
Cálculos de la instalación

**unidad
didáctica5**

1. El dimensionado adecuado

El dimensionado adecuado de una instalación solar térmica para cubrir las demandas de un edificio de uso colectivo, como puede ser un edificio de viviendas, hoteles, polideportivos, etc., es complicado: requiere conocimientos técnicos elevados y herramientas de diseño informático.

El dimensionado de una instalación se inicia con el cálculo del consumo energético; después se analiza la radiación solar disponible, se aplican los rendimientos oportunos y se toman decisiones en función de criterios de diseño, como la fracción solar, el coste, la autonomía, etc. Evidentemente, mientras mayor sea el tamaño de la instalación, más complicado será el proceso. Los pasos que aquí vamos a ver se corresponden con el diseño de instalaciones para la obtención de ACS, que son las que recoge el CTE.

2. Cálculo del consumo energético

Para establecer las necesidades de agua caliente sanitaria, es necesario conocer los litros de agua consumidos al día por los usuarios del edificio, lo que puede hacerse de dos formas:

- Midiendo lo que se consume.
- Haciendo previsión del consumo a partir de cálculos estadísticos.

En instalaciones existentes, si se dispone de datos de consumo de años anteriores, pueden usarse esos datos como referencia, previa justificación de los mismos. Si se trata de instalaciones nuevas, pero similares a otras ya existentes, pueden usarse los datos de éstas últimas también, previa justificación.

La segunda opción es la más habitual, ya que en pocos edificios se contabiliza el gasto de ACS.

Las cargas de consumo se suelen referir al consumo diario medio mensual, a una temperatura de 45 °C.

Existen tablas en las que se pueden consultar los valores unitarios de consumo para diversas actividades, como la siguiente:

Criterio de consumo	Litros/día
Viviendas unifamiliares	40 por persona
Viviendas multifamiliares	30 por persona
Hospitales y clínicas	80 por cama
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	80 por cama
Escuelas	5 por alumno
Fábricas y talleres	20 por persona
Oficinas	5 por persona
Campings	60 por parcela
Hoteles (según categorías)	80 a 100 por cama
Hotel / Hostal	60 por cama
Hostal / Pensión	50 por cama
Cuarteles	30 por persona
Gimnasios	30 a 40 por usuario
Lavanderías	5 a 7 por kilo de ropa
Restaurantes	8 a 15 por comida
Cafeterías	2 por almuerzo
Vestuarios/Duchas colectivas	20 por servicio

A una temperatura distinta, también lo son las cantidades de agua para consumo que aparecen en las tablas. Si vemos una tabla en la que se den los litros/día de ACS por ejemplo, a 60 °C, como la que aparece en el CTE, vemos que las cantidades necesarias son menores, previendo que en el punto de consumo, la temperatura será rebajada.

Para las instalaciones colectivas en edificios de viviendas, el consumo de agua caliente sanitaria a efectos del dimensionamiento de la instalación solar se calculará de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V = f \cdot N \cdot n \cdot v$$

donde

V = volumen total de ACS consumido en el edificio.

f = factor de simultaneidad.

N = número de viviendas del edificio.

n = número de personas que ocupa cada vivienda.

v = volumen diario de ACS que cada usuario consume.

El factor de simultaneidad f es un coeficiente de reducción que sirve para tener en cuenta el hecho de que en los edificios multifamiliares, a medida que aumenta el número de viviendas, también lo hace el número de las que permanecen inhabitadas y el de las que tienen bajo nivel de ocupación. Para f se toman los siguientes valores:

Nº de viviendas	f
$n \leq 10$	1
$10 < n \leq 25$	$1,2 - (0,02 n)$
$n \geq 25$	0,7

El número de personas por vivienda, deberá establecerse teniendo en cuenta los siguientes valores mínimos:

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

$N \cdot n \cdot v$ es la suma de los consumos V_i de todas las viviendas del edificio, calculadas según la fórmula indicada anteriormente.

Una vez que se ha calculado el volumen de agua que van a consumir los usuarios, hay que calcular la energía que hay que aportar para conseguir que la temperatura del agua que circula por la red de suministro, alcance la de servicio. Para ello, primero debe conocerse el *salto térmico*, que es la diferencia entre la temperatura que tendrá el agua en el punto de consumo (p. ej., 45 °C) y la temperatura del agua que circula por la red de suministro, que varía según el lugar y el mes del año. En la siguiente tabla vemos cuáles son las temperaturas medias para cada mes del año. Cuando se realicen los cálculos, debe indicarse la fuente de procedencia y proceso de obtención de este dato.

Temperatura media del agua de la red general en °C												
Provincia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4
BADAJOS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4
CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8
CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
CÓRDOBA	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4
GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6

Energía solar térmica
Cálculos de la instalación

Temperatura media del agua de la red general en °C												
Provincia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7
LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4
LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
STA. C. TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4
SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4
TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4
TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5

Conocidos el volumen diario de agua a calentar y el salto térmico, el valor de la energía media diaria se calculará aplicando la expresión:

$$Q = V \cdot \delta \cdot C_p \cdot \Delta t$$

donde

Q = cantidad de calor necesaria, en kcal.

V = volumen diario consumido, en l.

δ = densidad del líquido:

– Si es agua, como valor de referencia se toma 1 kg/l.

– Si es agua con anticongelante, \simeq 1,06 kg/l.

C_p = calor específico del fluido, que para el agua es 1kcal/kg °C.

Δt = incremento de temperatura, en °C.

Nota

El calor específico C_p es la cantidad de calor que hay que suministrar a un gramo de una sustancia para que eleve su temperatura 1 °C.

Hay que realizar el cálculo de las necesidades energéticas mes a mes, para todos los meses de ocupación, y teniendo en cuenta si esa ocupación va a ser total. Para ello, se emplea una tabla en la que para cada mes se indican:

- El porcentaje de ocupación.
- El consumo mensual de ACS.
- La temperatura media de agua.
- El salto térmico.
- El aporte energético necesario.

Energía solar térmica

Cálculos de la instalación

	1	2	3	4	5
	Ocupación (%)	Consumo mensual (m ³)	Temperatura de red (°C)	Salto térmico (°C)	Necesidad energética* (MJ)
ENERO					
FEBRERO					
MARZO					
ABRIL					
MAYO					
JUNIO					
JULIO					
AGOSTO					
SEPTIEMBRE					
OCTUBRE					
NOVIEMBRE					
DICIEMBRE					

* (5) = (2) x (4) x Cp

Una vez calculados los consumos energéticos en cada mes se representa gráficamente en una curva o diagrama de consumo.

3. Cálculo de la superficie colectora

El cálculo de la superficie colectora total se realiza de manera que la aportación solar en el período en que la instalación está activa sea igual al consumo. Para obtener el número de colectores debe coincidir el consumo anual con la aportación solar.

3.1. Cálculo de la energía solar disponible

La energía disponible en un determinado lugar puede determinarse a partir de:

- Medidas de la radiación realizadas en el propio lugar de la instalación.
- Medidas realizadas para instalaciones próximas ya realizadas.
- Valores estadísticos basados en medidas de estaciones meteorológicas (tablas de radiación solar diaria).

Estas tablas suelen contener dos valores que hay que tener en cuenta a la hora de calcular el valor de la radiación incidente:

- La inclinación de los captadores, ya que en las tablas aparecen los datos de la radiación para superficies inclinadas de 0 a 90°, con intervalos de 5°.
- El mes del año: en las tablas aparecen los datos de la radiación global media para cada uno de los meses del año, por tanto, la mejor opción es hacer los cálculos de las necesidades de radiación para cada uno de los meses y después escoger la superficie más adecuada a efectos técnicos y económicos.

Hay que tener en cuenta que la radiación solar que dan estas tablas está realizada con instrumentos muy precisos, pero que la instalación solar no aprovecha el 100% de la radiación, por lo que los valores de la radiación real serán menores.

Para escoger la inclinación óptima, se siguen los siguientes criterios en función de la estación del año de máxima utilización:

- Instalaciones de uso estival:

$$\text{Inclinación de los captadores} = \text{latitud del lugar} - 10^\circ$$

- Instalaciones de uso invernal:

$$\text{Inclinación de los captadores} = \text{latitud del lugar} + 10^\circ$$

Puede que los captadores no se instalen según su inclinación óptima, porque esto no sea seguro, o porque causen un impacto estético negativo.

Se realiza una estimación de la energía que se va a recibir en un panel en función de la localización geográfica, de la inclinación del panel y del mes en el que se calcule. Sólo se trata de una estimación puesto que se trabaja con tablas estadísticas del lugar.

Para poder realizar este cálculo primeramente se consulta en la tabla la radiación estimada para el lugar en el mes indicado. Se obtiene la energía aprovechable de un día medio, a partir de la irradiación horizontal media en un día de cada mes, **H**, en MJ/m².

Este valor debe multiplicarse por un factor de corrección que tiene en cuenta si la instalación está situada:

- En una zona montañosa o de atmósfera muy limpia: $H \cdot 1,05$.
- En una zona de contaminación normal: $H \cdot 1$.
- El aire de la zona está muy contaminado: $H \cdot 0,95$.

Después se multiplicará por **K** que es un factor de corrección que estará en función de la inclinación del panel y la latitud del lugar.

Con lo que nos quedará la energía E, de valor:

$$E = 0,94 \text{ KH}$$

0,94 es un coeficiente que corrige el efecto de la variación del ángulo de incidencia de la luz solar sobre el captador a lo largo del día, y que también tiene en cuenta el envejecimiento de la cubierta y la suciedad que la cubre.

Además si la orientación se desvía x° del sur:

$$E' = E (1,14 - 0,0085x).$$

La intensidad media útil es igual a:

$$I = \frac{E}{t}$$

donde

I = intensidad media útil, en W/m^2 .

E = energía incidente corregida, en J.

t = número de horas de sol útiles, pero en s.

3.2. Cálculo del rendimiento de un colector

De la energía solar que llega a un determinado lugar, el equipo solo aprovecha una parte de la radiación; el resto se pierde. El rendimiento del captador representa la energía que es aprovechable, del total que llega. El rendimiento del captador no es un valor fijo, ya que depende de factores que varían durante su funcionamiento, como le ocurre a la temperatura ambiente y la intensidad de la radiación solar.

Cada colector funciona con un rendimiento dado por una tabla o ecuación suministrada por los fabricantes, pero la ecuación teórica del rendimiento es:

$$\eta = b - \frac{m(t_m - t_a)}{I}$$

donde

η = rendimiento, en tanto por uno.

b = ganancia del colector. Valor suministrado por el fabricante del captador, adimensional.

m = pérdidas térmicas. Valor suministrado por el fabricante del captador, en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.

t_m = temperatura media del captador, en $^\circ C$. Puede elegirse entre:

- Escoger un valor constante para todo el año, generalmente el mismo valor que se ha fijado para el agua de consumo. Esta opción facilita el cálculo pero introduce un error en el rendimiento invernal.
- Tomar valores distintos en invierno y en verano, más bajos para la temperatura de invierno que para la de verano. Esta opción es más adecuada, ya que permite un cálculo más exacto del rendimiento.

t_a = temperatura ambiente media durante las horas de sol.

I = intensidad de la radiación media durante las horas de sol, en W/m^2 . Es el valor que se ha calculado en el punto anterior.

b y **m** son constantes, y el resto es variable a lo largo del día y en las distintas épocas.

Nota

Para obtener el valor del rendimiento en tanto por ciento, hay que multiplicar η por 100.

Variando las características del captador escogido o de las condiciones de funcionamiento, pueden obtenerse valores del rendimiento diferentes.

3.3. Cálculo de la superficie de captación

Multiplicando E por el η y dividiendo por 100, se obtienen el aporte energético por cada m^2 de captador (E_{captador}).

$$E_{\text{captador}} = E \cdot \eta$$

Pero solo una parte de la energía absorbida por el captador resulta aprovechada en forma de ACS; el resto se pierde a través de las paredes del acumulador, las tuberías, etc. Es muy difícil evaluar el total de las pérdidas que se producen en cada parte de la instalación, ya que dependen de muchos factores, pero empíricamente se ha comprobado que éstas tienen un valor comprendido entre un 10 y un 15% de la energía obtenida en el captador, pudiendo ser menores (8-10%) en instalaciones donde el consumo se concentra en las horas del día, o en aplicaciones estacionales no invernales, o incrementarse hasta el 20%, en instalaciones en las que el consumo no se realiza en las horas de producción, viviendas de fin de semana, etc.

Esto último nos obliga a aplicar otro factor de corrección con el que tener en cuenta las pérdidas del acumulador. Aplicando este factor de corrección, se obtiene la energía aprovechada por el sistema.

$$E_{\text{sistema}} = E_{\text{captador}} \cdot C_{\text{pérdidas}}$$

Como valor de $C_{\text{pérdidas}}$ se toma, por lo general un valor comprendido entre 0,85 y 0,90.

La superficie de captación que cubriría la demanda mensual prevista se obtiene aplicando el siguiente cociente:

$$S_{\text{captadora}} = \frac{Q}{E_{\text{sistema}}}$$

donde el valor de Q debe darse en unidades de energía (normalmente MJ).

Dividiendo el dato de la superficie obtenida ($S_{\text{captadora}}$) entre la que tiene el captador elegido, que es un dato proporcionado por el fabricante en sus catálogos, se obtiene, por redondeo, el número de captadores necesarios.

3.4. Fracción solar

A partir del nº de captadores que se van a emplear, puede hallarse la superficie real de captación. Una vez que se conoce cual va a ser la superficie captadora que se va a instalar, multiplicándola por la energía neta que produce cada captador por m², se obtiene la energía que en realidad se obtiene en los captadores, la energía aportada por el sistema.

A partir de estos datos se puede calcular la proporción del consumo que previsiblemente quedará cubierta por el sistema solar, denominada fracción solar:

$$F_{\text{solar}} = \frac{E_s}{Q} \cdot 100$$

donde

F_{solar} = fracción solar.

E_s = energía que realmente aporta el sistema.

Q = energía que se consume en el sistema.

El resultado de esta operación es porcentual. Es un dato orientativo, y sirve para conocer que la instalación cumplirá con los requisitos de aporte solar mínimo que establecen las Ordenanzas municipales, las cuales, como norma fijan el valor en un 60%.

Como la energía captada depende del mes considerado, habrá meses en los que la demanda de energía no se cubra y otros en los que la instalación resulte sobredimensionada. Por razones prácticas y de economía, normalmente las instalaciones no se dimensionan para cubrir el 100% de las necesidades los doce meses del año; la solución más acertada es la que cubre las necesidades de ACS la mayoría de los meses del año.

El resto hasta completar el 100% de la energía necesaria, debería ser suministrado por un sistema de apoyo.

El valor de la energía que debe proporcionar el sistema de apoyo es:

$$E_{\text{aux}} = Q - E_s$$

4. Cálculo del sistema de acumulación

A partir de la superficie captadora que va a tener la instalación, puede elegirse el volumen óptimo de acumulación. Según el CTE, para una aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

donde

V = volumen del depósito de acumulación solar, en l.

A = suma de las áreas de los captadores, en m².

Aunque estos márgenes pueden cambiar, si se consultan por ejemplo, diferentes Ordenanzas.

5. Cálculo del intercambiador

En instalaciones con intercambiador externo, la memoria de diseño incluirá el tipo, potencia y efectividad o superficie de intercambio de calor.

La efectividad del intercambiador se define como:

$$\mu = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}}$$

donde

μ = rendimiento del intercambiador.

T_{fs} = temperatura de salida del intercambiador del circuito secundario.

T_{fe} = temperatura de entrada al intercambiador del circuito secundario.

T_{ce} = temperatura de entrada al circuito primario.

La característica principal del dimensionado de los intercambiadores externos es su potencia térmica, que se determinará aplicando la expresión:

$$P \geq 500 \cdot A$$

donde

P = potencia, en W.

A = superficie de los captadores, en m².

Si el intercambiador está incorporado en el acumulador, la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

6. Cálculo del circuito hidráulico

6.1. Bomba

Las bombas se caracterizan por las condiciones de funcionamiento representadas, para un determinado fluido de trabajo, por el caudal volumétrico y la altura de impulsión o manométrica.

La potencia que debe suministrar la bomba, viene dada por:

$$P = Q \cdot \Delta p$$

donde

P = potencia necesaria.

Q = caudal, en l/s.

Δp = diferencia de presión entre dos puntos de una tubería (pérdida de carga).

Lo que quiere decir que la potencia de la bomba está en función de la pérdida de carga y del caudal. Con estas dos variables se selecciona la bomba adecuada a partir de la curva característica representada en unos ejes de coordenadas, con la que los fabricantes muestran su comportamiento.

6.2. Tuberías

El diámetro de las tuberías depende del caudal de circulación. Para calcularlo se usa la expresión:

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

donde

D = diámetro, en cm.

C = caudal, en m³/s.

N = constante del material, para el cobre vale 2,2.

El caudal al que trabaja la instalación viene dado por el fabricante en las especificaciones técnicas de los captadores, teniendo en cuenta cuál es el calor específico del fluido que circula.

El diámetro calculado aplicando la fórmula no coincidirá, normalmente, con un valor normalizado. Habrá que escoger uno próximo que sí lo sea y comprobar que para el valor elegido:

- La pérdida de carga nunca sea superior a 40 mm.c.a./m lineal de tubería.
- La velocidad del fluido será inferior a 2 m/s cuando la tubería discurra por locales habitados y hasta 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.

Si no es así, probar con otros diámetros diferentes.

El conjunto de la instalación tampoco debe superar un valor máximo de pérdidas de carga en m.c.a.

6.3. Vaso de expansión

Para el cálculo del volumen de un vaso de expansión cerrado, se aplica la siguiente fórmula:

$$V = V_T (0,2 + 0,01h)$$

donde

V = capacidad del vaso de expansión.

V_T = capacidad total del circuito primario.

h = diferencia de altura entre el punto más alto del colector solar y del vaso de expansión.

V_T , capacidad total del circuito primario, es la suma de:

- Volumen contenido en el panel solar.
- Volumen contenido en la totalidad de las tuberías del circuito primario.
- Volumen contenido en el intercambiador (interno o externo).

7. Software de cálculo

En el mercado existe una amplia variedad de programas informáticos que permiten realizar el dimensionado de un sistema solar térmico de una forma mucho más rápida y segura que de la manera tradicional. Son adecuados, sobre todo, para el cálculo de instalaciones de ACS y para la climatización de piscinas; y cuando se trata de instalaciones medianas o grandes, en las que el tratamiento de datos es complejo, se hacen imprescindibles.

La forma de operar de estos programas es similar a la que se seguiría en un cálculo manual paso a paso: a partir de unos datos iniciales fijos (como pueden ser los correspondientes al lugar de ubicación de la instalación), y otros que dependen de la instalación (como pueden ser los datos correspondientes a determinados componentes de la misma, tales como colectores), se hace un cálculo inicial (el programa lo hace), y posteriormente se aproxima al diseño óptimo, aplicando los resultados obtenidos en cada nuevo cálculo.

Como ejemplo de los datos que pueden ser necesarios introducir en uno de estos programas informáticos, tenemos:

- Ubicación.
- Latitud.
- Inclinación.
- Desviación.
- Orientación.
- Objetos que causen sombras.
- Tipo de vivienda.

- Número de usuarios.
- Nivel de ocupación.
- Demanda de ACS.
- Temperaturas del agua caliente y fría...

Aunque el programa, partiendo de alguno de ellos, puede llegar a mostrar otros (por ejemplo, para un determinado lugar, pueden dar la latitud, temperaturas ambientales máximas y mínimas, índice de radiación para cada mes del año, etc.).

Con el software informático es posible simular el comportamiento energético de los componentes de la instalación, y así elegir la configuración más adecuada.

Hay programas para todos: desde los más complejos, que resultan más caros y además necesitan ordenadores más potentes, a otros más sencillos, económicos y didácticos, pero totalmente válidos para el cálculo de sistemas solares térmicos a baja temperatura.