

Instalación Solar Térmica de Baja Temperatura

Cálculo de la SUPERFICIE COLECTORA (cobertura **ÓPTIMA**)

• Diversos métodos de cálculo pero ninguna asegura el óptimo
Cada método parte de criterios diferentes como base de selección de la superficie de colectores

- Método estimación aportación solar igual al consumo
- Método F-Chart

Instalación Solar Térmica de Baja Temperatura

• MÉTODO F-Chart

Método de estimación de la cobertura solar para determinar la aportación del calor total necesario para cubrir las cargas térmicas y de su rendimiento medio a largo plazo

Parámetro **f** : *fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar*

Secuencia en el cálculo:

1. Valoración de las **cargas caloríficas** para el calentamiento 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 **D1**
4. Cálculo del parámetro **D2**
5. Determinación de la gráfica **f**
6. Valoración de la **cobertura solar mensual**
7. Valoración de la **cobertura solar anual** y formación de tablas

Instalación Solar Térmica de Baja Temperatura

• MÉTODO F-Chart

- Cálculo de las cargas caloríficas (calor necesario mensual)

$$Q_a = C \cdot C_e \cdot N \cdot (T_{ac} - T_{red})$$

- Cálculo del parámetro D1

(Energía absorbida / Carga calorífica mensual)

$$D1 = S \cdot FR'(\alpha) \cdot I \cdot N / Q_a$$

$FR'(\alpha)$ = factor adimensional dependiente del captador

- Cálculo del parámetro D2

(Energía perdida / Carga calorífica mensual)

$$D2 = S \cdot FR'UL \cdot (100 - T_a) \cdot \Delta T \cdot K1 \cdot K2 / Q_a$$

$$FR'UL = FRUL \cdot (FR'/FR)$$

FRUL = pendiente de la curva característica

(FR'/FR) = factor de corrección del conjunto captador-intercambidor

Instalación Solar Térmica de Baja Temperatura

• MÉTODO F-Chart

K1 = Factor de corrección por almacenamiento. Siempre que la capacidad de acumulación sea diferente de 75 litros de agua por cada m2 de superficie de captador, D2 es corregido por K1,

$$K1 = [\text{Kg de acumulación} / (75 \cdot S)]^{-0,25}$$

$$37,5 < (\text{kg acumulación}) / (\text{m2 captador}) < 300$$

K2 = Factor de corrección, para A.C.S., que relaciona la temperatura mínima del A.C.S (T_{ac}), la del agua de la red (T_{red}) y la media mensual ambiente (T_a), dado por

$$K2 = 11,6 + 1,18 T_{ac} + 3,86 T_{red} - 2,32 T_a / (100 - T_a)$$

- Cálculo de la fracción **f**

$$f = 1,029 \cdot D1 - 0,0065 \cdot D2 - 0,245 \cdot D1^2 + 0,0018 \cdot D2^2 + 0,0215 \cdot D1^3$$

Con los límites de aplicación:

$$0 < D1 < 3 \quad \text{y} \quad 0 < D2 < 18$$

Instalación Solar Térmica de Baja Temperatura

• MÉTODO F-Chart

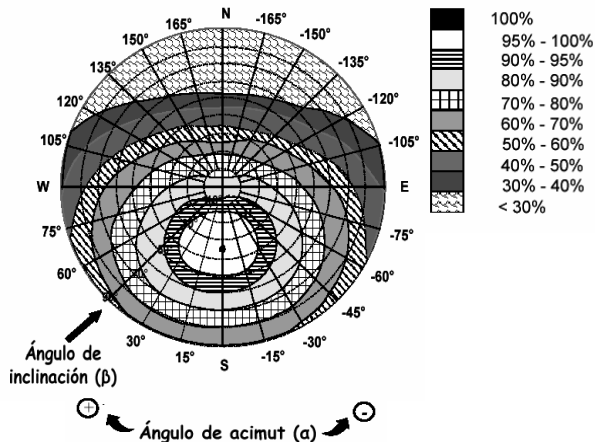
- Energía útil captada cada mes (Q_u) :
 $Q_u = f \cdot Q_a$
- Cálculo iterativo para cada mes
- Cálculo de la Cobertura Anual

• ALMACENAMIENTO

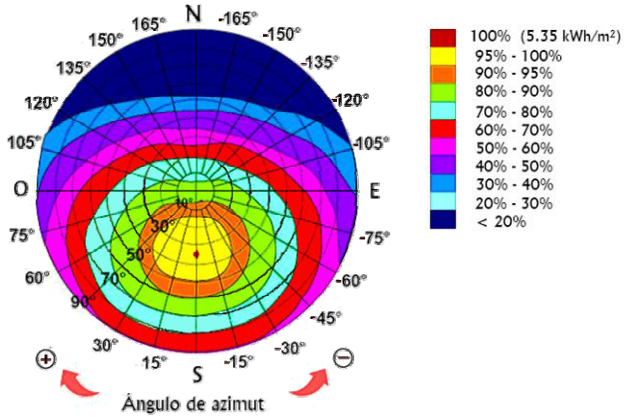
Características a considerar para diseñar y calcular

- 1.- Capacidad por unidad de volumen
- 2.- Rango de temperaturas en el que funciona
- 3.- Estratificación de temperaturas en el depósito de producirse este fenómeno
- 4.- Energía media asociada a la temperatura que ha de recibir y/o ceder el sistema

Pérdidas por orientación e inclinación



Pérdidas por orientación e inclinación



Pérdidas por sombras

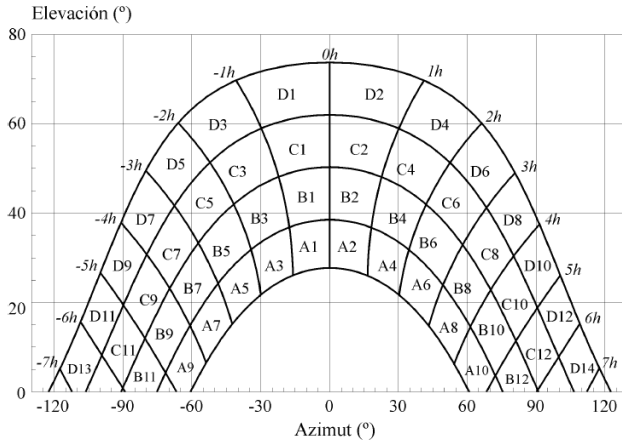


Tabla 5-A

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

Tabla 5-B

$\beta = 0^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,18
11	0,00	0,01	0,18	1,05
9	0,05	0,32	0,70	2,23
7	0,52	0,77	1,32	3,56
5	1,11	1,26	1,85	4,66
3	1,75	1,60	2,20	5,44
1	2,10	1,81	2,40	5,78
2	2,11	1,80	2,30	5,73
4	1,75	1,61	2,00	5,19
6	1,09	1,26	1,65	4,37
8	0,51	0,82	1,11	3,28
10	0,05	0,33	0,57	1,98
12	0,00	0,02	0,15	0,96
14	0,00	0,00	0,00	0,17

Tabla 5-C

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,15
11	0,00	0,01	0,02	0,15
9	0,23	0,50	0,37	0,10
7	1,66	1,06	0,93	0,78
5	2,76	1,62	1,43	1,68
3	3,83	2,00	1,77	2,36
1	4,36	2,23	1,98	2,69
2	4,40	2,23	1,91	2,66
4	3,82	2,01	1,62	2,26
6	2,68	1,62	1,30	1,58
8	1,62	1,09	0,79	0,74
10	0,19	0,49	0,32	0,10
12	0,00	0,02	0,02	0,13
14	0,00	0,00	0,00	0,13

Tabla 5-D

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 30^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,02	0,10	0,19	0,56
7	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,24	1,60	1,92	4,14
1	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,93	2,08	2,23	5,02
6	2,14	1,82	2,00	4,46
8	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla 5-E

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = 30^\circ$	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33
11	0,06	0,01	0,15	0,51
9	0,56	0,06	0,14	0,43
7	1,80	0,04	0,07	0,31
5	3,06	0,55	0,22	0,11
3	4,14	1,16	0,87	0,67
1	4,87	1,73	1,49	1,86
2	5,20	2,15	1,88	2,79
4	5,02	2,34	2,02	3,29
6	4,46	2,28	2,05	3,36
8	3,54	1,92	1,71	2,98
10	2,26	1,19	1,19	2,12
12	1,17	0,12	0,53	1,22
14	0,22	0,00	0,00	0,24

Tabla 5-F

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 60^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,14
11	0,00	0,00	0,08	0,16
9	0,02	0,04	0,04	0,02
7	0,02	0,13	0,31	1,02
5	0,64	0,68	0,97	2,39
3	1,55	1,24	1,59	3,70
1	2,35	1,74	2,12	4,73
2	2,85	2,05	2,38	5,40
4	2,86	2,14	2,37	5,53
6	2,24	2,00	2,27	5,25
8	1,51	1,61	1,81	4,49
10	0,23	0,94	1,20	3,18
12	0,00	0,09	0,52	1,96
14	0,00	0,00	0,00	0,55

Tabla 5-G

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = 60^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,43
11	0,00	0,01	0,27	0,78
9	0,09	0,21	0,33	0,76
7	0,21	0,18	0,27	0,70
5	0,10	0,11	0,21	0,52
3	0,45	0,03	0,05	0,25
1	1,73	0,80	0,62	0,55
2	2,91	1,56	1,42	2,26
4	3,59	2,13	1,97	3,60
6	3,35	2,43	2,37	4,45
8	2,67	2,35	2,28	4,65
10	0,47	1,64	1,82	3,95
12	0,00	0,19	0,97	2,93
14	0,00	0,00	0,00	1,00

Tabla 5-H

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = -30^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,34	1,28	1,73	3,79
5	2,17	1,79	2,21	4,70
3	2,90	2,05	2,43	5,20
1	3,12	2,13	2,47	5,20
2	2,88	1,96	2,19	4,77
4	2,22	1,60	1,73	3,91
6	1,27	1,11	1,25	2,84
8	0,52	0,57	0,65	1,64
10	0,02	0,10	0,15	0,50
12	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,00	0,00	0,00	0,08

Tabla 5-I

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = -30^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24
11	0,00	0,05	0,60	1,28
9	0,43	1,17	1,38	2,30
7	2,42	1,82	1,98	3,15
5	3,43	2,24	2,24	3,51
3	4,12	2,29	2,18	3,38
1	4,05	2,11	1,93	2,77
2	3,45	1,71	1,41	1,81
4	2,43	1,14	0,79	0,64
6	1,24	0,54	0,20	0,11
8	0,40	0,03	0,06	0,31
10	0,01	0,06	0,12	0,39
12	0,00	0,01	0,13	0,45
14	0,00	0,00	0,00	0,27

Tabla 5-J

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = -60^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,56
11	0,00	0,04	0,60	2,09
9	0,27	0,91	1,42	3,49
7	1,51	1,51	2,10	4,76
5	2,25	1,95	2,48	5,48
3	2,80	2,08	2,56	5,68
1	2,78	2,01	2,43	5,34
2	2,32	1,70	2,00	4,59
4	1,52	1,22	1,42	3,46
6	0,62	0,67	0,85	2,20
8	0,02	0,14	0,26	0,92
10	0,02	0,04	0,03	0,02
12	0,00	0,01	0,07	0,14
14	0,00	0,00	0,00	0,12

Tabla 5-K

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = -60^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,36	2,37	2,56	4,61
3	3,49	2,06	2,10	3,67
1	2,81	1,52	1,44	2,22
2	1,69	0,78	0,58	0,53
4	0,44	0,03	0,05	0,24
6	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,36

Método de cálculo recomendado

Para el dimensionado de las instalaciones de energía solar térmica se sugiere el método de las curvas f (F-Chart), que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo periodo 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 calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos.

Su aplicación sistemática consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calentamiento 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 periodo de tiempo.

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

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

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

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento 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 .
4. Cálculo del parámetro D_2 .
5. Determinación de la gráfica f .
6. Valoración de la cobertura solar mensual.
7. 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 siguiente expresión:

$$Q_s = C_e C N (t_{se} - t_r)$$

donde:

Q_s = Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (J/mes)

C_e = Calor específico. Para agua: 4187 J/(kg·°C)

C = Consumo diario de A.C.S. (l/día)

t_{se} = Temperatura del agua caliente de acumulación (°C)

t_r = Temperatura del agua de red (°C)

N = Número de días del mes

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

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

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

$$E_a = S_c F_i'(\tau\alpha) R_1 N$$

donde:

$$S_c = \text{Superficie del captador (m}^2\text{)}$$

$$R_1 = \text{Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kJ/m}^2\text{)}$$

$$N = \text{Número de días del mes}$$

$F_i'(\tau\alpha)$ = Factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión:

$$F_i'(\tau\alpha) = F_i(\tau\alpha)_n [(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n] (F_i'/F_i)$$

donde:

$$F_i(\tau\alpha)_n = \text{Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.}$$

$$(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n = \text{Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).}$$

$$F_i'/F_i = \text{Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.}$$

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:

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

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

$$E_p = S_c F_i' U_L (100 - t_a) \Delta t K_1 K_2$$

donde:

$$S_c = \text{Superficie del captador (m}^2\text{)}$$

$$F_i' U_L = F_i U_L (F_i'/F_i)$$

donde:

$$F_i U_L = \text{Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador)}$$

$$t_a = \text{Temperatura media mensual del ambiente}$$

$$\Delta t = \text{Periodo de tiempo considerado en segundos (s)}$$

K_1 = Factor de corrección por almacenamiento que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K_1 = [\text{kg acumulación} / (75 S_c)]^{-0,25}$$

$$37,5 < (\text{kg acumulación}) / (\text{m}^2 \text{ captador}) < 300$$

K_2 = Factor de corrección, para A.C.S., que relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = 11,6 + 1,18 t_{se} + 3,86 t_i - 2,32 t_a / (100 - t_a)$$

donde:

t_{se} = Temperatura mínima del A.C.S.

t_i = Temperatura del agua de red

t_a = Temperatura media mensual del ambiente

Una vez obtenido 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.

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:

$$\text{Cobertura solar anual} = \sum_{a=1}^{a=12} Q_u \text{ necesaria} / \sum_{a=1}^{a=12} Q_a \text{ necesaria}$$