$$Q_u = f Q_a$$

donde:

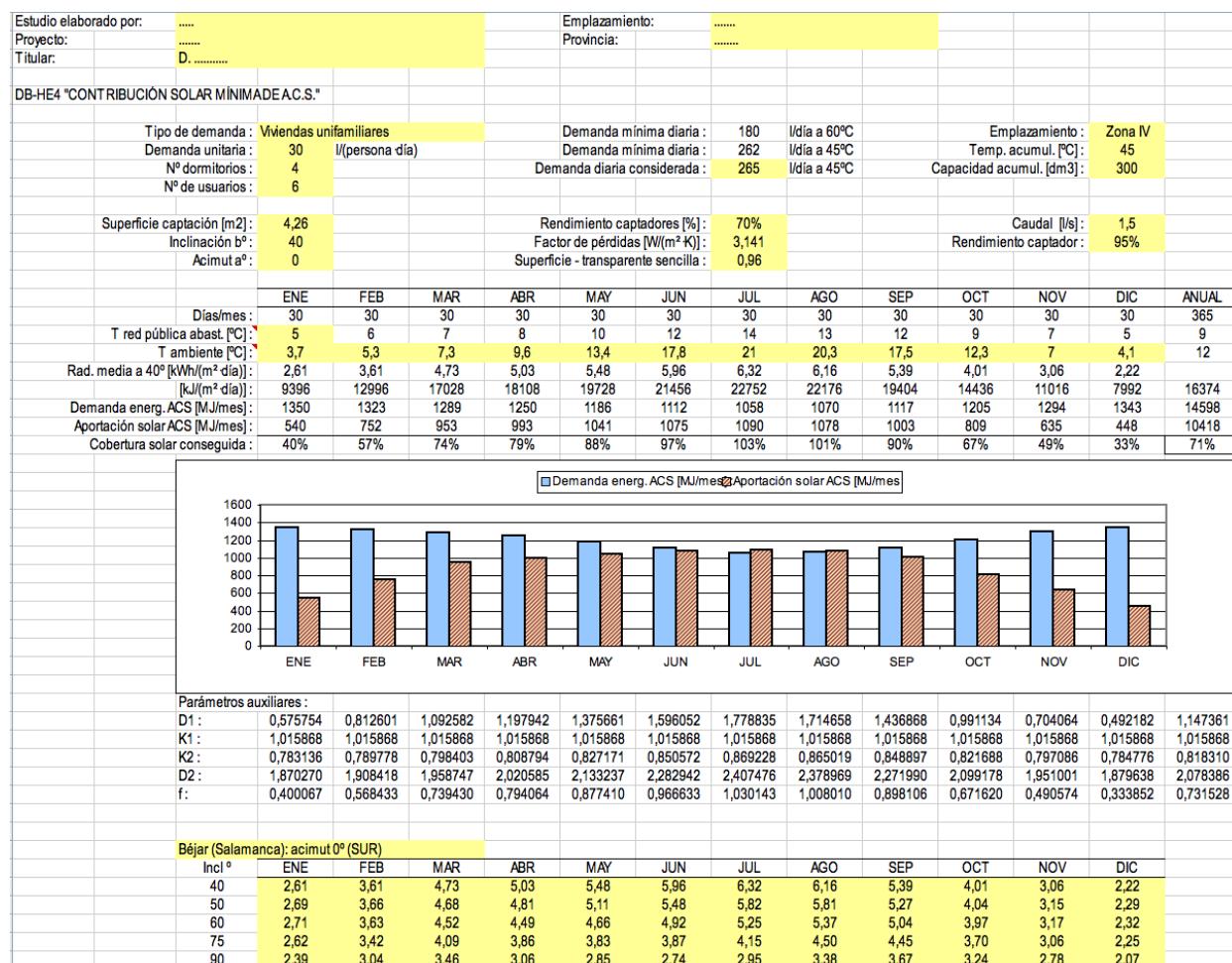
Q_a carga calorífica mensual de A.C.S
 f valor que proporciona para f la fórmula que incorpora D_1 y D_2

Mediante igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:

$$\text{Cobertura solar anual (\%)} = 100 \times \frac{\sum_{u=1}^{12} Q_u}{\sum_{a=1}^{12} Q_a}$$

Los resultados, representados en la gráfica y detallados en la hoja de cálculos que debería adjuntarse siempre, ofrecen una estimación que satisface plenamente los objetivos impuestos por la norma para nuestro ejemplo:

Contribución solar esperada >>60%



Sugerencia de hoja de cálculo que desarrolla el proceso descrito.

1.5 Condiciones de funcionamiento

PROTECCIÓN CONTRA HELADAS:

- 1 El fabricante, suministrador final, o el instalador del sistema deberá fijar la mínima temperatura permitida en el sistema. Todas las partes del sistema que estén expuestas al exterior deben ser capaces de soportar la temperatura especificada sin daños permanentes en el sistema.
- 2 Cualquier componente que vaya a ser instalado en el interior de un recinto donde la temperatura pueda caer por debajo de los 0 °C, deberá estar protegido contra las heladas.
- 3 La instalación estará protegida, con un producto químico no tóxico cuyo calor específico no será inferior a 3 kJ/kg K, en 5 °C por debajo de la mínima histórica registrada, que a falta de mejores datos se fija prudencialmente en -10°C, con objeto de no producir daños en el circuito primario de captadores por heladas. Adicionalmente este producto químico mantendrá todas sus propiedades físicas y químicas dentro de los intervalos mínimo y máximo de temperatura permitida por todos los componentes y materiales de la instalación.
- 4 Se podrá utilizar otro sistema de protección contra heladas que, alcanzando los mismo niveles de protección, sea aprobado por la Administración Competente.

PROTECCIÓN CONTRA SOBRECALENTAMIENTOS:

- 1 La instalación solar vendrá provista de un dispositivo de control automático que evite los sobrecaleamientos que puedan dañar los materiales o equipos y penalicen la calidad del suministro energético. Se evitarán de manera especial las pérdidas de fluido anticongelante, el relleno con una conexión directa a la red y el control del sobrecaleamiento mediante el gasto excesivo de agua de red.
- 2 El sistema vendrá provisto de un dispositivo auxiliar de drenaje como protección suplementaria y de seguridad ante sobrecaleamientos excesivos. La instalación deberá garantizar que el agua caliente o vapor del drenaje no supongan ningún peligro para los habitantes y no se produzcan daños en el sistema, ni en ningún otro material en el edificio o vivienda.
- 3 El agua de la red pública de abastecimiento no tiene una dureza elevada. Sin embargo, si se comprobara lo contrario, es decir, que las aguas presentasen una concentración en sales de calcio entre 100 y 200 mg/l, se realizarán las previsiones necesarias para que la temperatura de trabajo de cualquier punto del circuito de consumo nunca supere los 60 °C. En cualquier caso, se dispondrán los medios necesarios para facilitar la limpieza de los circuitos.

PROTECCIÓN CONTRA QUEMADURAS:

No está previsto que la temperatura de agua caliente en los puntos de consumo pueda exceder de 60 °C. Si finalmente se requiriese una temperatura superior, deberá instalarse un sistema manual de mezcla u otro sistema automático que limite la temperatura de suministro a 60 °C, aunque en la parte solar pueda alcanzar una temperatura superior para sufragar las pérdidas.

PROTECCIÓN CONTRA LA LEGIONELOSIS:

Esta instalación no presenta riesgo apreciable de infección por *legionella* por las siguientes razones:

- Dado su carácter cerrado y la ausencia de zonas permanentemente húmedas expuestas directamente al aire en zonas poco ventiladas, no es previsible la proliferación de dicha bacteria.
- El fluido calo-portador del circuito primario vendrá tratado con anticongelantes que impiden la vida bacteriana en gran medida.

- El agua en el circuito secundario proviene directamente de la red pública de abastecimiento, que es agua clorada y no adecuada para el desarrollo bacteriano.

El punto de cierto riesgo puede ser el de evacuación de los drenajes de purga en verano, en caso de excesivo calentamiento, pero la elevadísima temperatura de dichos fluidos (superior a 100°C), junto con el calor ambiente, eliminan prácticamente la posibilidad de proliferación bacteriana.

OTRAS PROTECCIONES:

Los circuitos vendrán diseñados para funcionar con una presión nominal de al menos 1'2 kg/cm².

Además deben someterse a una prueba de presión de 1,5 veces el valor de la anterior presión máxima de servicio. Se ensayarán el sistema con esta presión durante al menos una hora no produciéndose daños permanentes ni fugas en los componentes del sistema y en sus interconexiones. Pasado este tiempo, la presión hidráulica no deberá caer más de un 10 % del valor medio medido al principio del ensayo.

El circuito de consumo deberá soportar la máxima presión requerida por las regulaciones nacionales/europeas de agua potable para instalaciones de agua de consumo abiertas o cerradas.

El sistema de válvulas de la instalación asegura que no se producirán pérdidas energéticas relevantes debidas a flujos inversos no intencionados en ningún circuito hidráulico del sistema.

SISTEMA DE MEDIDA:

Además de los aparatos de medida de presión y temperatura que permitan la correcta operación del conjunto, es conveniente disponer de un sistema analógico de medida local y registro de datos que indique como mínimo las siguientes variables:

- a) temperatura de entrada agua fría de red;
- b) temperatura de salida acumulador solar;
- c) caudal de agua fría de red.

El tratamiento de esos datos proporcionará la energía solar térmica acumulada, un dato cuya evolución a lo largo de los años indicará con buena precisión las necesidades de mantenimiento de la instalación.

1.6 Condiciones de mantenimiento

Sin perjuicio de aquellas operaciones de mantenimiento derivadas de otras normas, para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones complementarios de actuación:

- a) plan de vigilancia;
- b) plan de mantenimiento preventivo.

VIGILANCIA:

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Tendrá el alcance descrito en la tabla 4.1 de la norma DB-HE4:

Tabla 4.1

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia (meses)	Descripción
CAPTADORES	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	Cristales	3	IV condensaciones en las horas centrales del día.
	Juntas	3	IV Agrietamientos y deformaciones.
	Absorbedor	3	IV Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV fugas.
CIRCUITO PRIMARIO	Estructura	3	IV degradación, indicios de corrosión.
	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV Ausencia de humedad y fugas.
	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín.
	Termómetro	Diaria	IV temperatura
	Tubería y aislamiento	6	IV ausencia de humedad y fugas.
CIRCUITO SECUNDARIO	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito.

⁽¹⁾ IV: inspección visual

MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El mantenimiento implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con superficie de captación inferior a 20 m² y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m².

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general, y para el que se aplicarán todas las medidas previstas por la norma DB-HE4. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas así como el mantenimiento correctivo.

PRECAUCIÓN ESPECIAL:

En el caso de que en algún mes del año la contribución solar real sobrepase el 110% de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100%, se adoptarán cualquiera de las siguientes medidas:

- a) dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario);
- b) tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacúa los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador);
- c) vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares debiendo incluirse este trabajo entre las labores del contrato de mantenimiento;
- d) desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.

Para instalaciones de uso "residencial vivienda" donde no sea posible la solución d) la norma recomienda la solución a). Adicionalmente, durante todo el año se vigilará la instalación con el objeto de prevenir los daños ocasionados por los posibles sobrecalentamientos.

En el caso de nuestro ejemplo no se sobrepasan los niveles máximos de contribución solar previstos por la norma, por lo que no se prevén medidas de precaución especial.

1.7 Ejercicio propuesto

Se propone realizar un estudio de las necesidades de una vivienda unifamiliar o de un edificio (bloque) de viviendas que contemple la instalación de un sistema de aporte de energía solar a la producción de agua caliente sanitaria (ACS). El Alumno puede suponer cuantos datos necesite, y en particular las características de la edificación, su emplazamiento, la demanda de calor y cuantos otros aspectos deban tenerse en cuenta, siempre que se salvaguarde la suficiente apariencia de realidad. Podría valer, desde luego, el estudio de un caso real.

Las condiciones del informe que resuma el estudio efectuado deben ser, al menos, las siguientes:

- En su portada debe figurar como titular de la vivienda estudiada el nombre del Alumno que lo presenta.
- Es imprescindible describir el alcance y las características de la instalación que se diseña, así como dar los datos gráficos necesarios para su comprensión.
- La instalación debe ser valorada económica para dar, como resultado final del estudio, una estimación debidamente justificada del plazo de amortización. Por ello deberán estudiarse materiales y equipos comercialmente disponibles de los que se disponga tarifa PVP.
- Los cálculos deberán justificarse completamente.
- El informe será del menor número de páginas posible.

2 PLANTAS TERMOSOLARES GENERADORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para esta sección no se proporcionan los apuntes del profesor. Tampoco es un contenido evaluable.