aven

GUÍAS PRÁCTICAS DE ENERGÍAS RENOVABLES

energía solar térmica

GENERALITAT VALENCIANA
CONSELLERIA D´INFRAESTRUCTURES I TRANSPORT

energía solar térmica

GUÍAS PRÁCTICAS DE ENERGÍAS RENOVABLES

TÍTULO DE LA PUBLICACIÓN

"Guía práctica de Energía Solar Térmica"

La presente Guía práctica de Energía Solar Térmica ha sido editada por la Agencia Valenciana de la Energía y forma parte de una serie de publicaciones dirigidas a diferentes sectores ....

AVEN
Agencia Valenciana de la Energía
Calle Colón, 1, 4ª planta
46004 Valencia

Teléfono: 963 427 900
Fax: 963 427 901

e-mail: info_aven@gva.es
web: http://www.aven.es

Diseño gráfico: javieribáñez
Fotomecánica e impresión: LAIMPRENTA CG
Deposito Legal: V-1051-2008

Índice general

1. Introducción a la Energía **9**

1.1. La energía 9

1.2. Consumo energético mundial actual 11

1.3. Impacto ambiental de la energía 13

2. La radiación solar **19**

2.1. La constante solar 19

2.2. Componentes de la radiación solar 19

2.3. El movimiento solar 21

2.4. Aprovechamiento de la energía solar 23

3. Elementos característicos de una instalación **29**

3.1. Sistema de captación de calor 29
3.1.1 Captador solar plano 29
3.1.2 Captadores sin cubierta 31
3.1.3. Captadores solares de vacío 32
3.1.4. Rendimiento de los captadores solares 33
3.1.5 Fluido caloportador 36
3.1.6 Temperatura de estancamiento 37
3.1.7 Integración arquitectónica 38

3.2. Sistema de acumulación 39

3.3. Sistema intercambio de calor 41
3.3.1 Tipos de intercambiadores de calor 41
3.3.2 Equipos compactos 42

3.4. Circuito hidráulico 43
3.4.1 Red de tuberías de la instalación 44
3.4.2 Bomba de circulación 47
3.4.3 El vaso de expansión 48
3.4.4 Sistema de purga de aire 49
3.4.5 Sistemas de llenado y de vaciado 49
3.4.6 Válvulas 49

3.5. Sistema de energía convencional auxiliar 50

3.6. Equipos de control 51

3.7. Sistema de medida 53

4. Instalaciones **57**

4.1. Clasificación de las instalaciones 57

4.2. Acoplamiento del sistema de apoyo 59
4.2.1 Acoplamiento en serie 59
4.2.2 Acoplamiento en paralelo 60

4.2.3 Acoplamiento directo 60
4.2.4 Circuito de recirculación 61
4.2.5 Tratamiento térmico para la prevención de la legionelosis 62

4.3. Esquemas de funcionamiento 62

4.4. Instalaciones solares en la edificación 64
4.4.1 Instalaciones con consumo centralizado 64
4.4.2 Instalaciones con consumo individual 66

4.5. Disposición de los colectores 68

4.6. Conexionado de los acumuladores 71

4.7. Control de la temperatura de los colectores 72

5. Diseño y dimensionado 77

5.1. Orientación e inclinación de los captadores 77

5.2. Cálculo de la demanda 79
5.2.1 Consumo de agua caliente 79
5.2.2 Temperatura de utilización 81
5.2.3 Temperatura de entrada del agua fría 81

5.3. Diseño de la instalación 83
5.3.1 Conceptos básicos 83
5.3.2 Aporte de energía de la instalación solar 84
5.3.3 Dimensionado básico. Método f-chart 85
5.3.4 Método orientativo a partir del rendimiento medio 88
5.3.5 Dimensionado del volumen de acumulación 89
5.3.6 Dimensionado del intercambiador 89
5.3.7 Vaso de expansión 90
5.3.8 Bomba de circulación 91

5.4. Las sombras en una instalación solar 92

6. Aplicaciones de la energía solar térmica 99

6.1. Producción de agua caliente sanitaria 99

6.2. Calentamiento de agua de piscinas 99
6.2.1 Piscinas al aire libre 100
6.2.2 Piscinas cubiertas 100

6.3. Calefacción 101

6.4. Climatización solar 102

6.5. Energía solar para procesos industriales 103

7. Situación socioeconómica de la energía solar térmica 109

7.1. Contexto nacional e internacional 109

7.2. La energía solar térmica en la Comunidad Valenciana 111

7.3. Previsión futura de la energía solar térmica en la Comunidad Valenciana 113

8. Casos prácticos **119**
8.1. Instalación solar para agua caliente sanitaria en bloque de apartamentos en Denia 119
8.2. Instalación solar combinada para ACS y calefacción en residencia en Oliva 119
8.3. Producción de agua caliente sanitaria en un hotel en Gandia 120
8.4. Energía solar térmica en la piscina municipal de Algemesí 121
8.5. Instalación para acondicionar una piscina individual descubierta en Calpe 122
8.6. Producción de agua caliente sanitaria en industria cárnica en Orihuela 122
9. Bibliografía **127**
10. Normativa Aplicable **131**
11. Anexos **135**
Anexo I. Radiación solar en la Comunidad Valenciana 135
Anexo II. Demandas de ACS de referencia según el CTE 138
Anexo III. Exigencias del CTE para la contribución solar mínima 139
Anexo IV. Método de cálculo f-chart 141
Anexo V. Temperaturas ambiente medias 145
Anexo VI. Tablas para el cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras 147
Anexo VII. Pérdidas de carga en tuberías 149
Anexo VII. Unidades y factores de conversión 152
Anexo IX. Nomenclatura 153
Anexo X. GLOSARIO 155

1. Introducción

1 Introducción a la Energía

1.1 La energía

Se define energía como la capacidad que tiene un sistema para realizar un trabajo. Las unidades que sirven para medir la energía son las mismas que nos permiten cuantificar el trabajo realizado por un sistema. La unidad del Sistema Internacional que mide la energía es el julio (J).

$$1\ J = 1\ W \times 1\ s$$

Otras unidades de medida de la energía son:

- Caloría: Cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua un grado de 14,5 a 15,5 ^{o}C, a presión constante.
- Frigoría: Es una caloría negativa. Es la energía que hay que sustraer de un gramo de agua para enfriarlo un grado centígrado.
- Termia: Equivalente a un millón de calorías.
- Kilovatio hora: Energía desarrollada por una unidad de potencia (kW) durante una hora.
- Tonelada equivalente de petróleo: Cantidad de energía similar a la que produce la combustión de una tonelada de petróleo. Su valor exacto es de 10.000 termias. Otras equivalencias: 1 tep = 10^{7} kcal= 11.628 kWh

La energía se puede presentar de formas muy diferentes: energía eléctrica, energía cinética, energía potencial, energía en forma de calor, energía en forma de luz, etc. Todas las actividades que se realicen necesitan aporte de energía. Por ello, la energía es un factor clave, y de su utilización y el impacto de este uso sobre el medio ambiente, depende el progreso de nuestra sociedad y la supervivencia de las actuales formas de vida de nuestro planeta.

Una de las características más importantes de la energía es que ni se crea ni se destruye, sólo se transforma. Este principio, también conocido como la ley de la conservación de la energía o primera ley de la termodinámica, justifica las diferentes formas o estados que puede adoptar la energía en un mismo sistema. Un ejemplo claro sería la energía potencial almacenada en un embalse debido a la altura de la lámina de agua con respecto la turbina, la cual se transforma en energía cinética al pasar el agua por el sistema de conducción (reduciendo su altura pero aumentando su velocidad). Posteriormente la energía cinética de este caudal de agua induce un movimiento rotatorio a la turbina que hará que esta energía se transforme en energía eléctrica.

FUENTES DE ENERGÍA

Las fuentes de energía de la tierra se pueden dividir en dos grandes grupos: las energías renovables y las no renovables.

Las fuentes de energía no renovables son las que a escala humana no son capaces de crearse al mismo ritmo en que se consumen. En cambio, las fuentes de energía renovable son inagotables a escala humana y tienen, principalmente, un origen solar.

Las principales fuentes de energía primaria son:

Energías no renovables	
Energía fósil	Son el carbón, el gas natural y los productos petrolíferos. Son productos formados a partir de la descomposición parcial de grandes masas de seres vivos que vivieron hace millones de años.
Energía nuclear	Consiste en energía de fisión y energía de fusión. La fisión o desintegración de ciertos núcleos pesados libera gran cantidad de energía en forma de calor que, mediante turbinas de vapor producen electricidad. La fusión consiste en aprovechar la energía liberada en el proceso de unión de dos átomos para producir un tercero de menor masa.
Energías renovables	
Energía solar	La captación directa de la radiación solar se puede aprovechar para producir calor (solar térmica) o para producir electricidad (solar fotovoltaica).
Energía eólica	La energía del Sol calienta de forma desigual la superficie de la tierra provocando movimientos de la masa atmosférica en forma de energía cinética que es aprovechada por los aerogeneradores para producir energía eléctrica.
Energía hidráulica	La energía acumulada en las masas de agua es transformada en electricidad a través de unas turbinas situadas en una cota inferior.
Energía de la biomasa	Se basa en la utilización de la energía química contenida en la materia orgánica y algunos residuos, utilizables como combustibles para la obtención de calor o la producción de electricidad. Su combustión no altera el balance de CO_2 en la atmósfera, ya que ésta absorbe la misma cantidad de CO_2 para su crecimiento que luego libera durante su combustión.
Energía geotérmica	Es la energía derivada del calor almacenado en el interior de la tierra.
Energía del mar	Es la energía de las mareas, la energía de las olas y la obtenida de los gradientes térmicos a distintas profundidades de los océanos.

Tabla 1: Fuentes de energía primaria.

1.2 Consumo energético mundial actual

El consumo de energía de una población está totalmente ligado a su desarrollo económico. Se estima que una tercera parte de los 6.000 millones de habitantes del planeta no tiene acceso a las fuentes de energía comerciales y, aproximadamente, una cuarta parte de la población mundial (EUA, Japón y UE) consume tres cuartas partes del total de la energía que se comercializa en el mundo.

En el año 2020 se espera que la población mundial haya aumentado en más de 2.000 millones de personas y se espera que el consumo mundial de energía se incremente un 50%. Las cifras se detallan en la Tabla 2 y Tabla 3.

Zona	2004	2005	Variación %	% sobre total (2005)
Norte América	2.800	2.801	0,3	26,6
América Latina	481	501	4,5	4,8
Europa y antigua URSS	2.961	2.984	1,1	28,3
Oriente Medio	492	510	4,0	4,8
África	312	317	1,8	3,0
Ásia Pacífico	3.246	3.424	5,8	32,5

Tabla 2 : Consumo mundial de energía primaria en Mtep.
Fuente: Statistical Review of World Energy. BP, 2006

Fuente de energía	Total (Mtep)	%
Petróleo	3.837	36,4%
Gas natural	2.475	23,5%
Carbón	2.930	27,8%
Nuclear	627	6,0%
Hidráulica	669	6,3%
Total	10.537	100,0%

Tabla 3: Energía primaria comercializada en el mundo en el año 2005.
Fuente: Statistical Review of World Energy. BP, 2006

SITUACIÓN ENERGÉTICA DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

El elevado consumo de gas natural y una mayor diversificación energética hacen que la estructura energética de la Comunidad Valenciana sea más parecida, en porcentaje, a la del conjunto de la Unión Europea que a la de España tal y como se ve en la Tabla 4.

Consumo de Energía Primaria (Mtep)	UE (2005)		España (2005)		CV (2005)	
	Total	%	Total	%	Total	%
Petróleo	700,4	40,8%	71,8	49,2%	5,6	45,6%
Gas natural	424,1	24,7%	29,1	20,0%	3,4	27,6%
Carbón	299,0	17,4%	21,2	14,5%	0,0	0,0%
Nuclear	220,9	12,9%	15,0	10,3%	1,8	15,0%
Hidráulica	70,8	4,1%	8,9	6,1%	0,3	2,3%
Total	1.715,2		145,9		12,2 (*)	

(*) Valores anteriores más 1,17 Mtep de saldo eléctrico.

Tabla 4 : Consumo de energía primaria. Fuente: DGPEM y Statistical Review of World Energy. BP, 2006

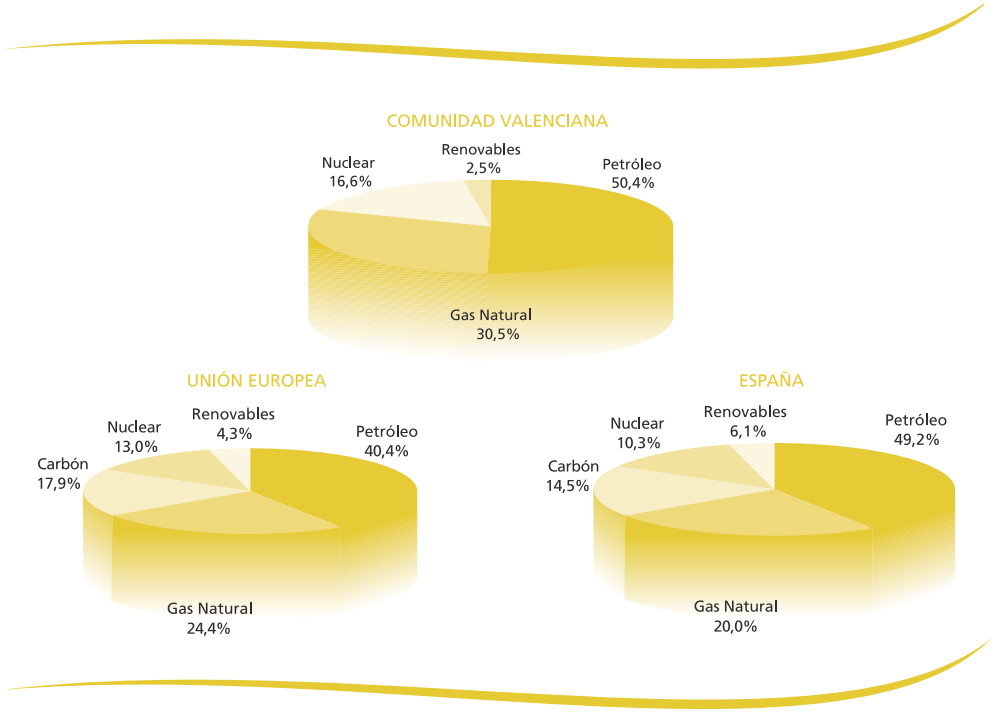


Figura 1: Valores porcentuales de consumo de energía primaria en Europa (2005), España (2005) y la Comunidad Valenciana (2005).

Durante el año 2005, la participación de las energías renovables en la Comunidad Valenciana fue del 2,3% del total de la energía primaria, mientras que en España representó un 6,1 % y un 4,1% en la Unión Europea. Se observa que la participación de las energías renovables en la estructura energética sigue siendo todavía muy baja en los tres niveles geográficos, en relación con los objetivos planteados para el 2010.

Por fuentes energéticas, la Comunidad Valenciana presenta una elevada demanda de gas natural, una moderada demanda de productos petrolíferos y una prácticamente nula demanda de carbón, a diferencia de los niveles de demanda europeo y nacional.

Asimismo, se observa un déficit de energía eléctrica en nuestra Comunidad a diferencia de los valores a nivel nacional y europeo.

1.3 Impacto ambiental de la energía

Los procesos de captación, transformación y uso de la energía provocan importantes impactos sobre el medio ambiente, además del propio efecto de agotamiento progresivo de los recursos no renovables. Así, los daños más significativos suelen estar asociados a las emisiones atmosféricas contaminantes, a la contaminación de los medios terrestre y acuático y a la generación de residuos.

Entre los impactos más importantes derivados del uso de la energía y principalmente de la combustión de energías fósiles, se cuentan la lluvia ácida, el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono estratosférico y la contribución al aumento del ozono troposférico.

Figura 2. Instalación solar térmica en una vivienda aislada.

Los procesos de transformación de la energía y en concreto, la generación de energía eléctrica a partir de fuentes fósiles emiten a la atmósfera diferentes compuestos contaminantes, SO_2, CO_2 (principal gas de efecto invernadero) y metales pesados e hidrocarburos, responsables de la acidificación del suelo y las aguas naturales y del smog fotoquímico. El 90% de la emisiones de CO_2 a la atmósfera tienen un origen energético.

La respuesta de la comunidad internacional a estos serios problemas ambientales se ha traducido en dos instrumentos jurídicos, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, adoptada en 1992 y que entró en vigor en 1994, y el Protocolo de Kioto. El objetivo de ambos instrumentos es luchar contra el cambio climático mediante una acción internacional de reducción de las emisiones de determinados gases de efecto invernadero

responsables del calentamiento del planeta. Así, los compromisos derivados del Protocolo de Kioto pretenden reducir las emisiones de CO_2 un 5% a nivel mundial, un 8% para la UE y para España permitir un incremento máximo del 15%, límite que en la actualidad se ha sobrepasado ampliamente, situándose por encima del 40% respecto de 1990.

Las tecnologías a partir de recursos renovables juegan un papel destacado en la consecución de las políticas de freno del cambio climático, puesto que suponen una alternativa ventajosa desde el punto de vista ambiental frente a las opciones convencionales.

2. La radiación solar

2 La radiación solar

La energía del Sol llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas que se propagan en todas direcciones. Las ondas electromagnéticas se caracterizan por la frecuencia [f] con que la onda se repite completamente por unidad de tiempo. La frecuencia se mide en hercios y cuanto mayor sea ésta o mayor sea el número de oscilaciones, mayor es la cantidad de energía transportada por la onda.

La longitud de onda λ es el cociente entre la velocidad de la luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s) y la frecuencia. De este modo, cuanto más pequeña sea la longitud de onda más grande será la frecuencia y más energía transportará.

2.1 La constante solar

La constante solar es la intensidad del flujo de radiación solar que incide sobre una unidad de superficie en un plano tangente a la esfera imaginaria formada por la capa externa de la atmósfera.

El valor de la constante solar es de 1.367 W/m^2. No es un valor fijo ya que sufre ligeras variaciones a lo largo del año (aproximadamente ± 7 W/m^2) debido a que la órbita terrestre no es circular sino elíptica.

2.2 Componentes de la radiación solar

No toda la radiación solar que incide sobre la atmósfera llega hasta la superficie de nuestro planeta. Los rayos solares al entrar en contacto y atravesar el obstáculo que supone la atmósfera sufren una serie de fenómenos físicos entre los que destacamos:

- Reflexión. Una parte de la radiación se refleja en la parte superior de las nubes (como en un espejo).

- Difusión. Los rayos solares chocan con las moléculas gaseosas y partículas de polvo difundiéndose en todas direcciones, de forma que una parte vuelve al espacio.

- Absorción. Una parte de la radiación es absorbida por las moléculas presentes en la atmósfera. Por ejemplo, a unos 25 km de altura el ozono predomina sobre otras moléculas absorbiendo principalmente las radiaciones de entre 0,2 a 0,32 mm que se corresponde con los rayos ultravioletas.

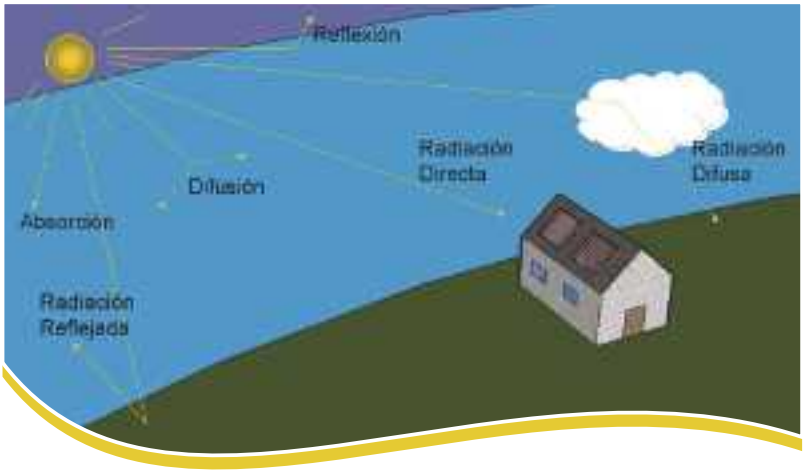


Figura 3. Interacción de la radiación solar con la atmósfera

Debido a los anteriores fenómenos físicos, un objeto situado en la superficie terrestre recibirá los siguientes tipos de radiación:

- Radiación directa. Aquellos rayos que alcanzan la superficie terrestre sin ser desviados. Esta radiación en días nublados es muy pequeña y provoca sombras.

- Radiación Difusa. La que llega a la superficie terrestre después de haber cambiado varias veces de dirección al atravesar la atmósfera. A mayor nubosidad más importante es la radiación difusa.

- Radiación Reflejada. La parte de radiación reflejada por el terreno y otros elementos de la superficie terrestre y que puede ser reabsorbida por otros objetos. Al cociente entre la radiación reflejada y la incidente en la superficie terrestre se le llama albedo.

A la suma de los tres tipos de radiación recibida se le llama radiación total.

En días despejados la radiación directa será mucho mayor que la difusa. La radiación difusa puede llegar en un porcentaje de un 10-15% en días claros y hasta un 95% en días nublados. A lo largo del año la radiación difusa supone aproximadamente un tercio de la radiación total que llega la superficie terrestre.

Para definir la energía solar que llega a una superficie se usan las siguientes magnitudes:

- Irradiancia (I): Potencia solar incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se expresa en W/m^2 .

- Irradiación (E): Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se expresa en MJ/m^2 o kWh/m^2.

La palabra radiación se utiliza para el concepto genérico.

La cantidad de radiación directa que una superficie recibe depende del ángulo formado entre ésta y los rayos solares incidentes. Si la superficie está situada perpendicularmente a

los rayos solares la radiación directa será máxima, disminuyendo a medida que aumenta el ángulo que forman los rayos con la normal al plano en que inciden.

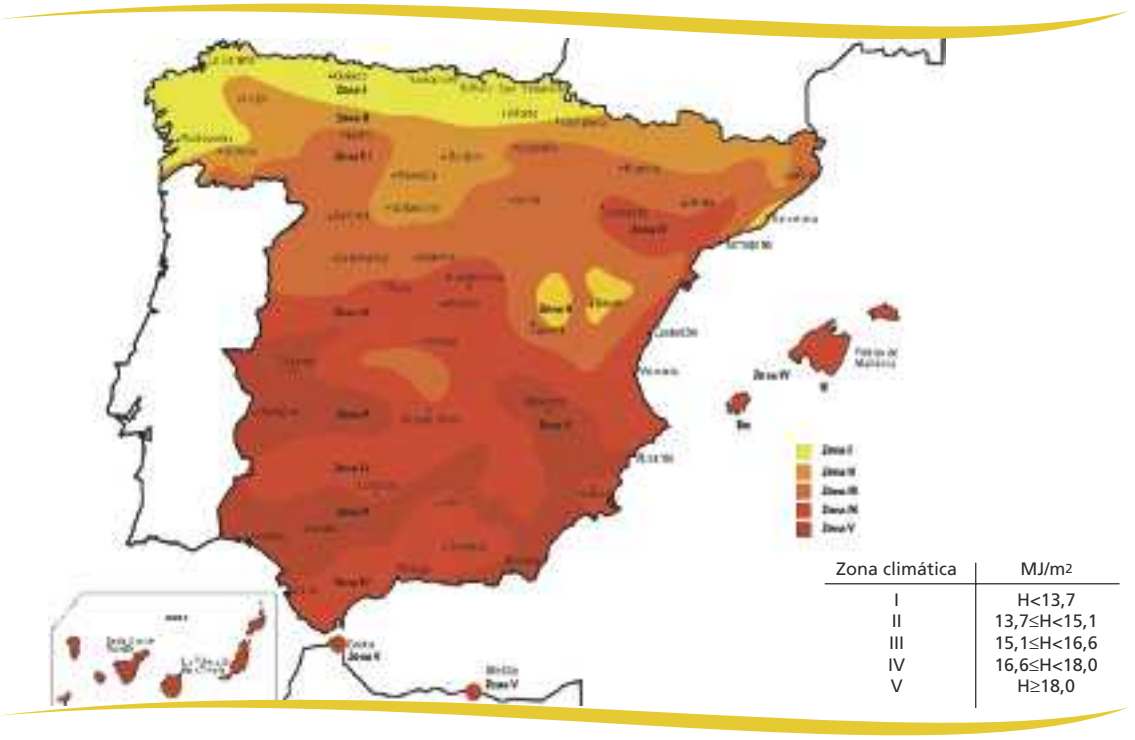


Figura 4. Mapa de radiación solar en España

En el anexo I se muestran las tablas de radiación para la Comunidad Valenciana.

2.3 El movimiento solar

El objetivo de cualquier instalación solar es el de captar la máxima radiación solar. En este sentido la inclinación y orientación del colector solar, así como las posibles sombras que se puedan proyectar sobre los paneles son factores clave que determinarán el correcto funcionamiento de las instalaciones.

Cada día la Tierra efectúa una rotación completa sobre sí misma dando lugar a los días, aunque habitualmente se dice que el Sol sale por el Este y se oculta por el Oeste como si fuera el Sol el que realiza el movimiento. A efectos prácticos continuaremos en este capítulo con esta nomenclatura tradicional.

Para definir correctamente la posición del Sol en cada instante con respecto a un punto situado en la Tierra se utilizan dos coordenadas, el azimut solar [γ] y la altura solar [h].

El azimut es el ángulo de giro del Sol con respecto al sur geográfico medido sobre el plano horizontal. Un valor de 0º del azimut se dará cuando el Sol esté exactamente sobre el Sur geográfico y coincidirá con el mediodía solar.

La altura solar es el ángulo que forman los rayos solares sobre la horizontal. Este valor varía a lo largo del día y del año. El Sol sale desde la horizontal para llegar a su máxima altura

al mediodía solar y luego ir disminuyendo hasta que se pone por el Oeste. Además, cada día del año el Sol alcanza una altura diferente consiguiendo la altura máxima durante el solsticio de verano (21 de junio en el hemisferio Norte) y la altura mínima durante el solsticio de invierno (21 de diciembre en el hemisferio Norte).

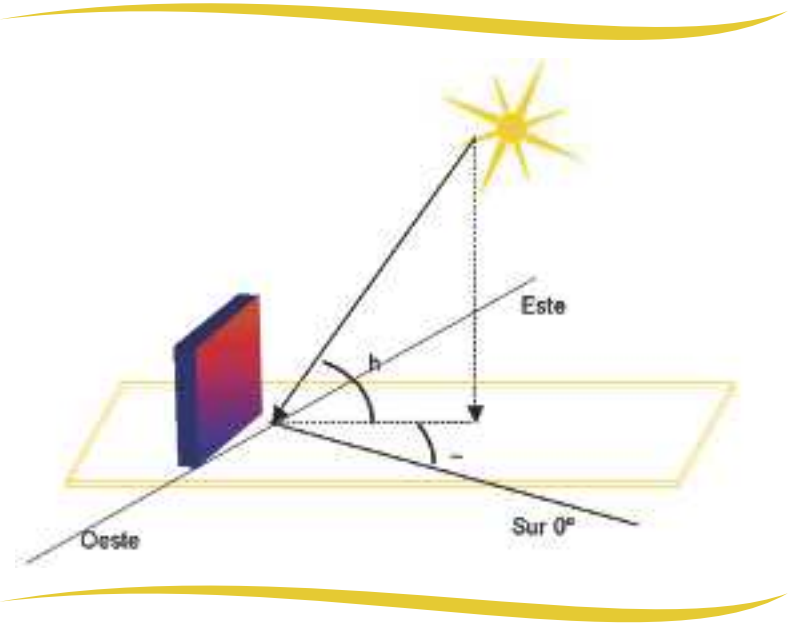


Figura 5. Azimut y altura solar

El azimut y la altura solar, así como las horas de sol diarias y la radiación solar, varían con la posición que se ocupe en la Tierra.

Para determinar la posición de un objeto en la Tierra recurrimos a los siguientes parámetros:

- Latitud [β]. Ángulo que forma la vertical de un punto de la superficie de la tierra y el plano del ecuador. Se considera positiva en el hemisferio norte y negativa en el hemisferio sur.

- Longitud [l]. Arco del ecuador comprendido entre el meridiano de un lugar y un meridiano de referencia, el meridiano de Greenwich.

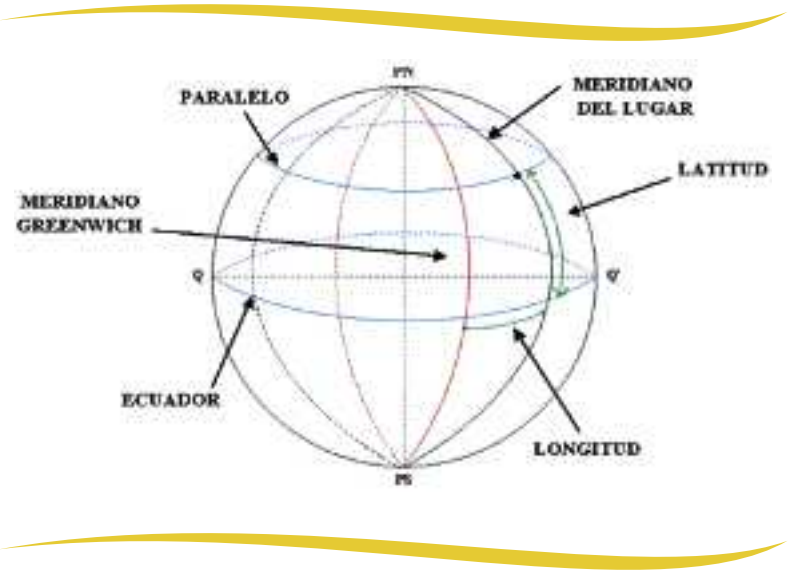


Figura 6. Longitud y latitud

En la siguiente tabla se muestra los valores de latitud y longitud de las capitales de provincia de la Comunidad Valenciana:

Ciudad	Latitud (º)	Longitud (º)
Valencia	39,5	0,4 W
Alicante	38,4	0,5 W
Castellón	40,0	0

2.4 Aprovechamiento de la energía solar

En general se puede distinguir dos sistemas de aprovechamiento de la energía solar: sistemas de aprovechamiento térmicos y sistemas solares fotovoltaicos. Los sistemas de energía solar térmicos son los que aprovechan la radiación solar como un sistema de calentamiento. Dentro de los sistemas térmicos podemos distinguir los sistemas pasivos y los activos.

En el primer caso se aprovecha la radiación solar para la climatización de viviendas mediante el diseño arquitectónico. Las viviendas bioclimáticas serían un ejemplo claro de aprovechamiento pasivo de la energía solar.

Los sistemas térmicos activos de energía solar son los sistemas que son capaces de captar la energía de la radiación solar mediante un captador o colector por el que circula un fluido y transferirla a un sistema para su aprovechamiento posterior.

Los sistemas de aprovechamiento eléctrico o fotovoltaico en cambio captan la radiación solar para la producción de energía eléctrica.

Existe gran confusión entre los diferentes sistemas de aprovechamiento de la energía solar aunque las diferencias son notables. Hay que destacar que las tecnologías son muy divergentes, los sistemas térmicos activos se emplean para obtener un fluido caliente con unos rendimientos altos de entre un 30 y un 70%, mientras que los sistemas solares fotovoltaicos son utilizados para la producción de electricidad y en estos sistemas, a diferencia de los térmicos, existe una conversión energética con un rendimiento entorno al 12-14%.

Figura 7. Instalación solar fotovoltaica.

3. Elementos característicos de una instalación

3 Elementos característicos de una instalación

Las instalaciones solares térmicas son aquellas instalaciones que aprovechan la energía proveniente del sol para calentar un fluido que será el encargado de transmitir este calor al resto de la instalación hasta el consumo final.

En las instalaciones solares térmicas se identifican los siguientes subsistemas:

- Subsistema de captación de calor, encargado de recibir la energía del sol y transmitirla al fluido caloportador.
- Subsistema de acumulación e intercambio de calor, donde se transmite y almacena el calor proporcionado por el sistema de captación.
- Subsistema de apoyo, encargado de mantener el aporte de calor durante los periodos donde no se produce suficiente calor solar.
- Elementos auxiliares, para el correcto funcionamiento del circuito de captación y distribución térmica.

3.1 Sistema de captación de calor

Es la parte de la instalación encargada de captar la energía proveniente del sol y transmitirla al fluido caloportador. Es el componente más importante de una instalación de energía solar térmica y es el elemento diferenciador con respecto a una instalación convencional de producción de calor. Del correcto dimensionado del sistema de captación va a depender el rendimiento general de la instalación y el buen funcionamiento de la misma.

Existen diferentes tipos de captadores solares, con rendimientos y costes diferentes, por lo que hay que buscar el tipo más apropiado para cada aplicación.

De forma general se distinguen tres tipos de captadores solares: planos, sin cubierta y de vacío. A continuación se detallan las características de cada uno de ellos y sus distintas aplicaciones. El tipo más utilizado, tanto para la producción de ACS como para usos industriales, es el colector solar plano, del cual existen muchas variantes.

3.1.1 Captador solar plano

Es un dispositivo diseñado para absorber la energía solar y trasmitirla a un fluido portador, normalmente líquido, que circula por su interior.

El más utilizado es el captador solar plano con cubierta de vidrio y su uso más generalizado es la producción de agua caliente. En general, salvo que se indique lo contrario, las referencias al captador que se hagan en esta guía, se entenderá que son de aplicación al captador solar plano con cubierta/s de vidrio, para calentamiento de líquidos, aunque gran parte de lo que aquí se expone sería también válido para otros fluidos, como por ejemplo el aire, o incluso otros tipos de captador como los de tubos de vacío.

Figura 8. Conjunto de captadores solares planos

El sistema de captación solar está basado en el principio del efecto invernadero que consiste en que la radiación solar, de longitud de onda corta, atraviesa la cubierta transparente e incide sobre el absorbedor aumentando su temperatura. De esta forma el absorbedor al calentarse emite radiación de onda larga (IR) la cual queda retenida por la cubierta que es opaca a este tipo de radiación. De esta forma se produce una acumulación de calor que se transfiere al fluido caloportador.

En un captador solar plano se distinguen los siguientes elementos:

- Cubierta transparente. Es la encargada de retener el calor y de aislar el captador de las condiciones ambientales exteriores. El material que conforma la cubierta tiene que cumplir las siguientes características:

  - Buena transmisión solar en la banda de radiación de onda corta y opacidad a la radiación térmica de onda larga para evitar las pérdidas de calor.

  - Estabilidad en el tiempo.

  - Coeficiente bajo de conductividad térmica para disminuir las pérdidas térmicas.

  - Baja adherencia a la suciedad.

  - Coeficiente bajo de dilatación en el rango de temperaturas de trabajo del colector.

  Es por ello que se emplea vidrio en la cubierta en vez de plástico. El vidrio además debe de ser templado para que adquiera mayor resistencia.

- Absorbedor. Es el elemento donde se produce la conversión de la radiación solar en energía térmica. Está formado por una superficie plana adherida a un circuito hidráulico a través del cual circula el fluido caloportador.

  Las características ópticas del absorbedor vienen definidas tanto por el tipo, forma y materiales del absorbedor como por el tratamiento exterior. Este tipo de tratamiento puede ser negro o selectivo. En el tratamiento negro se utilizan pinturas negras que buscan aumentar la absorbancia del absorbedor y con el tratamiento selectivo, basado

en procesos de pulverización, se persigue disminuir la emisividad del absorbedor en longitudes de onda larga.

- Carcasa. Es el elemento, junto con la cubierta, que constituyen el contenedor del resto de los componentes del captador. En el diseño de la carcasa se debe tener en cuenta la resistencia mecánica necesaria para las condiciones de uso y de montaje.

- Aislamiento. Tiene la misión de reducir las pérdidas térmicas del equipo. Está formado normalmente por espumas sintéticas (poliuretano, fibra de vidrio...). El aislamiento térmico se coloca en las caras laterales y en el fondo de la carcasa disminuyendo así las pérdidas de calor por conducción.

En la siguiente figura se representan los distintos componentes de un captador solar plano de parrilla.

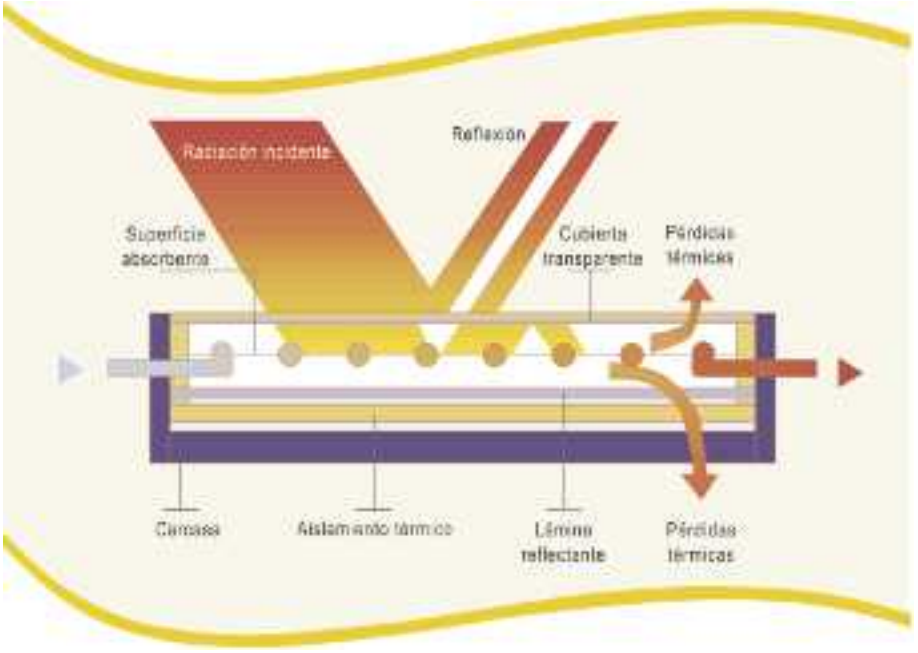


Figura 9. Esquema de los componentes de un captador solar plano.

3.1.2 Captadores sin cubierta

La característica principal de estos sistemas es que su único componente es el absorbedor, lo que repercute en su bajo precio y facilidad de montaje respecto a otros captadores. Como consecuencia de no estar aislado el absorbedor, estos sistemas presentan un rendimiento global inferior a los captadores solares planos, por lo que necesitan de una mayor superficie disponible.

Estos sistemas proporcionan saltos térmicos pequeños por lo que su uso más extendido es el calentamiento de piscinas al aire libre.

Están fabricados normalmente en polipropileno, siendo más moldeables a la hora de adaptarlos a las cubiertas.

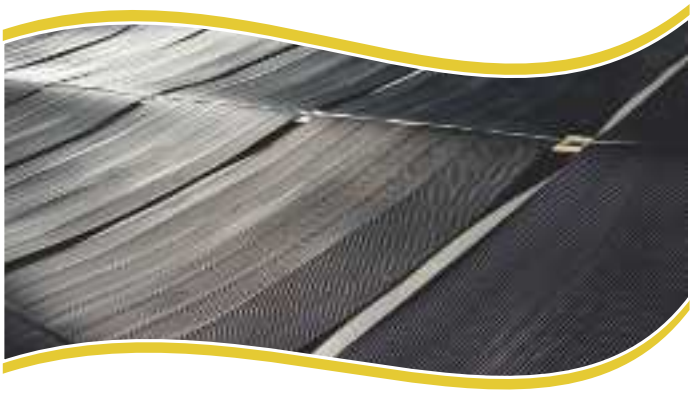


Figura 10. Captadores solares sin cubierta

3.1.3. Captadores solares de vacío

Estos sistemas están formados por una serie de tubos de vidrio en los que cada uno de ellos dispone de un elemento absorbedor en su interior. Entre el tubo y el absorbedor se ha realizado el vacío de aire. Este vacío provoca que las pérdidas por convección se puedan considerar nulas cuando la presión en el interior de los captadores es inferior a 10^{-2} bar. En cambio, las pérdidas por radiación no disminuyen ya que éstas no dependen de un medio físico para su propagación. Los tubos de vacío se conectan entre sí normalmente en paralelo.

Figura 11. Captador solar de vacío

Los captadores de vacío presentan un coeficiente óptico normalmente comprendido entre 0,6 y 0,8 y un coeficiente de pérdidas generalmente inferior a 1,5 $W/m^2.K$. Este coeficiente de pérdidas es inferior al de los captadores planos, por lo que estos captadores presentan rendimientos superiores a los de los captadores planos para temperaturas de trabajo elevadas. Es por ello que son los más utilizados cuando se necesitan importantes saltos térmicos, caso de la calefacción, aplicaciones industriales y para la generación de frío por absorción.

Otra ventaja respecto a los captadores solares planos es que pueden ser instalados en posición horizontal sobre una cubierta plana, debido a que pueden orientarse las láminas que constituyen el elemento absorbedor, lo que conlleva menor espacio y menores elementos de anclaje. Su principal desventaja radica en su mayor coste económico con relación a los captadores solares planos.

3.1.4. Rendimiento de los captadores solares

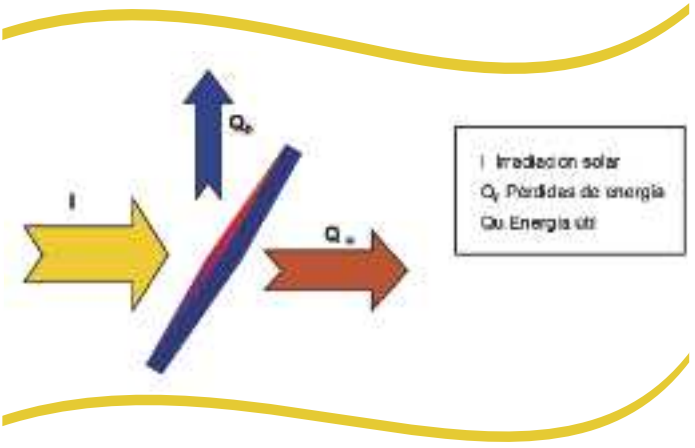


Figura 12. Balance energético de un captador solar.

Se define la eficiencia instantánea de un captador como la relación entre la potencia útil extraída del absorbedor y la radiación solar interceptada por el captador.

$$\eta = Q_u / (A \cdot I)$$

Donde A (m^2) es la superficie del captador e I (W/m^2) es la irradiancia solar.

En un instante dado, la energía útil extraída del captador es la diferencia entre la energía absorbida por la placa absorbente y la energía perdida. Puede expresarse de la siguiente forma:

$$Q_u = F_r \cdot A \cdot [I \cdot (\tau\,\alpha) - U_L \cdot (T_e - T_a)]$$

F_r : Factor de eficacia de intercambio entre absorbedor y el fluido portador

τ: Transmitancia solar de la cubierta transparente

α: Absorbancia solar de la placa absorbedora

U_L : Coeficiente global de pérdidas del captador ($W/(m^2 \cdot ºC)$)

T_e : Temperatura de entrada del fluido al captador (ºC)

T_a : Temperatura ambiente (ºC)

Combinando las dos ecuaciones anteriores se puede expresar el rendimiento instantáneo del captador de la siguiente forma:

$$\eta = F_r \cdot (\tau\,\alpha) - F_r \cdot U_L \cdot (T_e - T_a) / I$$

en la que F_r, $(\tau\,\alpha)$ y U_L son parámetros característicos de cada captador que pueden considerarse constantes en el rango de temperaturas de trabajo normal del captador. Al parámetro $(T_e - T_a)/I$ se le denomina incremento de temperatura reducida y suele representarse por T_{in}^*.

La ecuación anterior puede expresarse de la siguiente forma:

$$\eta = \eta_o - a_1 \cdot T_{in}^*$$

donde

η_o : es el coeficiente óptico y representa la eficiencia máxima del captador,

a_1 : es el coeficiente de pérdidas. Cuanto mayor sea, más rápidamente disminuirá la eficiencia del colector al aumentar la temperatura del fluido de entrada al captador.

La figura 13 muestra gráficamente la eficiencia instantánea de tres captadores diferentes cuyas expresiones analíticas figuran en la misma y que se extraen empíricamente a partir de los ensayos en laboratorio. Lógicamente, para que sean comparables los resultados, los ensayos deben ser homologables o responder a la misma norma.

En España ha venido utilizándose la INTA 61.0001, aprobada por Orden de 28 de julio de 1980, para la homologación de paneles solares, mientras que en la UE se usa la EN 12975-1 "Requisitos generales" y la EN 12975-2 "Métodos de ensayo" para captadores planos, cuyas versiones oficiales en español se incorporan a la normativa española como UNE-EN 12975-1 y UNE-EN 12975-2 respectivamente. De forma similar, para sistemas solares térmicos prefabricados (compactos) las normas aplicables son las UNE-EN 12976-1 y UNE-EN 12976-2.

De acuerdo con la norma UNE-EN 12975-2 la eficiencia instantánea del captador se representará normalmente por una ecuación de segundo orden en función de la temperatura reducida como la que sigue:

$$\eta = \eta_0 - \alpha_1 \cdot T_m^* - a_2 \cdot I \cdot (T_m^*)^2$$

donde

$T_m^* = (T_m - T_a)/I$

$T_m = (T_s + T_e)/2$ que representa la temperatura media del captador.

T_s : Temperatura del fluido de salida del captador

T_e : Temperatura del fluido de entrada en el captador.

Además, debe indicarse si dicha eficiencia se refiere al área de apertura o al área del absorbedor del captador. Su representación gráfica debe hacerse, al menos, para una irradiacia de 800 W/m^2

Los resultados del ensayo de eficiencia también pueden expresarse en forma lineal mediante una recta del tipo:

$$\eta = \eta_o' - a_1' \cdot T_m^*$$

o bien del tipo:

$$\eta = \eta_o'' - a_1'' \cdot T_{in}^*$$

donde

$T_{in}^* = (T_e - T_a)/I$

Y los parámetros η_o'' y a_1'' tienen el mismo sentido que se ha indicado anteriormente, aunque son ligeramente inferiores (del 2.5% al 3.0%) a los correspondientes coeficiente óptico η_o' y coeficiente de pérdidas a_1' que figuran en la expresión de eficiencia en función T_m^*.

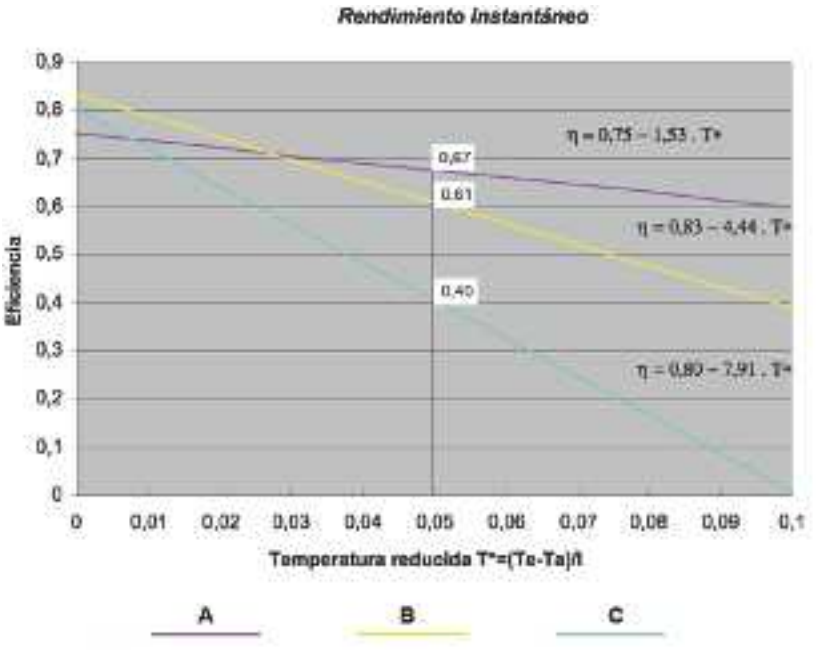


Figura 13. Comparación eficiencia distintos captadores.

La figura 11 muestra gráficamente la eficiencia instantánea de tres captadores A, B y C en función de la temperatura de entrada reducida (T^*) y el valor que alcanza cada una de ellas para unas características típicas de ACS:

T_e : temperatura de entrada al captador 50 ºC

T_a : temperatura ambiente 10 ºC

I : irradiancia 800 W/m^2

T^* : Temperatura reducida 0.05

De la figura se desprenden las siguientes conclusiones:

a) Al aumentar la temperatura reducida (T^*) disminuye la eficiencia, tanto más cuanto mayor sea el coeficiente de pérdidas, lo que equivale a decir:

- La eficiencia disminuye al aumentar la temperatura del agua de entrada
- Lo mismo ocurre cuando disminuye la irradiacia

b) El comportamiento relativo de dos captadores depende de las condiciones de operación. En la figura 11 se observa la ventaja evidente de los captadores A y B respecto del C. Dicha ventaja relativa disminuye al disminuir la T^*. También se puede observar como para $T^* < 0{,}03$ pasa a ser más eficiente el captador B respecto del captador A.

Debe hacerse hincapié que lo expresado hasta aquí respecto a la eficiencia de los captadores se refiere a la eficiencia instantánea en condiciones estacionarias y que el funcionamiento real de la instalación solar se moverá en un entorno amplio de las condiciones de diseño, con irradiancias inferiores y temperaturas de agua superiores lo que implica, en ambos casos, eficiencias inferiores.

3.1.5 Fluido caloportador

En circuitos cerrados se debe tener en cuenta si la instalación puede tener riesgo de heladas, por lo que se deberá aplicar un anticongelante al fluido.

Además se deberán aplicar, para el control del pH, aditivos estabilizantes o anticorrosivos, especialmente si por el circuito primario circula agua potable.

Como cantidades de referencia se puede considerar que:

- el contenido total en sales solubles sea inferior a 500 mg/l,
- el contenido en carbonato cálcico o sales de calcio sea inferior a 200 mg/l,
- el máximo de dióxido de carbono libre contenido en el agua sea de 50 ppm.

En la tabla siguiente se muestra la relación entre la proporción de fluido caloportador y anticongelante con la temperatura de congelación del mismo.

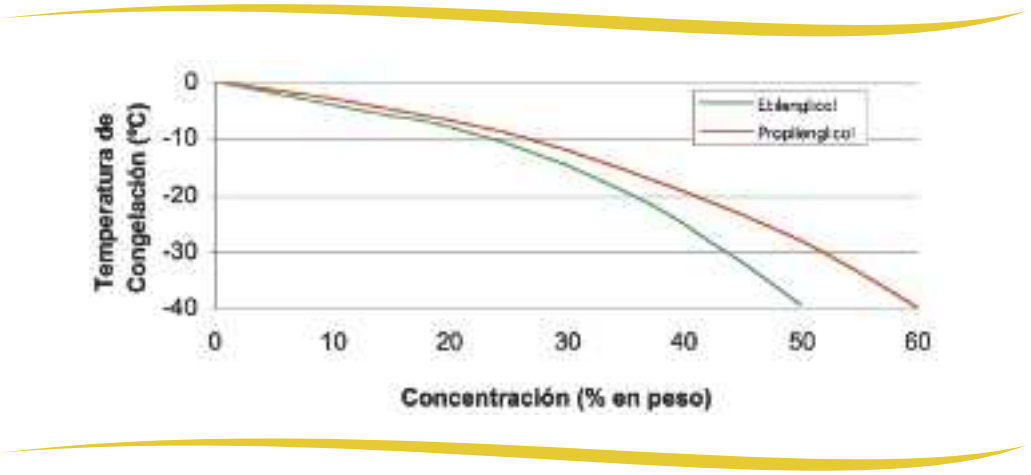


Figura 14. Gráfica propiedades fluido caloportador

Si se emplea agua con anticongelante en el circuito primario, se ha de evitar que ésta pase al circuito de consumo en el caso de una eventual avería en el intercambiador. Esto se consigue con una presión en el circuito secundario mayor que en el primario, por lo que, si se produjese un fallo, sería el agua potable la que invadiría el circuito primario y no al revés.

Cuando se diseñe la instalación se ha tener en cuenta que la adición de anticongelantes conlleva que el fluido caloportador presente un mayor coeficiente de dilatación. Es por ello que el vaso se expansión se ha de diseñar con un volumen 30% mayor que el diseñado sólo con agua.

Es conveniente que se disponga de un depósito auxiliar para reponer las pérdidas que se puedan dar en el fluido del circuito.

3.1.6 Temperatura de estancamiento

Existe un nivel de temperatura de estancamiento, en la cual toda la energía que llega al absorbedor se pierde por convección, conducción y radiación, por lo que no se cede calor al fluido portador, es decir, cuando se alcanza el 100% de pérdidas.

Esta temperatura depende de la curva de rendimiento del captador y de las condiciones climáticas (irradiancia y temperatura ambiente).

Para condiciones de ensayo normalizadas, irradiancia incidente de 1000 W/m^2 y temperatura ambiente de 30 ºC, la temperatura de estancamiento de los captadores solares planos varía entre 130 ºC y 180 ºC. En los captadores solares de vacío esta temperatura oscila entre los 150 ºC y 300 ºC.

Además de este nivel de temperatura donde el captador no transmite calor, la temperatura máxima de trabajo se ha de limitar también teniendo en cuenta la posible aparición de vapor de agua en la instalación, que perjudicaría al correcto funcionamiento del sistema.

3.1.7 Integración arquitectónica

Se considera que existe integración arquitectónica cuando el captador solar sustituye a alguno de los elementos de la envolvente. El caso en que el captador solar está en paralelo con alguna envolvente, pero no la sustituye, se denomina superposición arquitectónica.

Figura 15. Instalación solar sobre cubierta

Es más sencillo y económico la integración de un sistema de captación solar en una obra nueva que añadirlo a una edificación ya construida.

Los colectores se pueden integrar dentro de la estructura de las siguientes formas:

- directamente sobre el suelo,

- sobre azotea. Aquí se ha de tener especial cuidado en no dañar la lámina impermeabilizante, dejando además una separación en la base para posibles acumulaciones de nieve,

- sobre tejado inclinado, sustituyendo éste por las placas solares o directamente sobre tejado. Si se instala sobre el tejado, se ha de montar los captadores a unos 5 – 10 cm sobre el mismo, para evitar depósitos de nieve, etc...

  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. Cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio se considera que existe superposición arquitectónica,

- sobre fachada o paredes verticales,

- sobre una ventana como una marquesina como el tejado de un porche, aparcamiento, etc...

- en naves industriales en forma de diente de sierra, en las zonas inclinadas.

Figura 16. Superposición de los colectores sobre cubierta inclinada

3.2 Sistema de acumulación

El acumulador es el elemento encargado de almacenar la energía térmica generada por los captadores. La utilización de acumuladores es imprescindible en las instalaciones solares térmicas debido a que no es simultánea la demanda de agua caliente con la generación.

Los acumuladores para ACS y las partes de acumuladores combinados que estén en contacto con agua potable, deberán cumplir los requisitos de la norma UNE EN 12897.

Para el buen funcionamiento de la instalación se debe dimensionar correctamente el acumulador, ya que un acumulador pequeño favorecerá altas temperaturas en los paneles y por el contrario un acumulador demasiado grande dificultará el alcance de la temperatura de uso.

Para favorecer la estratificación de la temperatura en el interior del acumulador se recomienda el uso de acumuladores verticales, aunque a veces por problemas de espacio es necesario el empleo de acumuladores horizontales.

Esta estratificación de la temperatura también se ve favorecida por la situación de las tuberías y la entrada de los fluidos en el interior del depósito.

De acuerdo con el Código Técnico de la Edificación, las conexiones de entrada y de salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido y, además:

a) la conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al interacumulador se realizará, preferentemente a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del mismo.

b) la conexión de salida del agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior del depósito.

c) la conexión de retorno de consumo al acumulador y agua fría de red se realizarán por la parte inferior.

d) la extracción de agua caliente del acumulador se realizará por la parte superior.

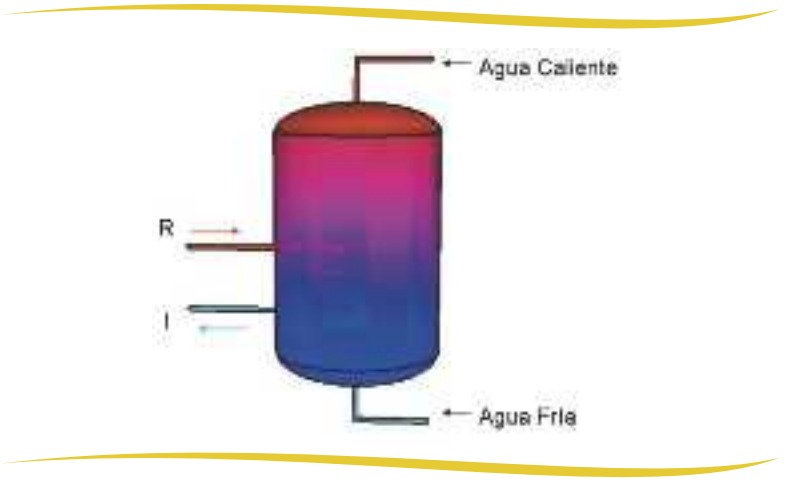


Figura 17. Acumulador indirecto.

Además de la configuración vertical del depósito, el código técnico de la edificación también recomienda que el sistema de acumulación esté constituido por un solo depósito y esté ubicado en zonas interiores. En el caso de fraccionarse en dos o más depósitos, se conectarán, preferentemente, en serie invertida en el circuito de consumo o en paralelo con los circuitos primarios y secundarios equilibrados.

El acumulador estará enteramente recubierto con material aislante y es recomendable disponer de una protección mecánica o de revestimiento exterior, como chapa pintada al horno, PRFV, o lámina de material plástico. Es recomendable además aislar las tuberías de conexión y los diferentes accesorios como bocas de conexión, bridas, etc.

Los materiales aislantes más utilizados son la espuma de poliuretano, la lana de roca o la fibra de vidrio.

Cuando la potencia térmica a instalar en generación es inferior a 70 kW, se recomiendan los siguientes espesores mínimos de aislamiento de los depósitos, para un material con conductividad térmica de referencia, a 10ºC, de 0,040 W/m.K:

	Temp. máxima del fluido (ºC)	
	40<T≤60ºC	60<T≤100ºC
Acumulador en el interior	35	40
Acumulador en el exterior	45	50

Tabla 6. Espesores de aislamiento del acumulador de calor

Para instalaciones con una potencia térmica en generación superior a 70 kW, se realizará el cálculo del aislamiento de forma que las pérdidas térmicas globales del conjunto de conducciones no superen el 4% de la potencia térmica transportada.

3.3 Sistema intercambio de calor

Los intercambiadores de calor tienen la finalidad de transmitir el calor del circuito primario al circuito secundario.

Entre las principales ventajas de su uso están:

- la posibilidad de utilizar como fluido de trabajo un fluido con anticongelante,
- la reducción de incrustaciones calcáreas en la instalación,
- la reducción del riesgo de corrosión ya que no hay renovación constante de agua en el circuito primario.

3.3.1 Tipos de intercambiadores de calor

Dentro de los intercambiadores de calor vamos a distinguir entre intercambiadores incorporados al acumulador e intercambiadores externos.

A. Interacumuladores (intercambiadores incorporados al acumulador)

Entre estos destacamos los que están construidos basándose en un serpentín en el interior del depósito de acumulación. Es recomendable que el serpentín se coloque en la parte inferior del depósito y con aletas para favorecer el intercambio de calor.

Figura 18. Intercambiador de serpentín incorporado al acumulador.

Además también se utilizan los intercambiadores de doble envolvente. En este sistema el fluido portador del calor circula alrededor del depósito acumulador en una capa cilíndrica concéntrica. Este sistema es el más usado en los denominados equipos compactos.

Debido a su poca pérdida de carga, este tipo de intercambiadores son recomendables en instalaciones pequeñas por termosifón, ya que sus pérdidas de carga son menores respecto a los intercambiadores externos.

B. Intercambiadores externos

Se usan únicamente en sistemas forzados.

En este método de intercambio de calor, los dos fluidos que interactúan están en movimiento. La circulación de los fluidos frío y caliente puede tener lugar en el mismo sentido o en sentido contrario, siendo más efectivos los modelos que funcionan en contracorriente.

Los intercambiadores externos tienen mayor rendimiento de intercambio que los incorporados al acumulador.

Figura 19. Intercambiador de placas

3.3.2 Equipos compactos

Una opción a la hora de la instalación doméstica de agua caliente sanitaria es la utilización de un equipo donde vienen montados en una misma estructura el depósito acumulador de ACS y los colectores solares.

No necesitan de un dispositivo de recirculación, porque el fluido caloportador circula del panel al interacumulador por convección natural, debido a la menor densidad del fluido caliente. En este sistema las pérdidas de carga adquieren gran importancia y por esto su uso queda restringido a viviendas unifamiliares, donde no hay gran longitud de tuberías montadas.

El intercambiador se conecta con los colectores por medio de unas tuberías formando un circuito cerrado por el que circula agua y líquido anticongelante. Además, en el mercado nos encontramos con equipos compactos directos, en los que no hay circuito cerrado y el agua de consumo pasa directamente por el depósito de acumulación. Este sistema directo no es recomendable para lugares con riesgo de heladas o con aguas calcáreas, como es el caso de la Comunidad Valenciana.

De igual modo se recomienda vaciar el agua de los colectores y cubrir los paneles durante el proceso de montaje para evitar que estén expuestos al sol durante el tiempo que no haya liquido en los colectores.

Figura 20. Dos equipos compactos sobre tejado plano

3.4 Circuito hidráulico

El circuito hidráulico de una instalación solar está formado por el conjunto de tuberías, bombas de circulación, válvulas y accesorios que se encargan de conectar entre sí los principales componentes de la instalación solar.

El circuito hidráulico ha de concebirse de por sí equilibrado, si no fuera posible, el flujo ha de controlarse mediante válvulas de equilibrado.

Los principales componentes que forman parte del circuito hidráulico son: bombas de circulación, vasos de expansión, válvulas (de corte, de seguridad, de retención, de regulación y termostáticas), aparatos de medida (caudalímetros, contadores de energía) y filtros.

En la figura siguiente se muestran algunos de los componentes del circuito hidráulico de una instalación solar.

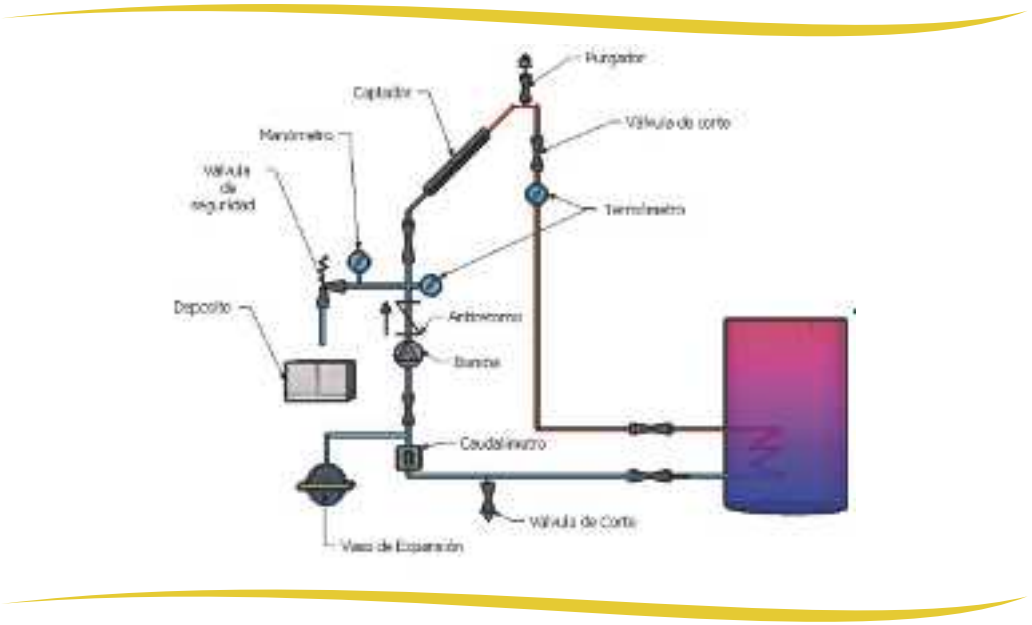


Figura 21. Circuito hidráulico

3.4.1 Red de tuberías de la instalación

En la selección del material utilizado en las tuberías se debe tener en cuenta que sean compatibles con el resto de elementos que constituyen la instalación y con el tipo de fluido empleado, resistentes a la corrosión, estabilidad respecto a tensiones mecánicas y térmicas... Asimismo, debido a las altas presiones y temperaturas que se pueden alcanzar en una instalación solar se recomienda utilizar tuberías y elementos de conexión metálicos en el circuito primario. En las instalaciones de agua caliente sanitaria se emplea normalmente cobre. El acero negro se emplea en instalaciones solares de gran tamaño y en aquellos circuitos que no vaya a circular ACS, debido a su escasa resistencia a la corrosión.

Al separar el circuito en circuito primario y circuito secundario, las condiciones de cada uno de ellos serán diferentes. Por el primario circulará un fluido caloportador con una determinada proporción de anticongelante y soportará temperaturas elevadas en el interior del colector. En cambio por la instalación del circuito secundario circulará agua potable para alimentar los consumos de ACS o bien circuitos con agua no potable para calentamiento de procesos industriales o de calefacción.

En las tuberías del circuito primario pueden utilizarse como materiales el cobre y el acero inoxidable, con protección exterior con pintura anticorrosiva.

En el circuito secundario o de servicio de agua caliente sanitaria, puede utilizarse cobre y acero inoxidable o también materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito.

3.4.1.1 Dimensionado de las tuberías

El caudal del fluido portador se determinará de acuerdo con las especificaciones del fabricante como consecuencia del diseño de su producto. En su defecto su valor estará comprendido entre 1'2 y 2 l/s por cada 100 m^2 superficie de captadores. En las instalaciones en que los captadores estén conectados en serie, el caudal de la instalación se obtendrá aplicando el criterio anterior y dividiendo el resultado por el número de captadores conectados en serie.

Para el cálculo del diámetro de cada una de las tuberías del circuito primario se debe conocer:

- el material del que está hecho la tubería para saber las pérdidas de carga,
- el caudal que va a circular por la misma,
- las condiciones de temperatura,
- las características del líquido a circular.

Las pérdidas de carga máximas admisibles en tuberías de cobre estarán entre 20 y 40 mmca por metro lineal de tubería cuando el líquido que circula es agua sin aditivos. Si es una mezcla de agua y un anticongelante a base de glicol se multiplicará los anteriores valores por 1,3.

Para el cálculo individual de las diferentes tuberías en la instalación emplearemos un ábaco de cálculo tal como el que figura en el Anexo VII. En el eje de las x viene indicado el caudal de diseño y en el eje de las y las pérdidas de carga por metro lineal de tubería.

Para el cálculo de las dimensiones de la tubería, entraremos en la tabla con el dato del caudal circulante por la misma y elegiremos la tubería que cumpla:

- Tenga unas pérdidas de carga lineales inferiores a 40 mmca por metro lineal.
- El caudal de circulación esté entre 0,3 y 2 m/s, buscando siempre valores intermedios de caudal frente a valores extremos.
- Sea normalizada DN.

Del ábaco anterior, para tuberías de cobre y una pérdida de carga máxima de 40 mmca, la relación entre el caudal que circula y el diámetro interior de las tuberías viene indicado en la siguiente tabla.

Caudal (l/h)	DN	Espesor pared (mm)	Diámetro interior (mm)
<500	18	1	16
<950	22	1	20
<1.900	28	1	26
<3.600	35	1	33
<6.200	42	1	40
<12.000	54	1,2	51,6

Tabla 7. Relación caudal con el diámetro interior de una tubería de cobre.

Para otros espesores de pared consultar el Anexo VII.

3.4.1.2 Aislamiento de las tuberías

Para que el rendimiento de la instalación no se vea disminuido se ha de contar con un buen nivel de aislamiento de las tuberías.

Cuando la potencia térmica a instalar en generación es inferior a 70 kW, para las tuberías y accesorios que transportan el fluido caliente por el interior del edificio se recomiendan los siguientes espesores mínimos de aislamiento, para un material con conductividad térmica de referencia, a 10ºC, de 0,040 W/m.K:

Diámetro exterior	Temp. máxima del fluido (°C)	
	40<T≤60°C	60<T≤100°C
D≤35	25	25
35<D≤90	30	30
90<D≤140	30	40
140<D	35	40

Tabla 8. Espesores de aislamiento en tuberías y accesorios en el interior del edificio

Cuando las tuberías discurren por el exterior del edificio se recomienda aumentar el espesor del aislamiento en 10 mm respecto al que se obtendría si éstas circularan por el interior.

Cuando se utilicen materiales con una conducción térmica distinta a la de referencia, se considera válida la determinación del espesor mínimo de aislamiento aplicando las siguientes ecuaciones:

- Para superficies planas

$$d = d_{ref} \frac{\lambda}{\lambda_{ref}}$$

- Para superficies de sección circular

$$d = \frac{D}{2}\left[\exp\left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \cdot \ln\frac{D + 2 \cdot d_{ref}}{D}\right) - 1\right]$$

donde

λ_{ref} : conductividad térmica de referencia, igual a 0,04 W/(m.K) a 10 ºC

λ : conductividad térmica del material empleado, en W/(m.K)

d_{ref} : espesor mínimo de referencia, en mm

d : espesor mínimo del material empleado, en mm

D : diámetro interior del material aislante, coincidente con el diámetro exterior de la tubería, en mm

Para instalaciones con una potencia térmica en generación superior a 70 kW, se realizará el cálculo del aislamiento de forma que las pérdidas térmicas globales del conjunto de conducciones no superen el 4% de la potencia térmica transportada.

El aislamiento de las tuberías de intemperie deberá llevar una protección externa que asegure la durabilidad ante las acciones climatológicas, como los revestimientos con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o fibras acrílicas. El aislamiento no ha de dejar zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.

El aislamiento tiene que tener también en cuenta las posibles dilataciones en las tuberías de la instalación, así como evitar los puentes térmicos en las fijaciones de los equipos.

3.4.2 Bomba de circulación

La bomba de circulación es el elemento de la instalación solar térmica encargado de hacer circular el fluido a través del circuito hidráulico de una instalación. Constituye el dispositivo principal en las instalaciones solares térmicas de circulación forzada.

Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

En instalaciones de mediano y pequeño tamaño suelen emplearse bombas en línea, intercaladas directamente en la tubería, mientras que en las instalaciones grandes son más habituales las bombas en bancada.

Debido a las altas temperaturas que se pueden alcanzar en una instalación solar, siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito (tubería de retorno a captadores en el circuito primario), teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

En instalaciones superiores a 50 m^2 se han de montar dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario, previendo el funcionamiento alternativo de las mismas, bien de forma manual o de forma automática.

Figura 22. Bombas de circulación.

3.4.3 El vaso de expansión

Es el elemento encargado de absorber las variaciones de volumen y presión que experimenta el fluido en un circuito cerrado debido a los cambios de temperatura.

Los vasos de expansión pueden ser abiertos o cerrados en función de que el fluido del circuito esté en contacto directo con la atmósfera o no.

Los vasos de expansión cerrados son los que se utilizan normalmente en las instalaciones solares por lo que fluido del circuito no se encuentra en contacto con la atmósfera. Aquí el recipiente es un depósito estanco, normalmente de acero. El vaso se divide en un volumen con nitrógeno que actúa de amortiguador y una parte donde fluctúa el líquido de la instalación estando los dos volúmenes separados por una membrana elástica impermeable.

Al aumentar la temperatura del fluido térmico también aumenta la presión en el circuito y el líquido se expande en el vaso desplazando la membrana elástica y disminuyendo el volumen ocupado por el gas. Por el contrario, cuando disminuye la temperatura disminuye la presión en el circuito y el volumen ocupado por el gas aumenta desplazando el líquido del vaso.

Figura 23. Vaso de expansión.

El vaso de expansión cerrado se puede poner en cualquier punto accesible de la instalación, aunque se recomienda ponerlo antes del punto de aspiración de la bomba para evitar las depresiones producidas al arrancar la bomba en el circuito en el punto más elevado posible.

3.4.4 Sistema de purga de aire

En los puntos altos de la salida de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga para extraer el aire contenido en el circuito. Esos sistemas están constituidos por botellines de desaireación y por un purgador manual o automático.

El volumen útil del botellín será superior a 100 cm^3. Este volumen puede disminuirse si se instala a la salida del circuito solar y antes del intercambiador un desaireador con purgador automático.

Debido a que los purgadores automáticos no diferencian entre el aire y el vapor de agua, se evitará el uso de estos purgadores en aquellos puntos del circuito donde se pueda generar vapor, como a la salida de los captadores solares. En estos lugares se instalarán sistemas de purga de aire manual, con lo que se eliminará el problema de extracción de vapor de agua.

3.4.5 Sistemas de llenado y de vaciado

Cualquier circuito cerrado de la instalación ha de incorporar un sistema de llenado manual o automático que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado.

En general, se recomienda la adopción de un sistema de llenado automático con la inclusión de un depósito de recarga, donde esté almacenado el fluido con la proporción requerida de anticongelante en agua, de forma que no disminuya la proporción de anticongelante cuando se repongan las fugas.

Se recomienda realizar el llenado del circuito por la parte inferior del mismo para facilitar la salida al exterior del posible aire acumulado.

Para posibilitar el vaciado del circuito de una instalación solar, se recomienda instalar en los puntos más bajos tuberías de drenaje a través de las cuales se pueda realizar el vaciado mediante una válvula de corte.

3.4.6 Válvulas

De acuerdo con el Código Técnico, la elección de las válvulas se ha de realizar de acuerdo con la función que desempeñen y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), siguiendo preferentemente los siguientes criterios:

a) para aislamiento: válvulas de esfera

b) para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento

c) para vaciado: válvulas de esfera o de macho

d) para llenado: válvulas de esfera

e) para purga de aire: válvulas de esfera o de macho

f) para seguridad: válvula de resorte

g) para retención: válvulas de doble compuerta, o de claveta

Las válvulas de seguridad, por su importante función, deben ser capaces de derivar la potencia máxima de los captadores, incluso en forma de vapor, de manera que en ningún caso sobrepase la máxima presión de trabajo.

3.5 Sistema de energía convencional auxiliar

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema auxiliar mediante energía convencional.

El subsistema de apoyo para instalaciones de producción de ACS se debe dimensionar de forma que aporte todo el calor necesario en la instalación como si no se dispusiese del sistema solar.

Figura 24. Sistema auxiliar.

Se puede clasificar los sistemas de apoyo en función de:

- el aporte de calor al total de la instalación. Así tenemos apoyo colectivo cuando se abastece desde un único punto, o bien apoyo individual, cuando cada consumo o grupo de consumos disponen de su propio subsistema de apoyo.

- si existe o no acumulación de la energía de apoyo. Distinguimos entre apoyo en línea (instantáneo) o con acumulación.

- su disposición en el conjunto de la instalación. Así distinguimos entre sistemas de apoyo en serie con el acumulador solar o en paralelo con éste. La disposición en paralelo se

utiliza únicamente en instalaciones domésticas ya existentes cuando la disposición en serie con el depósito solar no es posible.

- el tipo de energía que utilicen para producir calor. Así tenemos los sistemas basados en gasóleo, gas natural, GLP, o electricidad por efecto Joule. La electricidad es el más desfavorable desde el punto de vista de la eficiencia energética. Los sistemas de apoyo basado en el gas natural son los más ventajosos desde el punto de vista económico y ambiental.

El Código Técnico de la Edificación no autoriza el uso de sistemas de energía convencional auxiliar en el circuito primario de los captadores solares.

Además, en el caso de que el sistema de energía auxiliar no disponga de acumulador, sino que sea una fuente instantánea, el equipo ha de ser modulante, es decir, será capaz de regular su potencia en función de la temperatura de entrada al equipo, de manera que se obtenga una temperatura constante con independencia de la temperatura de entrada.

En instalaciones destinadas a la climatización de piscinas, para el control de temperatura se dispondrá de una sonda de temperatura en el retorno de agua al intercambiador de calor y de un termostato de seguridad, dotado de rearme manual en la impulsión que enclave el sistema de generación de calor. La temperatura de tarado del termostato será, como máximo, 10 ºC mayor que la temperatura máxima de impulsión.

3.6 Equipos de control

Los equipos de control son los dispositivos que controlan los diferentes elementos que constituyen la instalación, siendo los de mayor importancia los ligados al funcionamiento de las bombas de circulación.

Figura 25. Cuadro de control

Según el CTE, la regulación por medio de la temperatura del funcionamiento de la bomba será siempre de tipo diferencial entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de colectores (T1) y la del depósito de acumulación (T2). El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas del circuito primario (1) y del circuito secundario (2) no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2ºC y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7ºC. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada del termostato diferencial no será menor que 2ºC.

Además de controlar las temperaturas de salida del captador y la del depósito de acumulación, también podemos regular el funcionamiento de la bomba controlando además la sonda de insolación (3). Esta sonda se sitúa al lado de los captadores con sus mismos valores de inclinación y orientación y regulará el trasiego de líquido por el circuito primario. Cuando haya suficiente insolación (entorno a 100 W/m^2 normalmente), la bomba del circuito primario se pondrá en funcionamiento. Después la instalación funcionará de forma descrita en el párrafo anterior, siguiendo las directrices del CTE. Con esta sonda de insolación se consigue que las dos bombas circulen por separado.

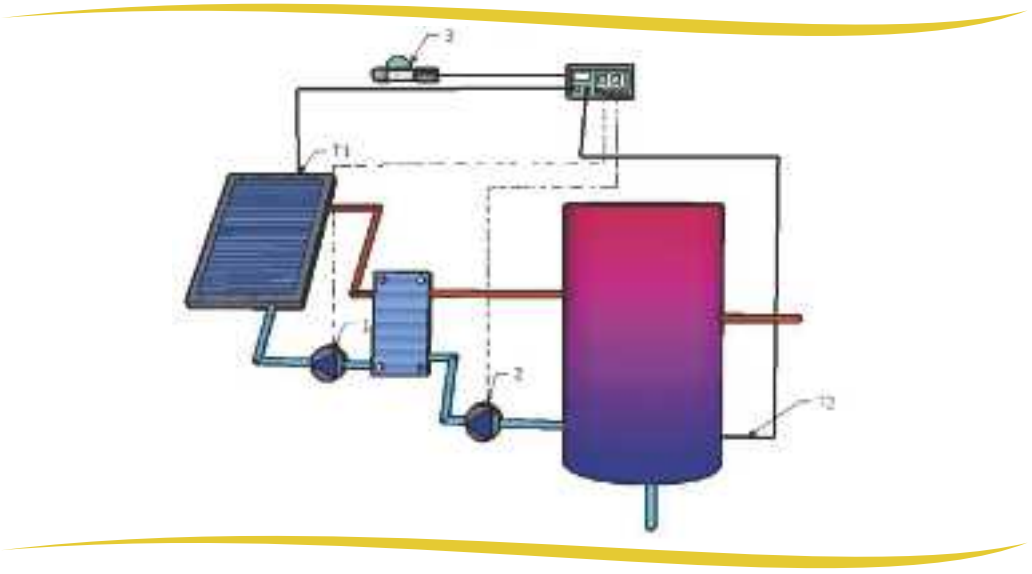


Figura 26. Esquema instalación con sonda de insolación

Además del equipo principal regulador de la bomba nos podemos encontrar con otros equipos auxiliares como son:

- Equipos de protección contra heladas, consiste en un sensor que activa la bomba cuando detecta una temperatura ligeramente superior a la de congelación en el fluido de trabajo a la entrada de los captadores, con esto se consigue que no se congele el fluido portador y pueda dañar la instalación.

- Control de temperatura máxima del acumulador, se sitúa en la parte superior del acumulador para proteger el sistema de temperaturas que pueden provocar un fallo o una rotura del captador.

Todos estos equipos estarán compuestos por sensores de temperaturas con sus respectivas vainas y cables de conexión. En función del rango de temperaturas de trabajo y la precisión exigida se elegirán los de calidad A o B.

Los equipos de control constan de un circuito de control y de un circuito de potencia. El circuito de control es el encargado de medir los parámetros que regulan el funcionamiento de la bomba a través del circuito de potencia. Para comandar la bomba en instalaciones domésticas, se usa normalmente un relé de 10 A monofásico.

Además se ha de tener en cuenta que el cuadro eléctrico situado a la intemperie ha de tener una protección IP 65 según lo marcado en las normas de equipos eléctricos.

3.7 Sistema de medida

El Código Técnico de la Edificación exige que, además de los aparatos de medida de presión y temperatura que permitan la correcta operación, para el caso de instalaciones mayores de 20 m^2 se deberá disponer al menos de un sistema analógico de medida y registro de datos que indique como mínimo las siguientes variables, de forma que el tratamiento de los datos proporcione al menos la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo:

a) temperatura de entrada del agua fría de red

b) temperatura de salida del acumulador solar

c) caudal de agua fría de red

En la actualidad casi todos los modelos comerciales permiten visualizar los parámetros principales de funcionamiento de la instalación: temperaturas, caudal de fluido y volumen acumulado, energías acumuladas, etc, y también suministran información adicional como los errores del sistema, valores punta de energía y de temperatura, etc.

Además de proporcionar la energía cedida al usuario por la instalación solar, nos puede suministrar también el consumo de energía térmica (instalación solar más sistema de apoyo).

Figura 27. Batería de colectores.

4. Instalaciones

4 Instalaciones

4.1 Clasificación de las instalaciones

Las instalaciones se pueden clasificar atendiendo a dos criterios básicos:

- Según la forma de transmitir el calor al consumo :

  - Instalaciones de circuito directo o abierto. Serán aquellas instalaciones donde el fluido caloportador de los colectores (1), se acumula de forma directa en el depósito (2) donde se produce una estratificación debida a la diferencia de densidades entre el fluido caliente y frío. Así el fluido caliente pasa a través del sistema de apoyo (3) para su posterior uso en el consumo final (4). En el caso de Agua Caliente Sanitaria (ACS), el fluido caloportador es agua potable. El agua de consumo es la misma que circula por los colectores y por tanto no existe intercambiador de calor. Este sistema prácticamente no se utiliza en la Comunidad Valenciana por problemas de incrustaciones calcáreas debidos a la elevada dureza del agua, a pesar de tener un mayor rendimiento ya que no existen elementos intermedios adicionales.

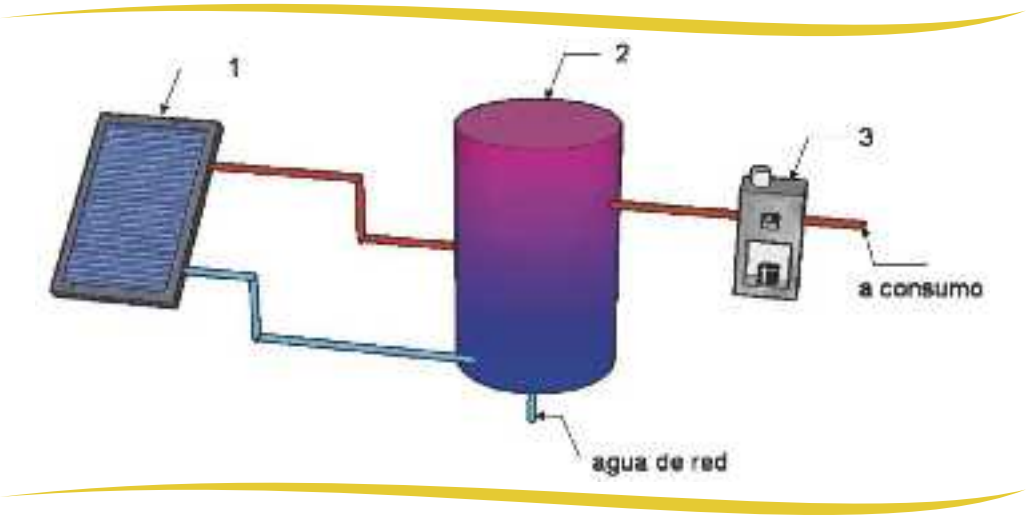


Figura 28: Esquema de una instalación de circuito directo o abierto.

  - Instalaciones de circuito indirecto o cerrado. Son aquellas instalaciones en las que existen dos circuitos diferenciados interconectados a través de un sistema de intercambio de calor (5). Están formados por un circuito primario cerrado y un circuito secundario seguido por el sistema de apoyo. Con estos sistemas se evitan los problemas de incrustaciones calcáreas en el circuito primario no así en el secundario donde se produce la entrada de agua de red.

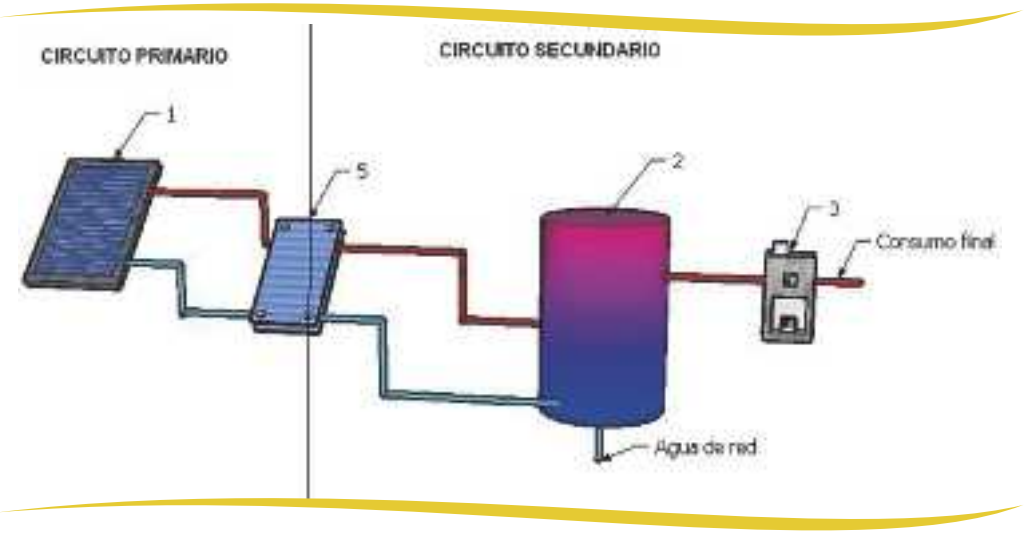


Figura 29: Esquema de una instalación de circuito indirecto o cerrado.

- Según el método para hacer circular el fluido por la instalación:

  - Instalaciones por termosifón o compactos: estos sistemas están basados en la diferencia de densidades del fluido caloportador debido a su diferencia de temperaturas. Esta diferencia de densidades es la fuerza motora que impulsa, por convección libre, el fluido sin necesidad de una bomba. Estos equipos compactos presentan menor mantenimiento debido al menor número de elementos de la instalación. En cambio el rendimiento de la instalación es inferior debido al menor control sobre los parámetros de funcionamiento. En estos sistemas se ha de prestar especial atención al diseño de la instalación para minimizar las pérdidas de carga y facilitar el movimiento del fluido. Estos sistemas se utilizan habitualmente en pequeñas instalaciones individuales.

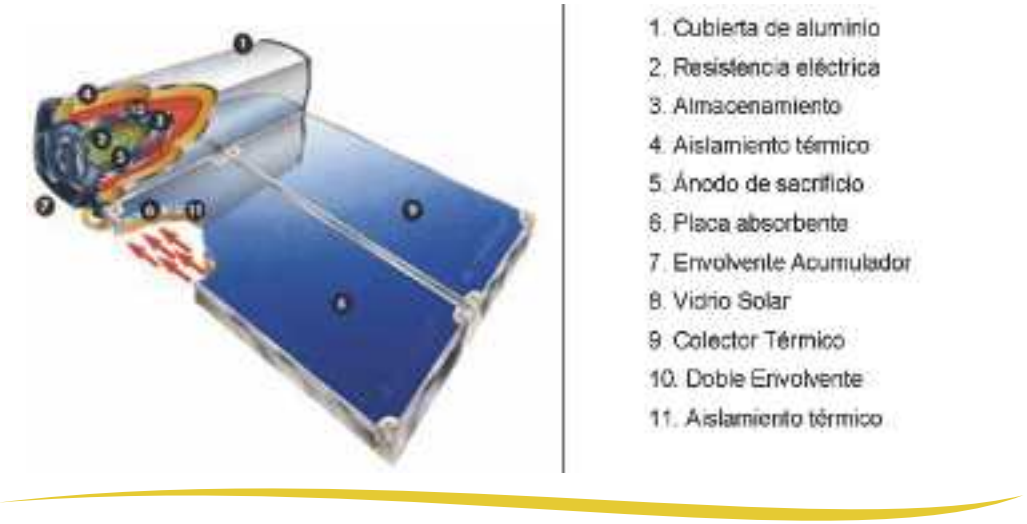


Figura 30. Esquema de una instalación de termosifón o compacto.

- Instalaciones de circulación forzada. En estos sistemas como fuerza motora del fluido se utiliza una bomba (6). Estos equipos se instalan en el circuito primario. Esta configuración es la más compleja ya que tiene mayor número de elementos, siendo el rendimiento de la instalación mayor debido a que se fijan las condiciones de temperatura y caudal con las que se quiere que trabaje la instalación.

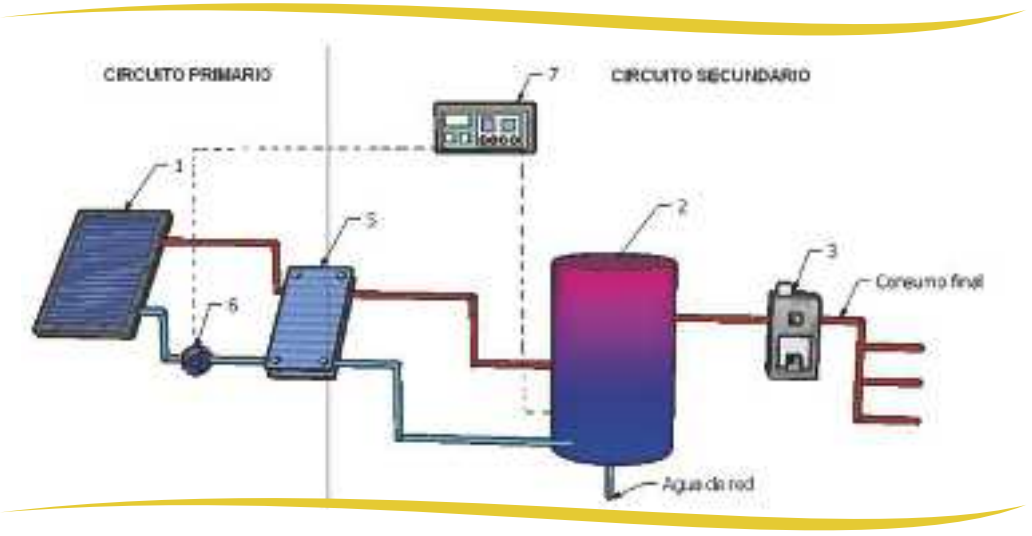


Figura 31.Esquema de una instalación de captadores solares indirecta con circulación forzada en el primario para producción de agua caliente.

Además de los elementos comentados anteriormente, es conveniente que la instalación cuente con un equipo de control (7) que gobierne todos los elementos que componen la instalación.

4.2 Acoplamiento del sistema de apoyo

La forma de acoplamiento entre la instalación solar y el sistema de apoyo influye en el funcionamiento global de la instalación de producción de agua caliente sanitaria.

Además del acoplamiento principal, que puede ser en serie o en paralelo, también existen otras posibilidades que han de ser consideradas por las repercusiones que pueden tener en el funcionamiento de la instalación solar, como son el acoplamiento directo de la instalación solar al circuito de distribución, el circuito de recirculación y el circuito para la prevención de la legionelosis por tratamiento térmico.

4.2.1 Acoplamiento en serie

Normalmente se recomienda conectar el sistema de apoyo en serie con la instalación solar con el fin de optimizar las prestaciones de la instalación. Con este conexionado se consigue que inicialmente el agua sea calentada por la instalación solar y, en caso de que sea necesario, en segundo lugar el sistema de apoyo realiza el calentamiento final hasta la temperatura de consumo.

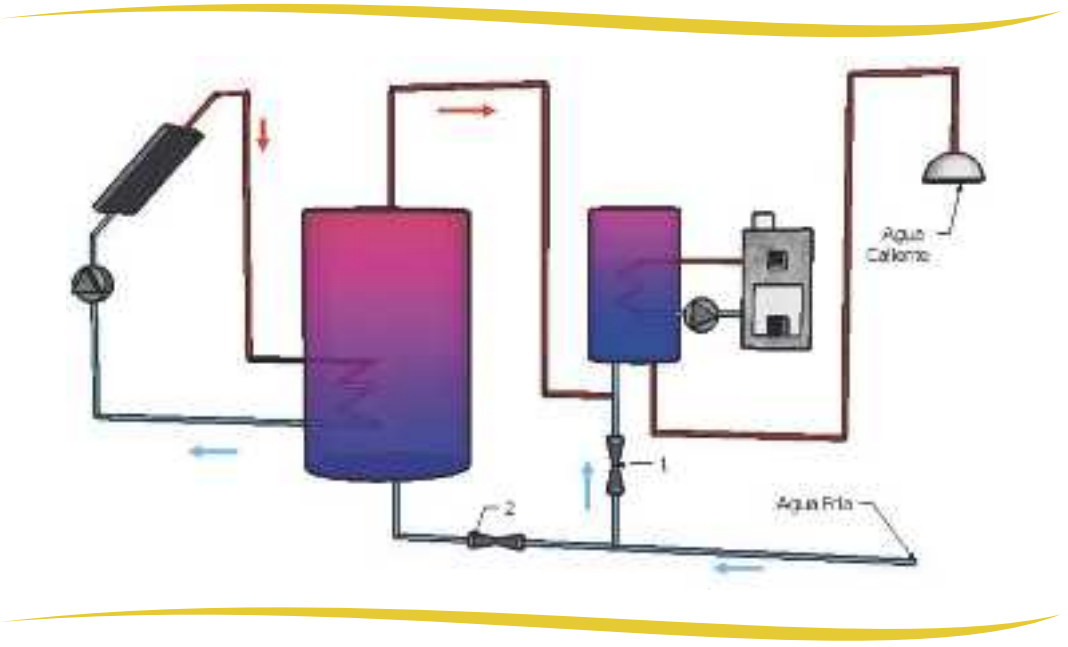


Figura 32. Sistema de apoyo en serie

En esta situación es importante un buen ajuste de la temperatura de preparación del ACS por la influencia que tiene en el caudal que pasa por la instalación solar.

El acoplamiento en serie debe disponer de un by-pass que permita no interrumpir el suministro de agua caliente cuando se realicen las operaciones de mantenimiento de la instalación.

4.2.2 Acoplamiento en paralelo

En el acoplamiento en paralelo el suministro de agua caliente se realiza, opcionalmente, desde la instalación solar o desde el sistema de apoyo. Esta forma de acoplamiento requiere que el acumulador solar disponga de una temperatura de preparación mínima establecida, de forma que cuando la temperatura no alcance el mínimo de consigna se conmute al sistema de apoyo. Es por tanto necesario que haya una regulación, manual o automática, que permita alternar la conexión de ambos sistemas.

Este acoplamiento se utiliza solamente en instalaciones muy pequeñas, en edificios existentes, donde la conexión en serie obligaría a largos trazados de conexión.

4.2.3 Acoplamiento directo

En determinadas ocasiones se pretende evitar, en los conexionados en serie, que cuando el agua esté suficientemente caliente en el acumulador solar, ésta deba pasar por el sistema de apoyo. Para ello se dispone de un by-pass que permite el conexionado directo entre la instalación solar y el circuito de consumo sin necesidad de pasar por el sistema de apoyo.

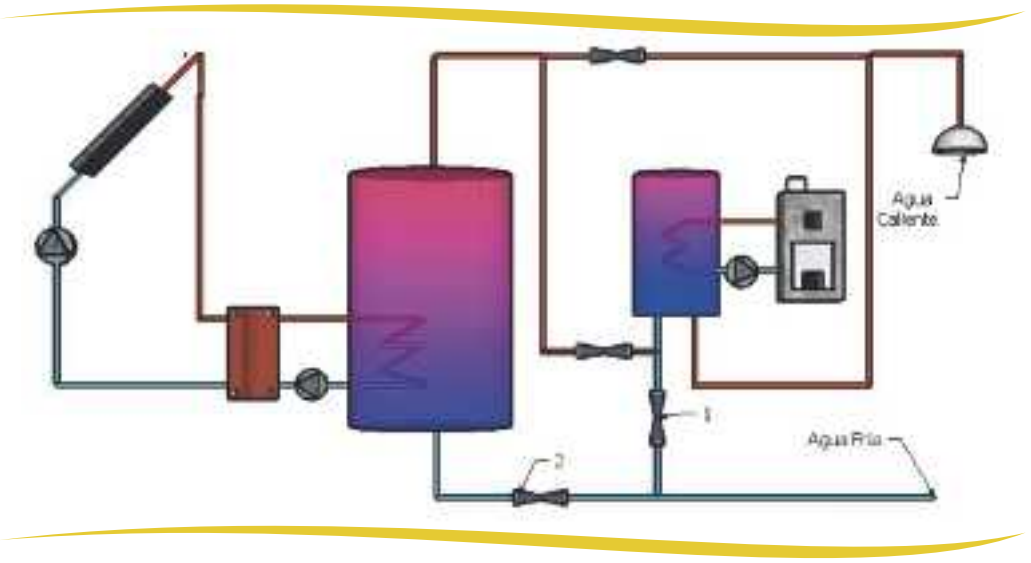


Figura 33. Acoplamiento directo

Este tipo de conexionado no es aplicable a grandes instalaciones. Se suele aplicar, en instalaciones existentes, cuando el sistema de apoyo tiene unas pérdidas elevadas que pueden disminuir las aportaciones de la energía solar.

4.2.4 Circuito de recirculación

En instalaciones con largos circuitos de distribución, normalmente instalaciones centralizadas como hoteles, hospitales, etc., se recomienda instalar un circuito de recirculación que permita disponer de agua caliente de forma casi inmediata incluso en el punto de consumo más alejado del sistema de producción.

Para no interferir en el funcionamiento de la instalación solar, esta recirculación se realiza sobre el acumulador del sistema de apoyo siempre que este sistema esté activo.

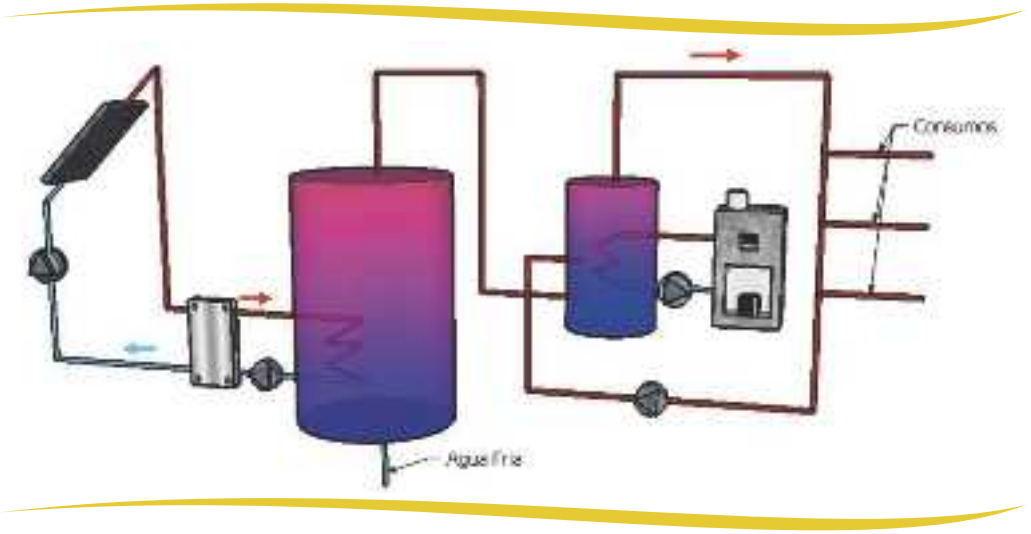


Figura 34. Sistema de apoyo con circuito de recirculación

4.2.5 Tratamiento térmico para la prevención de la legionelosis

Cuando se requiera el tratamiento térmico de los acumuladores solares para la prevención de la legionelosis, se ha de considerar el conexionado de la acumulación solar con el circuito del sistema de apoyo de forma que se pueda realizar el tratamiento térmico periódico.

En algunos casos, siempre que se den las condiciones necesarias, se puede realizar el tratamiento térmico de los acumuladores solares utilizando como fuente de energía solamente el sistema de colectores, de forma que sin consumo de energía en el sistema de apoyo se alcance la temperatura necesaria en los acumuladores solares.

4.3 Esquemas de funcionamiento

Existen diferentes posibilidades a la hora de elegir la configuración o el esquema de principio de una instalación solar, en función del sistema de acumulación elegido y del sistema de intercambio. Las diferentes configuraciones vienen dadas en función de las siguientes posibilidades:

a) si la instalación presenta sólo sistema de acumulación en el circuito de consumo.

b) si la instalación dispone sólo del sistema de acumulación en el circuito primario (acumulador solar o de inercia).

c) si la instalación presenta los dos sistemas de acumulación (consumo e inercia)

d) si la instalación presenta sólo sistema de intercambio solar.

e) si la instalación dispone sólo de intercambiador de consumo.

f) si la instalación presenta los dos sistemas de intercambio (solar y consumo).

La configuración más utilizada en instalaciones medianas y grandes, es la que dispone de sistema de acumulación en el circuito de consumo e intercambiador solar. En la figura siguiente se muestra un esquema para esta configuración.

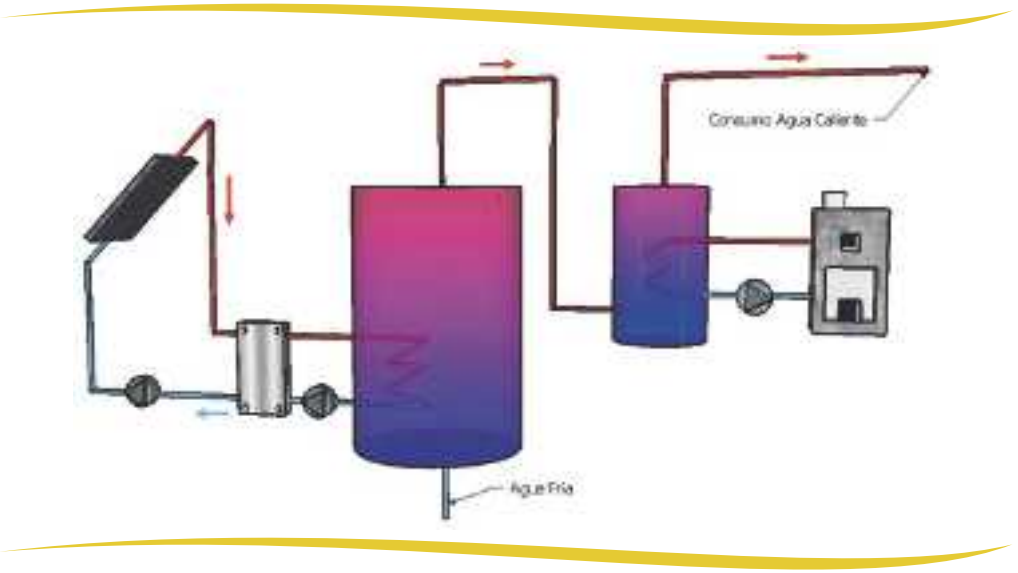


Figura 35. Instalación con sistema de acumulación en el circuito de consumo e intercambiador solar.

A pesar del mayor coste de acumulación en el circuito de consumo en comparación con el sistema de acumulación de inercia, esta configuración presenta la ventaja de su mayor simplicidad respecto al resto de configuraciones.

En las configuraciones que disponen de intercambiador solar se ofrece la opción de incorporarlo al sistema de acumulación, siendo generalmente la opción elegida en instalaciones de pequeño tamaño.

Otra configuración habitual es la que presenta sistema de acumulación de inercia e intercambiador en el circuito de consumo, o bien doble sistema de intercambio. Al encontrarse el sistema de acumulación en un circuito cerrado, esta opción presenta la ventaja del menor coste del acumulador de inercia en comparación de los acumuladores convencionales.

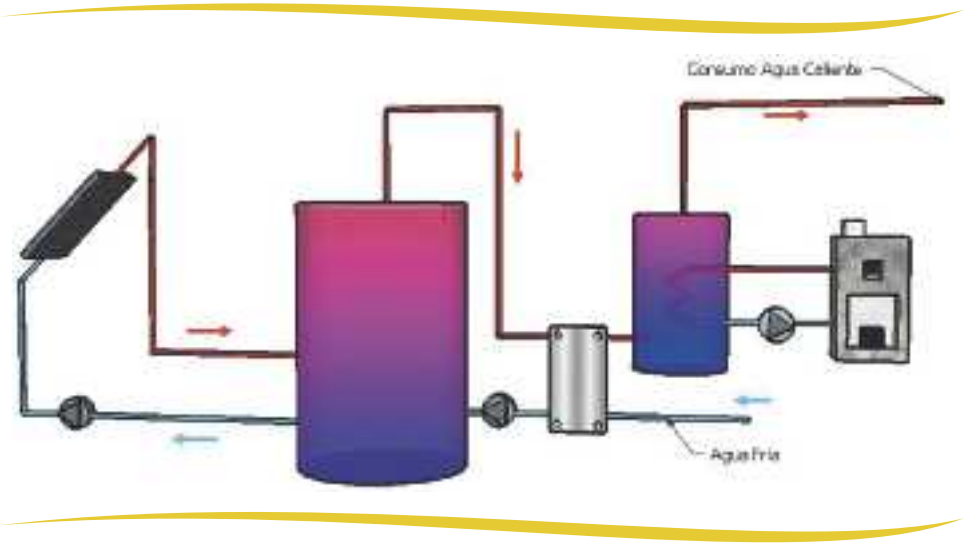


Figura 36. Instalación con sistema de acumulación de inercia e intercambiador de consumo.

En las instalaciones con doble acumulación, en el circuito solar y en el circuito de consumo, los rendimientos que se alcanzan son inferiores, aunque por otra parte tienen la ventaja de que el sistema de captación trabaja con un volumen inferior ya que el fluido del depósito de inercia no circula por los captadores solares. En la figura siguiente se muestra una instalación con doble sistema de acumulación y doble sistema de intercambio.

Una de las ventajas que presenta la incorporación del acumulador de consumo es que permite mantener los caudales de circulación prácticamente constantes a través del acumulador de consumo. En este caso el dimensionado del intercambiador de consumo no presenta variaciones significativas respecto al del intercambiador solar por ser los caudales similares en los dos circuitos.

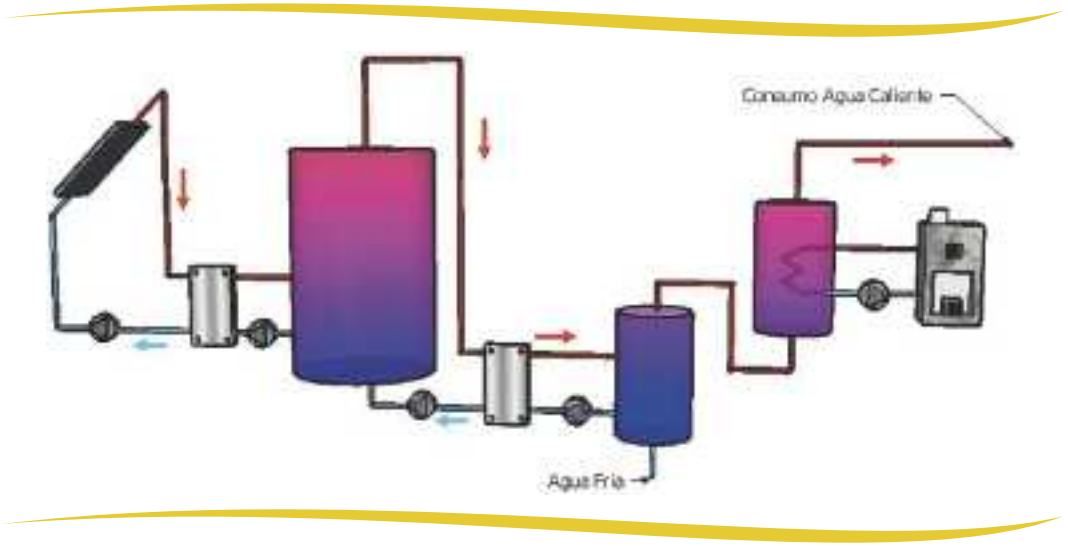


Figura 37. Instalación con doble sistema de acumulación y doble sistema de intercambio.

Las instalaciones solares en hoteles, hospitales, instalaciones deportivas, etc, normalmente presentan alguna de las configuraciones analizadas. En cualquiera de ellas, al disponer de al menos un intercambiador, se evita que el agua caliente sanitaria circule por los colectores solares por lo que no se presentan problemas de deposiciones calcáreas.

En el caso de que se disponga de sistema de acumulación de inercia, se recomienda emplear doble sistema de intercambio. La opción de emplear sólo el intercambiador de consumo para estos casos debe reducirse únicamente a los casos en que no exista riesgo de heladas y pueda utilizarse directamente el agua como fluido de trabajo en los paneles solares.

4.4 Instalaciones solares en la edificación

El grado de centralización de los diferentes sistemas que componen la instalación solar es el que determina las diferentes configuraciones que se pueden emplear en la edificación.

En general se distingue entre consumos centralizados e individuales de agua caliente. En los centralizados existe una acometida de agua fría desde los contadores al sistema de producción de agua caliente, desde donde se realiza el suministro de agua caliente a las viviendas. En este caso las instalaciones individuales disponen solamente de su propia acometida de agua fría.

En los sistemas con consumo individual, cada vivienda dispone de una única acometida de agua fría procedente de los contadores. A partir de la red interior de la vivienda se obtiene la alimentación al sistema de preparación de agua caliente de que cada vivienda dispone. En este caso la instalación solar se encarga de precalentar el agua que alimenta el sistema de apoyo.

4.4.1 Instalaciones con consumo centralizado

Como se ha comentado anteriormente, en estas instalaciones se dispone de una única alimentación de agua fría a la instalación solar, donde se realiza el precalentamiento del

agua caliente sanitaria. Un circuito de distribución reparte el agua precalentada a cada una de las viviendas. Generalmente se necesita un circuito de distribución para poder realizar un reparto equitativo para cada una de las viviendas.

El sistema de apoyo puede ser centralizado o individual. En la figura siguiente se muestra el esquema de una instalación con el sistema de apoyo centralizado.

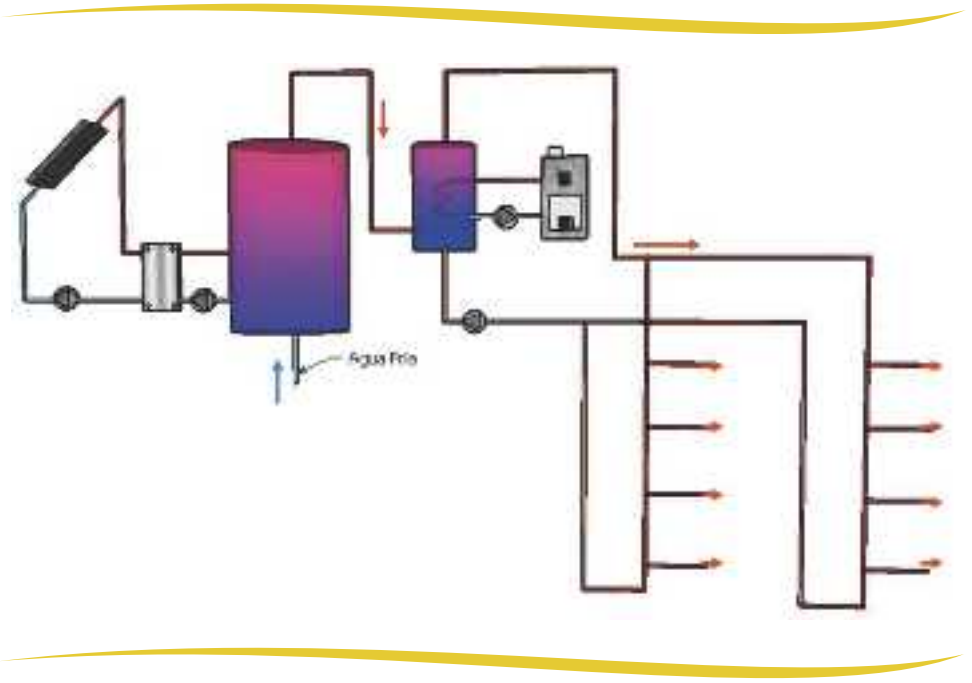


Figura 38. Instalación solar centralizada.

En estas instalaciones todo el sistema de producción de agua caliente sanitaria está centralizado. El sistema produce de forma centralizada toda el agua caliente que demanda el edificio. La red de distribución suministra a cada vivienda el agua caliente requerida.

Cada vivienda ha de disponer de un contador de agua caliente encargado de contabilizar la energía suministrada por el sistema de producción de agua caliente sanitaria.

Este sistema con instalación centralizada es el que requiere de un mayor espacio común del edificio y también es el que requiere una menor inversión global del sistema.

En el caso de que el sistema de apoyo sea individual, la instalación solar solamente realiza el precalentamiento del agua. El circuito de distribución reparte a cada vivienda el agua precalentada y cada vivienda dispone de un sistema de apoyo para completar el calentamiento del agua.

Con esta configuración también ha de existir un contador en cada vivienda que en este caso contabiliza el consumo de agua procedente de la instalación solar.

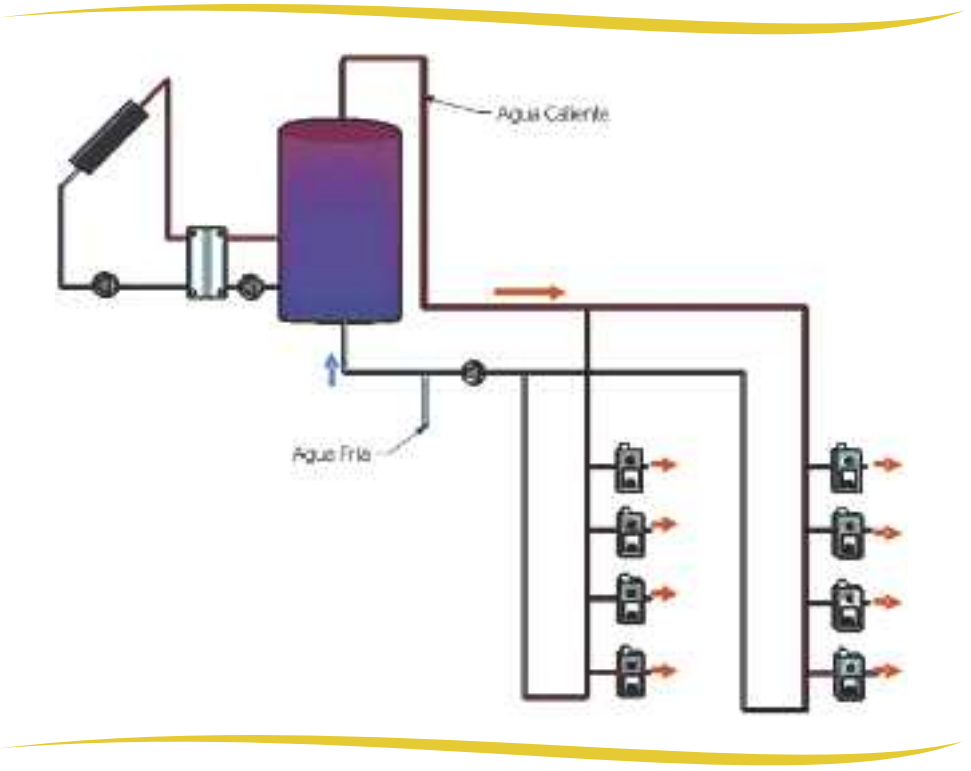


Figura 39. Instalación solar centralizada con sistema de apoyo individual.

4.4.2 Instalaciones con consumo individual

En estas instalaciones el agua para la producción del agua caliente sanitaria se extrae de la red interior de agua de cada vivienda. El anillo de distribución en estos casos es un circuito cerrado que suministra la energía térmica a cada uno de los intercambiadores de cada una de las viviendas.

El sistema de acumulación puede ser centralizado o individual, en la siguiente figura se muestra el esquema de una instalación con sistema de acumulación centralizado.

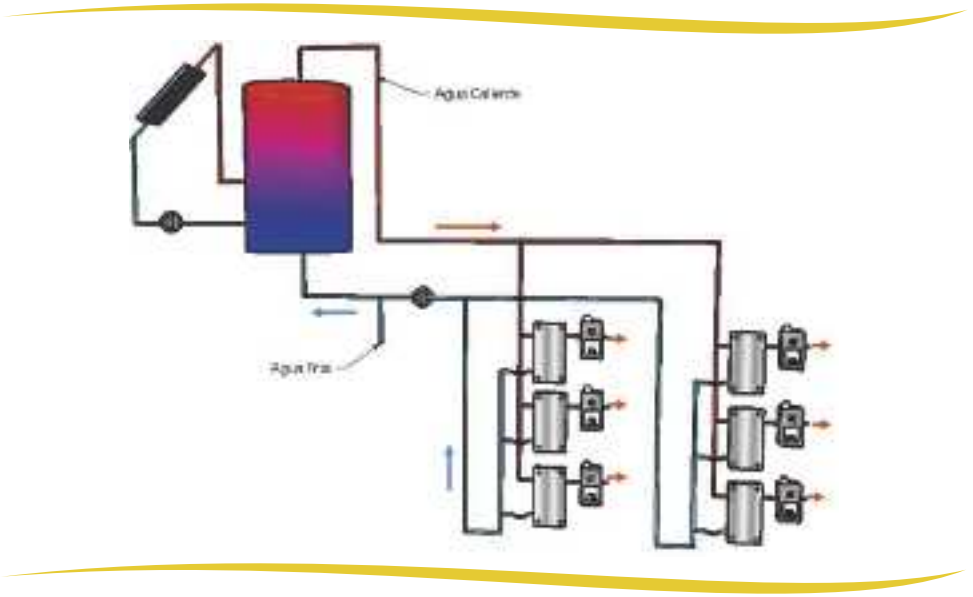


Figura 40. Instalación solar con sistema de acumulación centralizado.

Esta configuración surge para evitar la problemática de los espacios ocupados en cada vivienda si los interacumuladores están descentralizados. Por otra parte, los intercambiadores de consumo han de estar dimensionados para la punta de demanda de agua caliente de cada vivienda.

En el caso de que el sistema de acumulación sea individual, el circuito solar se conecta con cada uno de los interacumuladores de las viviendas, donde se precalienta el agua y desde donde se alimenta el sistema de apoyo que también es individual.

De forma similar al caso anterior, los interacumuladores han de estar dimensionados para los consumos de cada vivienda.

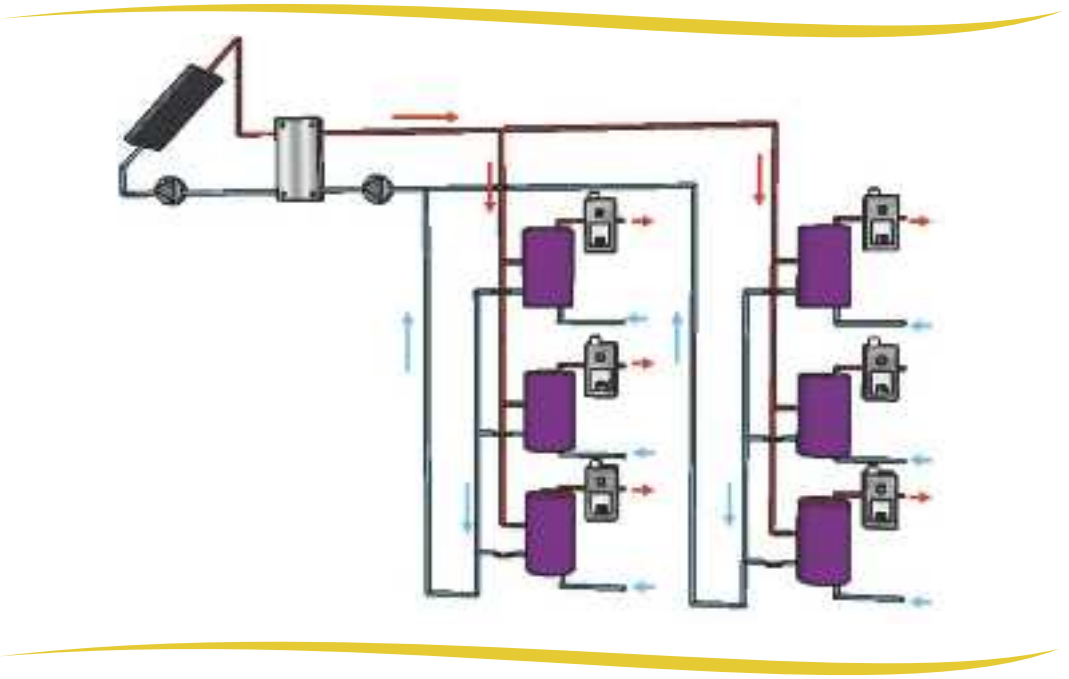


Figura 41. Instalación solar con sistema de acumulación individual.

Un caso particular de instalaciones con consumo individual se presenta en edificios donde la instalación es completamente individual para cada una de las viviendas. En algunos casos esta opción puede ser una de las más adecuadas.

4.5 Disposición de los colectores

El correcto diseño de la disposición de los colectores y su conexionado es fundamental para el buen funcionamiento de la instalación. Así una distribución uniforme de caudales es primordial para conseguir saltos de temperatura homogéneos con la consiguiente obtención de rendimientos similares en cada captador y un mayor rendimiento global.

A fin de dimensionar la instalación correctamente, se debe tener en cuenta que la temperatura que soporten los captadores y sus conexiones con el resto de la instalación debe ser la necesaria para soportar la temperatura alcanzada en el fluido caloportador en su interior. Asimismo, en el punto más alto de la batería de captadores, se instalará un sistema de purga de aire, constituido por botellines de desaireación y un purgador manual o automático.

Para estudiar las diferentes situaciones de conexionado, consideramos el captador solar plano de 2m^2 que dispone de cuatro bocas de conexión cerca de sus extremos. Consideramos que los colectores se agrupan en baterías y que éstas se unirán formando el campo de colectores.

AGRUPACIÓN DE CAPTADORES EN BATERÍAS.

El diseño de un sistema de captación solar requiere de un correcto equilibrado hidráulico manteniendo dichas condiciones inalterables a lo largo del tiempo. Los colectores han de estar colocados de una forma ordenada, en hileras, por lo que la superficie disponible puede condicionar en instalaciones grandes el total de colectores a instalar.

Respecto a la disposición de los colectores el Código Técnico de la Edificación especifica que:

- Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre, en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc. Además se instalará una válvula de seguridad por fila con el fin de proteger la instalación.

- Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante. En el caso de que la aplicación sea exclusivamente de ACS se podrán conectar en serie hasta 10m^2 en las zonas climáticas I y II, hasta 8m^2 en la zona climática III y hasta 6m^2 en las zonas climáticas IV y V.

- La conexión entre captadores y entre filas se realizará de manera que el circuito resulte equilibrado hidráulicamente recomendándose el retorno invertido frente a la instalación de válvulas de equilibrado.

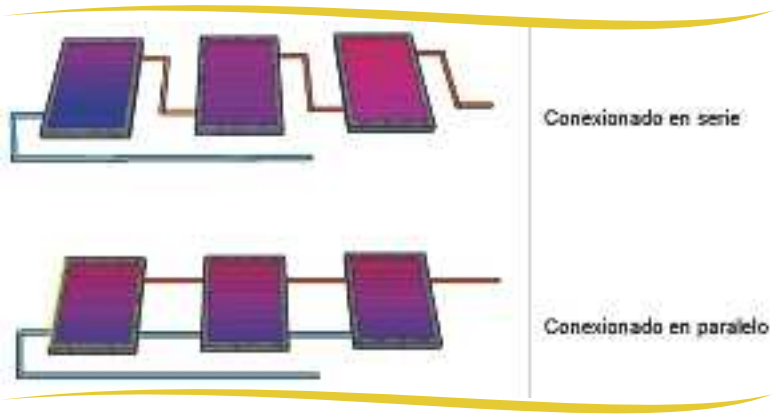


Figura 42. Disposición de los colectores en paralelo y en serie

En el conexionado en paralelo se hace circular el mismo caudal de fluido a través de cada captador siendo por tanto el caudal total la suma de los caudales individuales que circulan por cada uno de los captadores. De esta forma se consiguen mayores caudales de circulación que en el conexionado en serie.

Por el contrario, con el conexionado en serie se consiguen mayores temperaturas de fluido a la salida de los colectores, debido a que es el mismo caudal de entrada inicial el que pasa a través de todos los colectores produciéndose un aumento paulatino de la temperatura. Sin embargo perdemos eficiencia energética en los colectores ya que los saltos térmicos son cada vez menores a medida que aumenta el número de colectores en serie.

AGRUPACIÓN DE BATERÍAS.

Las baterías de colectores también se pueden conectar entre sí en paralelo o en serie tal como se aprecia en la siguiente figura.

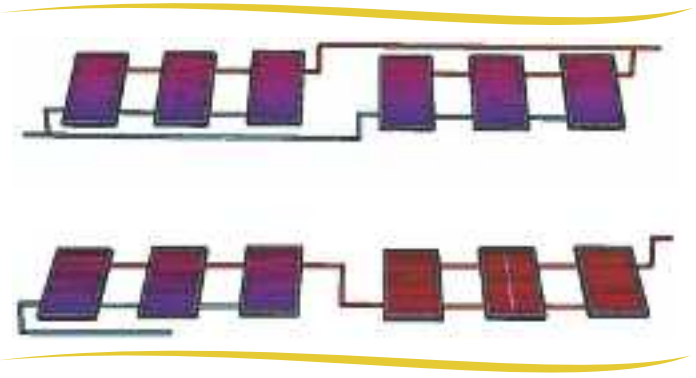


Figura 43. Disposición de las baterías en paralelo y en serie

En el conexionado en paralelo, los dos caminos deben tener las mismas pérdidas de carga para equilibrar así la instalación. El caudal total es el mismo por los dos ramales.

En el conexionado en serie el caudal total es la suma de los caudales de las baterías conexionadas en serie. La pérdida de carga total corresponde a la suma de las pérdidas de

carga de las baterías. A medida que se aumenta el número de baterías conexionadas en serie va disminuyendo el rendimiento de cada batería en relación a la anterior. El número máximo de baterías que se pueden conectar en serie manteniendo cada una un rendimiento aceptable depende de cada colector solar, hecho que será marcado por cada fabricante.

La longitud de las tuberías de conexión no ha de provocar unas pérdidas de carga significativas. Es recomendable que las pérdidas de carga de las tuberías no sobrepasen el 30% del total de pérdidas del sistema de captación.

Además de la disposición ordenada de las baterías se ha de tener en cuenta el equilibrado de caudales de la instalación. Decimos que un sistema está equilibrado cuando pasa el mismo caudal por cada batería de colectores. Esto se consigue de dos maneras:

- Conexionando las baterías en paralelo con retorno invertido, para que los caminos hidráulicos tengan la misma longitud y por lo tanto las mismas pérdidas.

Figura 44. Disposición de las baterías en paralelo con retorno invertido

- Colocando a la entrada de las baterías, reguladores de caudal que estrangulen el paso de agua a las baterías para que sea el mismo.

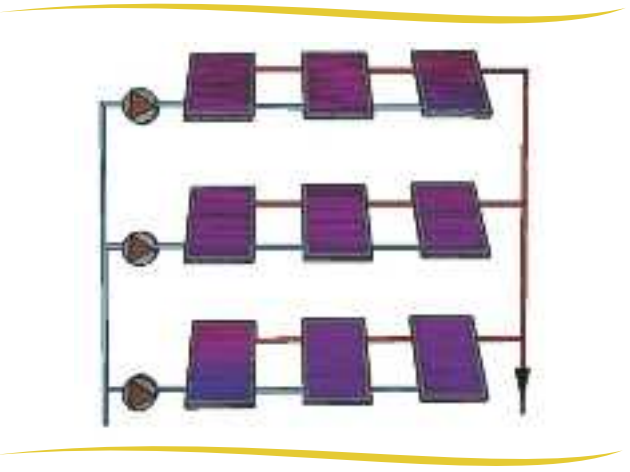


Figura 45. Disposición de las baterías en paralelo con válvulas de regulación

4.6 Conexionado de los acumuladores

Cuando sea necesario que el sistema esté formado por más de un depósito, se recomienda que los acumuladores se conecten en serie invertida en el circuito de consumo o en paralelo con los circuitos primarios y secundarios equilibrados.

A efectos de funcionamiento, dos o más depósitos iguales conectados en paralelo se comportan como un único acumulador con el volumen suma de los volúmenes individuales y altura la de uno de los acumuladores. Con este conexionado se consigue mantener una distribución más homogénea de temperaturas en todo el volumen de acumulación. Con objeto de asegurar el equilibrado hidráulico entre los acumuladores se recomienda emplear válvulas de regulación.

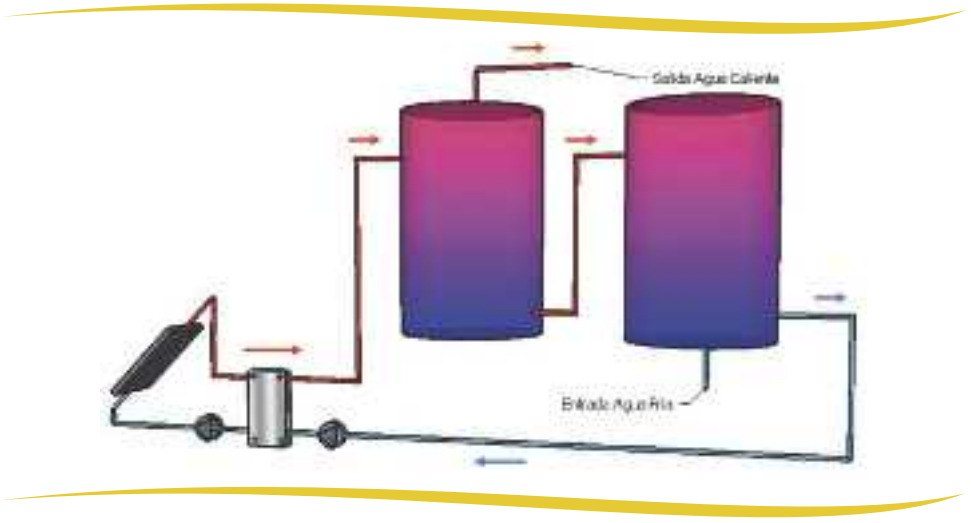


Figura 46. Conexión de aumuladores en serie invertida.

En la conexión en serie, a efectos de funcionamiento, varios acumuladores conectados en serie se comportan como un único acumulador con volumen igual a la suma de los volúmenes individuales y con altura igual a la suma de alturas de los acumuladores.

La conexión en serie permite obtener un mayor grado de estratificación de temperaturas en el sistema de acumulación, así como el mantenimiento del equilibrio hidráulico en el sistema de acumulación.

Por otra parte, también se recomienda que la conexión individual de los acumuladores permita la desconexión individual de cada uno de ellos sin interrumpir el funcionamiento de la instalación.

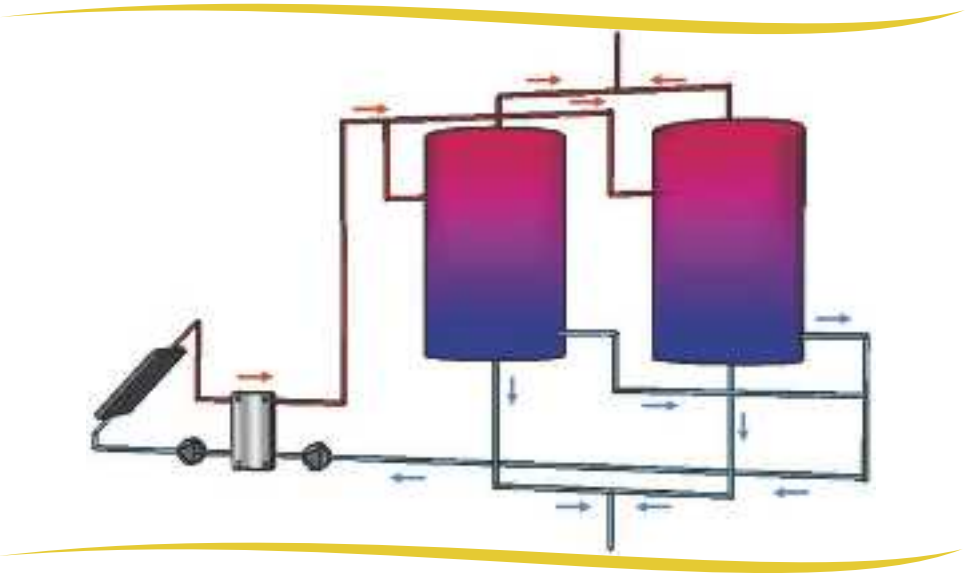


Figura 47. Conexión de acumuladores en paralelo.

4.7 Control de la temperatura de los colectores

Con estos sistemas se persigue proteger a los colectores frente a las heladas y los sobrecalentamientos. Se emplean varios métodos de control de la temperatura:

- Recirculación del fluido. Se activa para temperaturas ambientes superiores en unos 3ºC de la temperatura de congelación del fluido caloportador, para evitar que se hiele el fluido en el interior del acumulador. Este sistema es adecuado para aquellas instalaciones situadas en zonas donde el periodo de heladas no sea largo.

- Drenaje automático. Para el control de las temperaturas en el colector se emplean depósitos auxiliares a la salida del campo de acumuladores que están vacíos durante el normal funcionamiento de la instalación. Cuando la instalación deja de funcionar, se vacía el fluido de los colectores en el depósito auxiliar evitando así enfriamientos del líquido en el colector solar. Este método puede ser válido también para evitar sobrecalentamientos en los colectores.

- Disipador de calor mecánico, para la prevención ante sobrecalentamientos. Este dispositivo acoplado en la parte superior de los colectores solares, permite disipar calor cuando no circula el fluido a través de los mismos. Con esto se consigue que el calentamiento que pueda sufrir el colector debido a las altas temperaturas se mitigue por las pérdidas en el intercambiador de calor con el aire posibilitando unas mejores condiciones de funcionamiento. Las temperaturas máximas de trabajo se alcanzan cuando la irradiación es mayor y cuando el consumo de agua es menor. Esta situación puede producirse por ejemplo en periodos estivales cuando los inquilinos de la vivienda no están en la misma.

Este disipador es válido para periodos largos de inactividad del colector solar o en caso de avería de la bomba o de cualquier otro elemento que no deje circular el fluido por el circuito primario.

Además este dispositivo puede evitar también el sobrecalentamiento del colector cuando la demanda de agua caliente no es elevada.

Figura 48. Disipador de calor en colector

- Tapado parcial de los colectores. Durante el montaje de la instalación es conveniente el tapado de los colectores cuando se prevea que incidirá sobre los mismos elevados niveles de irradiancia.

5. Diseño y dimensionado

5 Diseño y dimensionado

5.1 Orientación e inclinación de los captadores.

A fin de conseguir maximizar la producción energética de una instalación solar se ha de tener en cuenta que la radiación solar incidente sobre los captadores solares depende de la orientación y del ángulo de inclinación sobre el plano horizontal.

Como se vio en el apartado de radicación solar, el azimut y la altura solar a lo largo de un día y a lo largo del año no es constante. Por esta razón la situación óptima en una instalación solar se obtendría con una superficie cuya orientación e inclinación siguiera la posición del sol. No obstante, en las instalaciones solares térmicas de baja temperatura los captadores solares planos se fijan en una determinada posición. Debido a ello es muy importante elegir una correcta orientación e inclinación de los captadores a fin de maximizar la energía útil proporcionada por los captadores. Tal orientación no tiene porqué ser aquella que maximiza la energía que llega a los captadores con independencia del consumo, porque éste y su distribución en el tiempo son determinantes en el diseño de la instalación solar. Así, por ejemplo, una instalación para consumos mayoritariamente desplazados a los meses de invierno requiere inclinaciones de 50 ° o más, mientras que si el consumo se concentra en verano la inclinación óptima rondará los 30º. En cambio la máxima radiación llegará a los captadores cuando estos tengan una inclinación de unos 40º, la más favorable para un consumo (demanda) constante a lo largo del año.

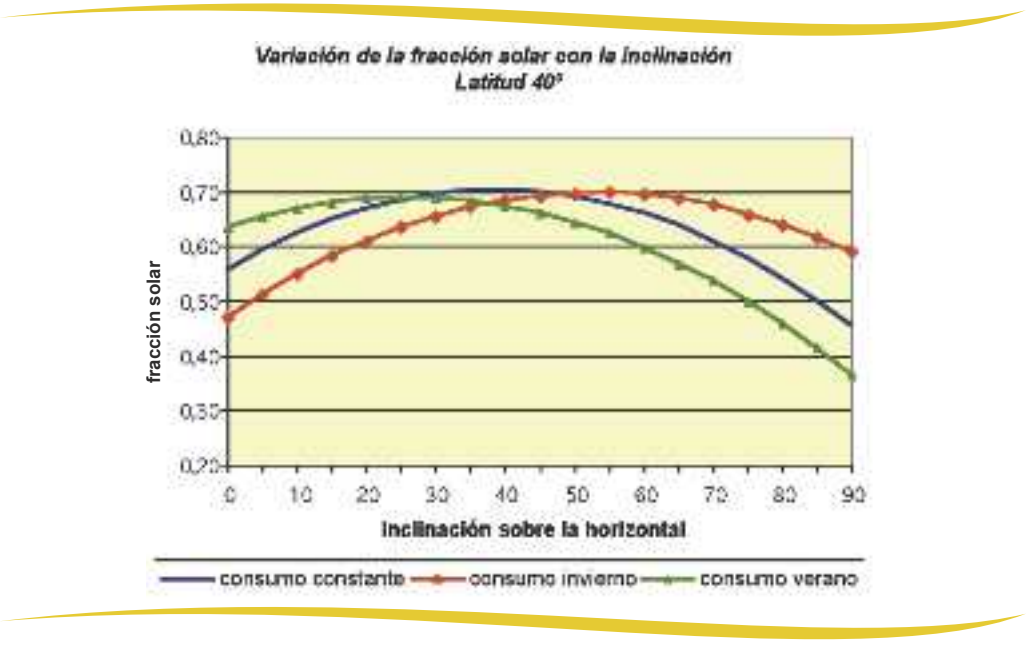


Figura 49. Fracción solar para distintos consumos anuales

La figura 49 muestra cómo varía la fracción solar (energía útil aportada por el sol) con la inclinación de los captadores, en una instalación diseñada para un consumo constante de agua a lo largo del año, o para consumo preferente en invierno y para un consumo preferente en verano, en un lugar situado a 40º de latitud. Puede observarse que el aporte máximo se produce para una inclinación igual a la latitud del lugar cuando el consumo es constante y aproximadamente para 55º cuando el consumo se desplaza a invierno. Si lo hace a los meses de verano la mejor inclinación se desplaza a 25-30º

En la figura siguiente se muestra la variación porcentual de la irradiación solar global anual frente a la inclinación y la orientación.

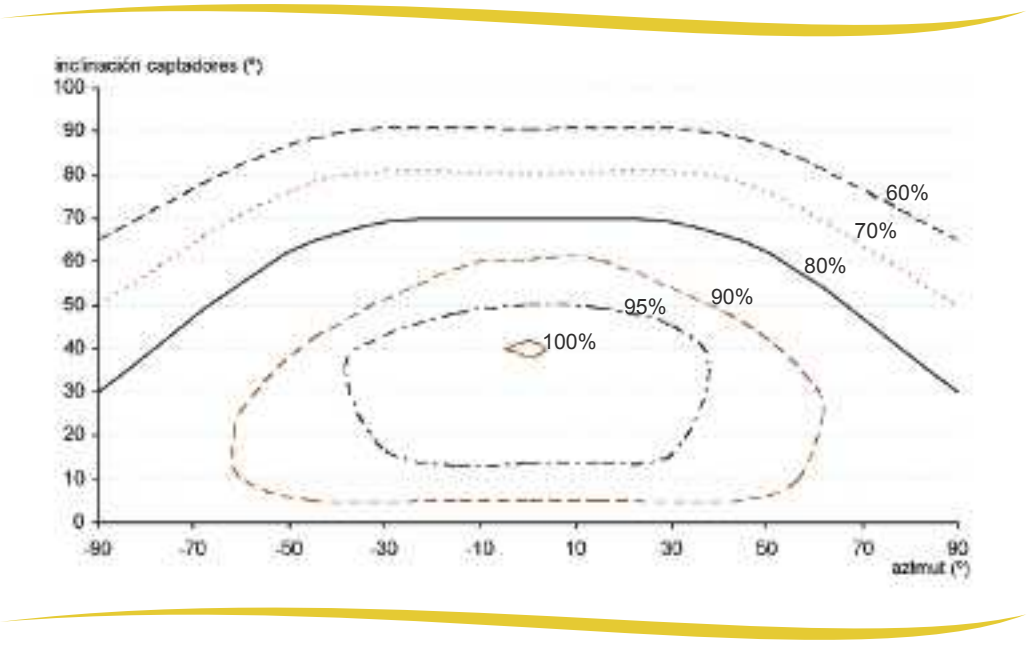


Figura 50. Valores porcentuales sobre el máximo de la irradiación solar global anual en una superficie inclinada

En la figura 50 se observa que independientemente de la inclinación, la orientación sur es la que consigue los valores máximos de irradiación solar global anual. Asimismo se aprecia que variaciones de hasta 20° respecto al sur no afectarán sensiblemente al rendimiento.

El ángulo de inclinación de los colectores sobre un plano horizontal se determinará teniendo en cuenta dos factores: la latitud geográfica y el periodo de utilización del equipo solar térmico. El Código Técnico de la Edificación (CTE) establece los siguientes ángulos de inclinación en función de la latitud (β) de la instalación:

Periodo de utilización	Inclinación de los colectores
Anual, con consumo constante	β
Preferentemente en invierno	β + 10°
Preferentemente en verano	β - 10°

Tabla 9. Inclinaciones de los colectores solares recomendadas por el CTE

Se admiten en cualquiera de los tres casos desviaciones de (β ± 10)° como máximo.

5.2 Cálculo de la demanda

La demanda de energía térmica para la producción del agua caliente se ha de determinar con anterioridad al cálculo de la instalación solar. Los factores que influyen en esta demanda son el consumo de agua caliente, la temperatura de uso del agua caliente y la temperatura de entrada de agua fría de la red.

Para el cálculo de las necesidades energéticas se emplea la siguiente fórmula:

$$Q_a = C_{dia} \cdot N \cdot c_f \cdot (t_m - t_{AF})$$

donde

Q_a: es la carga calorífica mensual de calentamiento de ACS en MJ/mes

C_{dia}: es el consumo diario de agua a la temperatura T_{acs} en litros/día

N: es el número de días del mes considerado

c_f: es el calor específico, que para el agua es de 4,187 J/kg °C

tm: es la temperatura media del agua referencia utilizada para el agua caliente sanitaria en °C.

t_{AF}: es la temperatura del agua de la red en °C.

5.2.1 Consumo de agua caliente

El consumo de agua caliente es uno de los factores que más influyen en el funcionamiento de una instalación solar, por lo que la determinación correcta de este valor es un factor decisivo a la hora de dimensionar una instalación.

Cuando se trata de una instalación sobre un edificio construido donde existe ya una demanda de agua caliente, se recomienda que, si es posible, la determinación del consumo de agua caliente se realice a partir de medidas previas de este consumo realizadas durante un periodo de tiempo suficientemente representativo.

En la práctica, generalmente no se dispone de estas mediciones, bien por no existir contadores del agua consumido o por ser un edificio en fase de proyecto. La estimación de la demanda de agua caliente se realiza en estos casos utilizando valores medios de referencia que van en función del uso del edificio: viviendas, hospitales, hoteles, lavanderías, etc.

La temperatura de uso habitualmente empleada en las instalaciones de agua caliente sanitaria es de 45ºC, por lo que se han tomado en consideración los consumos propuestos por la norma UNE 94002:2004 para una temperatura de uso del agua de 45 °C. Estos consumos de referencia se muestran en la tabla siguiente.

Consumos según el uso	consumo unitario (l/día)	
Vivienda	40	por persona
Hospitales y clínicas	80	por persona
Ambulatorio y centro de salud	60	por persona
Hotel *****	100	por persona
Hotel ****	80	por persona
Hotel ***	60	por persona
Hotel/hostal **	50	por persona
Hotel/pensión *	40	por persona
Camping	30	por persona
Residencia (ancianos, estudiantes, etc.)	60	por persona
Centro penitenciario	40	por persona
Albergue	35	por persona
Vestuarios/duchas colectivas	30	por persona
Escuela sin duchas	6	por persona
Escuela con duchas	30	por persona
Cuarteles	40	por persona
Fábricas y talleres	30	por persona
Oficinas	3	por persona
Gimnasios	30	por persona
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	12	por persona
Cafeterías	2	por persona

Tabla 10. Demanda de referencia a 45ºC.

El consumo de agua caliente a una temperatura distinta a la de referencia de 45 ºC, se calculará con la expresión:

$$D_T = D_{ref} \cdot \left(\frac{T_{ref} - T}{T - T_{AF}} \right)$$

siendo,

D_{ref}: consumo de agua caliente a 45ºC obtenido de la tabla (l/día)

T: temperatura del acumulador final (ºC)

T_{ref}: temperatura de referencia (45ºC)

T_{AF}: temperatura del agua fría (ºC)

D_T: es el consumo equivalente de agua a la temperatura T (l/día).

5.2.2 Temperatura de utilización

Como se ha visto en el apartado anterior, el consumo de agua caliente va asociado a una temperatura determinada.

En los edificios cuyo uso no sea exclusivo en vivienda, el cumplimiento de la legislación para la prevención y el control de la legionelosis exige unos valores mayores para la temperatura de preparación del agua caliente sanitaria, siendo normalmente la temperatura de diseño elegida de 60ºC.

El Código Técnico de la Edificación utiliza como temperatura de referencia la de 60ºC. A partir de esta temperatura de referencia se obtiene la tabla de demandas de agua caliente para las diferentes tipologías de utilización, para lo cual se utiliza también la norma UNE 94002:2005. La tabla de referencia a 60ºC utilizada por el Código Técnico se muestra en el anexo II.

5.2.3 Temperatura de entrada del agua fría

La demanda de energía térmica depende directamente de la temperatura del agua fría, de manera que la demanda de energía aumenta conforme disminuye la temperatura de entrada del agua fría.

La temperatura del agua fría depende de varios factores, tales como la climatología de la zona, la época del año, el sistema de abastecimiento, etc.

La temperatura media del agua de la red general en °C para las tres capitales de provincia de la Comunidad Valenciana, según la norma UNE 94002:2005, se puede tomar de la siguiente tabla:

	Altura (m)	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Alicante	7	11,2	11,7	12,6	13,9	15,8	18,1	20,0	20,3	18,8	16,2	13,4	11,5
Castellón	18	10,2	10,9	11,9	12,9	14,9	17,5	19,4	19,6	18,3	15,6	12,5	10,9
Valencia	8	10,4	11,1	11,8	13,1	15,0	17,4	19,3	19,6	18,2	15,6	12,6	10,7

Tabla 11. Temperatura media del agua de la red general (ºC)

Para cualquier localidad Y que no sea capital de provincia, la temperatura de agua fría mensual (T_{AFY}) se obtiene a partir de la temperatura de agua fría de su capital de provincia (T_{AFCP}), aplicando la expresión recogida en la mencionada norma UNE:

$$T_{AFY} = T_{AFCP} - B \cdot \Delta z$$

siendo:

Δz : diferencia de altura (en metros), entre la altura de la localidad y la altura de la capital de provincia, indicada en la tabla anterior. Si la localidad está a mayor altura que la capital, Δz es positivo, siendo negativo en caso contrario.

B : es una constante que toma los siguientes valores:

B = 0,0066 para los meses de octubre a marzo

B = 0,0033 para los meses de abril a septiembre

En la gráfica siguiente se muestra la distribución de temperatura del agua fría a lo largo del año y la diferencia de temperatura entre ésta y la de consumo:

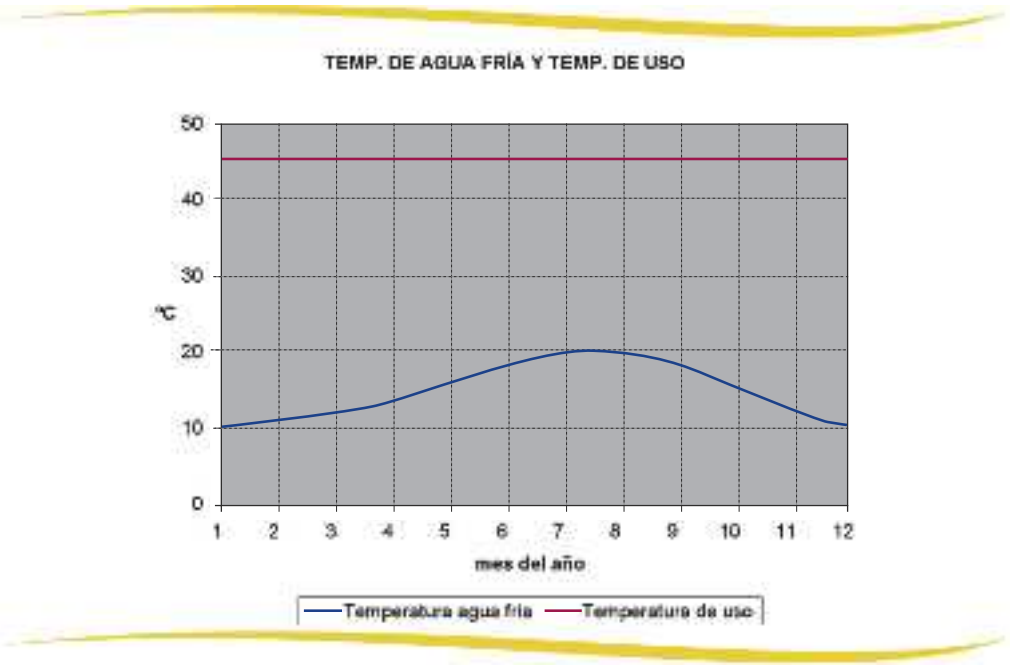


Figura 51. Temperatura de agua fría y temperatura de utilización.

A partir de esta diferencia de temperaturas se ha obtenido la curva de demanda de energía térmica, en la cual se observa que esta demanda es superior en los meses de invierno debido a la menor temperatura del agua fría.

Figura 52. Variación de la demanda de ACS a lo largo del año.

5.3 Diseño de la instalación

5.3.1 Conceptos básicos

El objetivo básico del sistema solar es proporcionar al usuario una instalación que optimice el ahorro energético global en combinación con el resto de equipos térmicos del edificio, buscando minimizar el coste del sistema de producción de agua caliente sanitaria (inversión más costes de operación).

El dimensionado de la instalación se realiza generalmente en base al porcentaje de cobertura de la demanda de agua caliente que se pretende cubrir con la instalación solar, denominado también contribución solar o fracción solar:

Se define la fracción solar como el cociente entre los valores anuales de la energía solar aportada y la demanda energética anual:

$$FS = \frac{Q_s}{Q_{ACS}} (\%)$$

donde Q_s es la demanda de ACS cubierta mediante la instalación solar y Q_{ACS} es la demanda térmica total de ACS.

Otro factor importante a la hora de diseñar una instalación solar es el rendimiento de la instalación, definido como el cociente entre la energía térmica aportada por la instalación solar y la energía solar incidente sobre los captadores solares de la instalación:

$$\eta_a = \frac{Q_s}{E \cdot A} (\%)$$

donde η_a es el rendimiento anual de la instalación, Q_s es la energía térmica anual producida por la instalación solar, E es la irradiación anual y A es la superficie de captación.

Manteniendo constante el resto de factores de la instalación, a medida que aumenta la superficie de captación aumenta la cantidad de energía aportada por la instalación y por tanto también aumenta la fracción solar. Sin embargo, la cantidad aportada por cada metro cuadrado de paneles disminuye, y por tanto cada metro cuadrado adicional es menos eficiente en términos energéticos. Además, también disminuye el rendimiento de la instalación, tal y como se muestra en la figura 51.

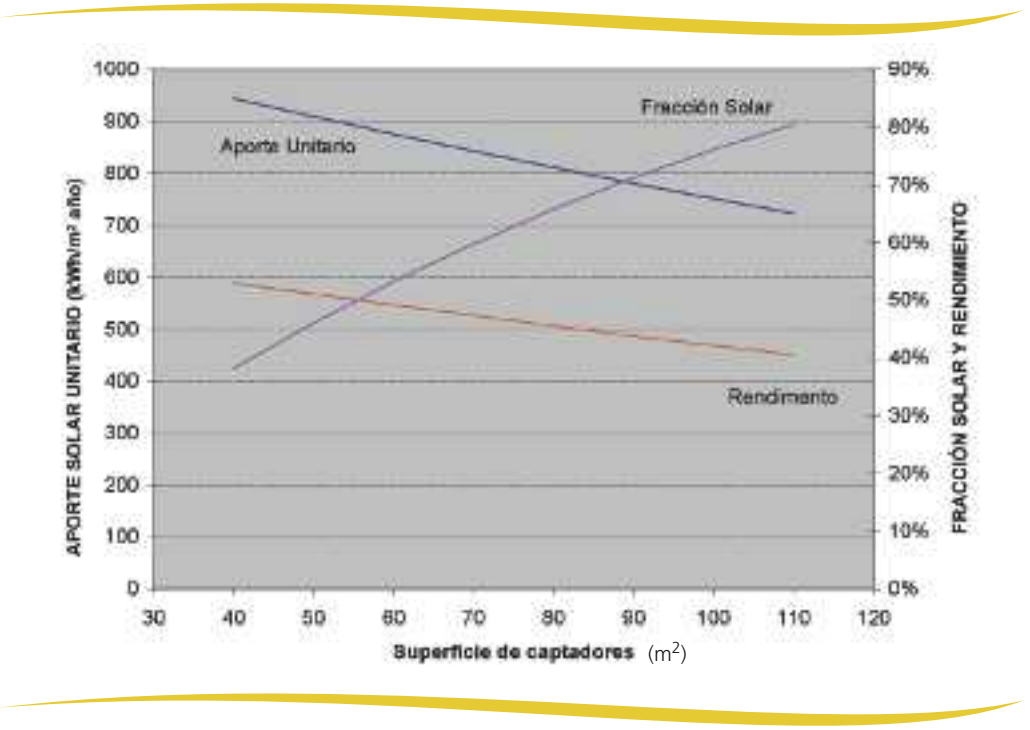


Figura 53. Variación del aporte unitario, fracción solar y rendimiento con el área de captación.

La disminución del aporte unitario, al aumentar la superficie de captación, es debida a que también aumenta la temperatura de entrada de agua a los colectores, y por tanto disminuye el rendimiento de los paneles.

5.3.2 Aporte de energía de la instalación solar

El dimensionado básico de una instalación solar para la producción de agua caliente sanitaria consiste en determinar la superficie de captación y el volumen de acumulación. Este cálculo se realiza generalmente en función de la fracción solar o porcentaje de cobertura de la demanda que se pretende conseguir con la instalación solar.

Las viviendas unifamiliares generalmente se diseñan de manera que la instalación cubra aproximadamente el 100% de la demanda durante los meses de verano y no resulte casi necesario el sistema de apoyo durante estos meses. Durante el resto de los meses, la demanda no satisfecha por el sistema solar es cubierta por el sistema de apoyo. De esta manera se consigue un grado de cobertura anual o fracción solar del orden del 70%. En la figura 54 se muestran la demanda y el aporte solar para una instalación diseñada de esta manera.

De esta forma es como se optimiza el aprovechamiento energético de la instalación: se alcanza un alto grado de cobertura de la demanda, minimizando los excedentes de energía de manera que se aprovecha toda la energía producida por la instalación. De acuerdo con este objetivo, en España generalmente se dimensionan las instalaciones solares de manera que la fracción solar anual esté comprendida entre el 60% y el 80%.

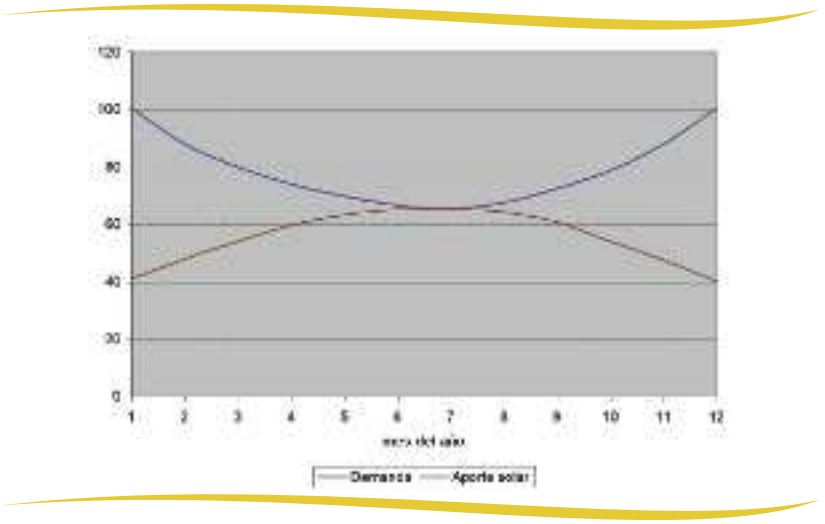


Figura 54. Demanda y aporte solar para una vivienda unifamiliar.

Buscando también este objetivo básico de máximo aprovechamiento y utilización, el Código Técnico de la Edificación fija la contribución solar mínima que ha de cumplir la instalación solar, en función de la zona climática y de la demanda de agua caliente del edificio. Estos valores de contribución mínima se muestran en el anexo III.

5.3.3 Dimensionado básico. Método f-chart.

El dimensionado básico de una instalación solar para la producción de agua caliente consiste en la determinación de la superficie de captación y del volumen de acumulación.

El método f-chart (ver anexo IV) es el más utilizado para el dimensionado básico de las instalaciones solares térmicas. Este método permite calcular la aportación de energía de un sistema solar, es decir, su contribución al calor total necesario para cubrir la demanda térmica, y su rendimiento medio para prolongados períodos de tiempo.

Está basado en correlaciones obtenidas a partir de multitud de datos experimentales. Resulta muy fácil de utilizar y, para el nivel de exigencia que se requiere, aporta generalmente resultados anuales adecuados.

La ecuación que se utiliza en este método es la siguiente:

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

siendo:

f: fracción solar, que se calcula mes a mes

D_1: es el cociente entre la energía absorbida por los captadores y la demanda calorífica mensual. Depende de la radiación media del mes y del factor de eficiencia óptica de los paneles solares.

D_2: es el cociente entre la energía que pierden los captadores y la demanda calorífica mensual. Depende del coeficiente de pérdidas de los paneles, de la temperatura del ACS, de la temperatura del agua de red, de la temperatura media mensual del ambiente y del volumen de acumulación.

El factor óptico y el factor de eficiencia de los paneles se obtienen a partir de la curva de rendimiento de los colectores, suministrada por el fabricante.

La secuencia de cálculo suele ser la siguiente:

1. Valoración de las demandas mensuales de agua caliente.

2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada de los captadores.

3. Cálculo del parámetro D_1.

4. Cálculo del parámetro D_2.

5. Determinación de la fracción solar f utilizando la fórmula.

6. Valoración de la cobertura solar mensual.

7. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

8. Comparación de la cobertura anual calculada con la que se quiere alcanzar. Si no coinciden se supone otra superficie de captación y se repite el cálculo.

Se trata de un cálculo iterativo porque se ha de ir variando la superficie de captación hasta conseguir que la cobertura solar anual calculada coincida con la cobertura deseada.

El f-chart es un método de cálculo que se encuentra ampliamente informatizado, la mayoría de programas que se encuentran en el mercado para el diseño de instalaciones solares están basados en este procedimiento.

En la práctica, el proceso consiste en determinar el área de captación y el volumen de acumulación con los que se cumplen los objetivos fijados para el grado de cobertura de la demanda. Generalmente se diseña el acumulador para almacenar aproximadamente una cantidad de agua caliente correspondiente a la demanda diaria y, a partir de ahí, se realiza un tanteo para ver qué superficie de captadores es la que satisface el objetivo de cobertura solar. A continuación se muestra un ejemplo en el que se observa la tabla y el gráfico con la que generalmente se presentan los resultados con este método.

F-CHART. EJEMPLO DE CÁLCULO

DATOS DE PARTIDA:

Ubicación: Valencia

Demanda de ACS: 8.000 litros/día

Temperatura ACS: 45ºC

Cobertura de la demanda: 70%

Factor óptico del captador: 0,67

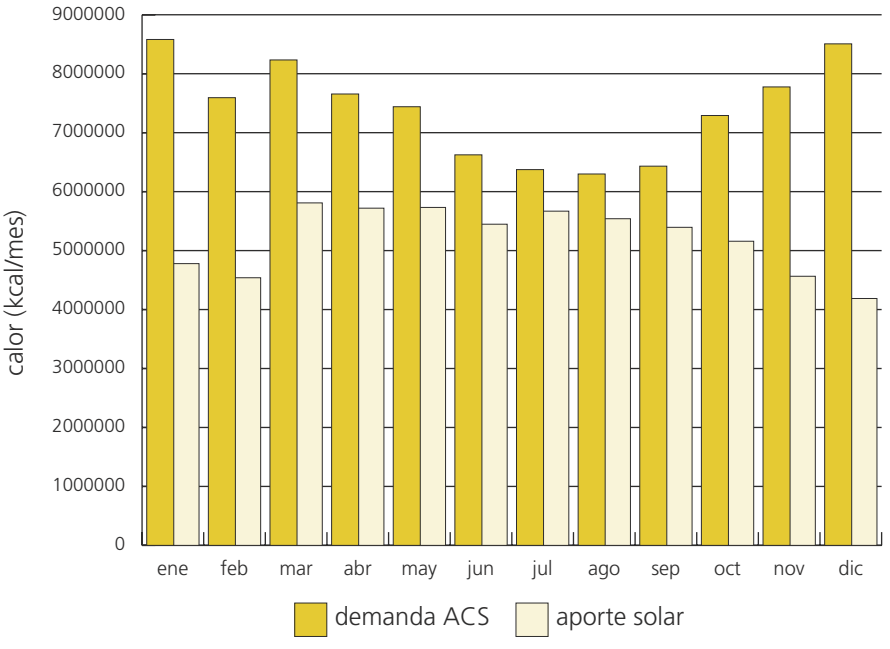
Coeficiente de pérdidas del captador: 3,14

SUPERFICIE DE CAPTACIÓN: 92 m^2

VOLUMEN DE ACUMULACIÓN: 8.000 litros

ÁNGULO DE INCLINACIÓN: 40º

Mes	Días	Ocup %	T amb ºC	T agua ºC	Demanda ACS kcal/mes	Demanda ACS l/mes	Aporte solar kcal/mes	Aporte solar %	η %
ene	31	100	11,5	10,4	8.580.800	248.000	4.778.924	55,7	44,7
feb	28	100	12,3	11,1	7.593.600	224.000	4.539.392	59,8	44,2
mar	31	100	14,0	11,8	8.233.600	248.000	5.808.887	70,6	43,3
abr	30	100	15,2	13,1	7.656.000	240.000	5.719.541	74,7	42,3
may	31	100	17,9	15,0	7.440.000	248.000	5.732.020	77,0	41,5
jun	30	100	21,9	17,4	6.624.000	240.000	5.447.304	82,2	40,3
jul	31	100	24,6	19,3	6.573.600	248.000	5.668.825	88,9	38,7
ago	31	100	24,8	19,6	6.299.200	248.000	5.540.523	88,0	38,7
sep	30	100	23,4	18,2	6.432.000	240.000	5.394.668	83,9	39,9
oct	31	100	19,2	15,6	7.291.200	248.000	5.158.578	70,6	42,1
nov	30	100	14,9	12,6	7.776.000	240.000	4.564.489	58,7	43,9
dic	31	100	12,5	10,7	8.506.400	248.000	4.187.546	49,2	44,9
total	365	100	17,7	14,6	88.806.400	2.920.000	62.540.898	70,4	41,8



5.3.4 Método orientativo a partir del rendimiento medio

El método de cálculo utilizando el rendimiento medio es el procedimiento más sencillo para calcular el área de captación. Este método emplea la fórmula:

$$f = \frac{A \cdot E_A \cdot \eta_m}{D_{ACS}}$$

donde

f : fracción o aportación solar (%)

A : área de captación (m^2)

E_A : irradiación solar anual disponible sobre el plano de captación (MJ/m^2)

η_m : rendimiento medio de la instalación (%), tomamos de forma empírica un rendimiento medio del 40%.

D_{ACS} :demanda térmica anual de energía (MJ)

A partir de esta expresión, el área de captación se calcula de la siguiente manera:

$$A = \frac{f \cdot D_{ACS}}{E_A \cdot \eta_m}$$

Conocida la demanda de agua caliente y el valor de la fracción solar o cobertura solar de la demanda que se quiere conseguir, se busca el valor de la irradiación anual en las tablas de anexo I. A partir de estos valores la fórmula anterior nos dará el valor de la superficie necesaria para alcanzar ese grado de cobertura de la demanda.

Es un cálculo aproximado porque el rendimiento medio depende del diseño de la instalación, principalmente de la curva de rendimiento de los paneles solares utilizados, pero nos puede dar una idea orientativa de la superficie de captación necesaria.

RENDIMIENTO MEDIO. EJEMPLO DE CÁLCULO

DATOS DE PARTIDA:

Ubicación: Valencia

Demanda de ACS: 8.000 litros/día

Temperatura ACS: 45ºC

Demanda térmica: 363.243 MJ/año

Cobertura de la demanda: 70%

Inclinación de los paneles: 40º

Irradiación anual: 6.740 MJ/m2

Rendimiento medio anual: 40%

ÁREA DE CAPTACIÓN

$$A = \frac{f \cdot D_{ACS}}{E_{\perp} \cdot \eta_m} = \frac{0{,}7 \cdot 363.243}{6.740 \cdot 0{,}4} = 94\ m^2$$

5.3.5 Dimensionado del volumen de acumulación

Según el Código Técnico de la Edificación, para la aplicación de ACS, el volumen de acumulación tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

donde,

A es la suma de las áreas de los captadores, en m^2.

V es el volumen del depósito acumulador, expresado en litros.

Normalmente se recomienda seleccionar un volumen de acumulación similar al consumo diario de agua caliente. Para valores más altos, a pesar de aumentar la energía almacenada en el acumulador, esta energía no se aprovecha ya que la demanda de agua caliente es inferior al volumen acumulado.

5.3.6 Dimensionado del intercambiador

De acuerdo con el Código Técnico de la Edificación, para el caso de intercambiador independiente, a potencia mínima del intercambiador se determinará para las condiciones

de trabajo en las horas centrales del día, suponiendo una radiación solar de 1000 W/m^2 y un rendimiento de la energía solar a calor del 50%, cumpliéndose la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

siendo,

P : la potencia del intercambiador (W)

A : el área de captadores (m^2)

Para el caso de intercambiador incorporado al acumulador, la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0'15.

5.3.7 Vaso de expansión

El vaso de expansión se calcula de forma similar a la utilizada para instalaciones convencionales, según la norma UNE 100-155, modificada para tener en cuenta la vaporización del fluido de trabajo a elevadas temperaturas, de acuerdo con la siguiente expresión (Hausner & Fink, 2002):

$$Vt = (V \cdot C_e + V_{min} + V_{vap}) \cdot Cp$$

donde

V_t: volumen total del vaso de expansión (l)

V: volumen del fluido de trabajo de la instalación (l)

V_{min}: volumen mínimo de fluido en el vaso de expansión (l)

V_{vap}: volumen de vaporización (l)

C_e: coeficiente de expansión o dilatación del fluido

C_p: coeficiente de presión

C_e depende del tipo de fluido y de los valores máximos y mínimos que pueden alcanzar las temperaturas en el fluido de la instalación. Es un coeficiente menor que la unidad que toma los siguientes valores:

Diferencia de temperaturas del fluido (°C)	C_e	
	Sin anticongelantes	Con anticongelante
100	0,050	0,065
120	0,045	0,060

Tabla 12: Cálculo del coeficiente Ce

El coeficiente de presión (C_p) relaciona el volumen total y el volumen útil del vaso de expansión de la forma $C_p = V_t / V_u$. Para vasos de expansión cerrados empleamos la expresión:

$$C_p = \frac{P_{max} + 1}{P_{max} - P_{min}}$$

donde Pmax y Pmin representan la presión máxima y mínima respectivamente en el vaso de expansión. Estas presiones vienen en términos de "presiones absolutas", las cuales se obtienen a partir de las "manométricas" ($P_{abs} = P_{man} + 1$).

La presión mínima será la necesaria para que no entre aire en el circuito, aproximadamente 0,5 bares por encima de la presión atmosférica. Además se debe considerar que el vaso de expansión se coloca por debajo de los colectores solares, por lo que se sumará la presión estática del mismo, por lo que tenemos:

$$P_{min} = 0,5 + P_{min} + h(m) \cdot 0,1 bar/m$$

La presión máxima debe ser menor a la presión de tarado de la válvula de seguridad (P_{vs}) en aproximadamente 0,3 bares, es decir:

$$P_{max} = P_{vs} - 0,3$$

5.3.8 Bomba de circulación

La bomba de circulación se debe elegir en función de su curva característica definida por el caudal de circulación y la altura manométrica del punto de funcionamiento, debiéndose elegir aquella bomba cuya intersección entre estos dos parámetros coincida con la curva de la bomba (ver Figura 55). Estas curvas características vienen suministradas por cada fabricante.

El caudal de circulación se calcula en función del caudal unitario de cada captador (suministrado generalmente por el fabricante) y el número de ellos, teniendo en cuenta su disposición en serie o en paralelo.

La altura manométrica debe compensar las pérdidas de carga del circuito primario de captación. Las pérdidas de carga se calcularán como la suma de las pérdidas de carga de las tuberías de la instalación más las pérdidas debidas a los diferentes elementos que componen la misma (válvulas, curvas...). De forma sencilla se calculan las pérdidas de carga estableciendo una longitud equivalente de tubería que produce la misma pérdida de carga que el elemento en cuestión (ver Anexo VII).

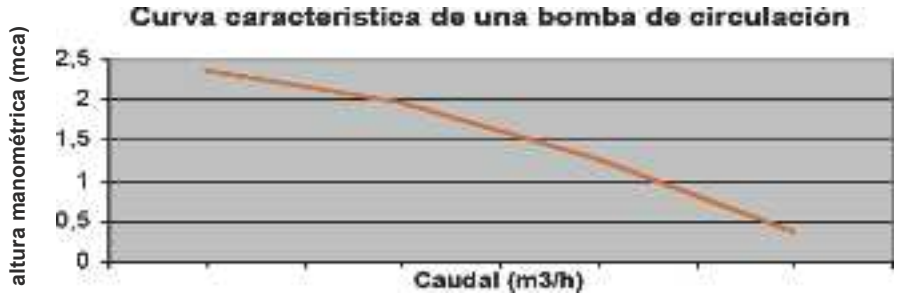


Figura 55: Gráfico ejemplo de cálculo de la bomba conociendo las pérdidas de carga y el caudal

Las bombas con regulación de velocidad permiten variar el caudal de circulación impulsado por la bomba. La utilización de estas bombas, junto con un sistema de control y regulación adecuado, permite optimizar el funcionamiento de una instalación solar.

De acuerdo con el Código Técnico, la potencia eléctrica de la bomba no debería exceder de los valores que se muestran en la siguiente tabla.

Sistema	Potencia eléctrica de la bomba
Sistema pequeño	50 W o 2% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores.
Sistema grande	1% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores.

Tabla 13. Potencia eléctrica máxima de la bomba

5.4 Las sombras en una instalación solar

Para obtener el máximo aprovechamiento de un sistema de energía solar se deberá tener en cuenta las posibles zonas de sombra que se puedan producir sobre los captadores a lo largo de todo el día.

El primer criterio que se establecerá será evitar cualquier tipo de sombra para no reducir la radiación recibida por los colectores solares y, si ésta se produjera inevitablemente, que la zona sombreada no supere un 20% del total de superficie y sobretodo que no se produzca durante las horas centrales del día (máxima radiación incidente). En el caso de existencia de vegetación no sólo habrá que tener en cuenta las posibles sombras que produce en ese momento sino que habrá que tener en cuenta el futuro crecimiento de la misma, así como la pérdida de hojas de los árboles caducifolios en periodo invernal.

Para determinar la distancia entre filas de colectores se utiliza el siguiente criterio:

$$d = k \cdot h$$

donde

d : es la separación entre filas de colectores,

L : es la longitud del captador,

h : es la altura del colector (ambas magnitudes expresadas con la misma unidad de medida) h = L ·sen β, siendo β el ángulo del colector respecto a la horizontal (inclinación del colector),

k : es el coeficiente cuyo valor se obtiene de la siguiente tabla, en función de la inclinación de los captadores.

Inclinación (º)	20	25	30	35	40	45	50	55
Coeficiente k	1,532	1,638	1,732	1,813	1,879	1,932	1,970	1,992

Tabla 14 . Coeficiente de inclinación. Fuente: RITE

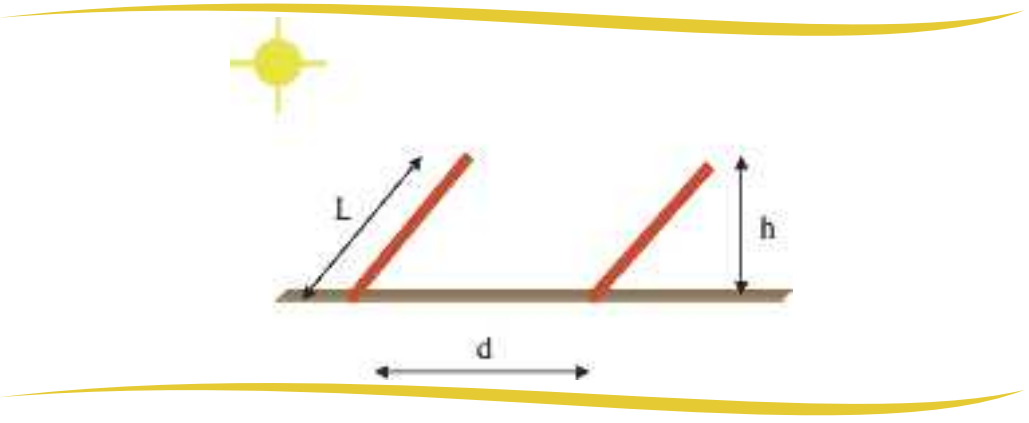


Figura 56. Esquema cálculo separación de filas de captadores

En el caso de que haya elementos circundantes al edificio que puedan producir sombras sobre los captadores solares, se ha de realizar el cálculo de las pérdidas de radiación solar que va a experimentar la instalación debido a estas sombras.

El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del sol. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Localización de los principales obstáculos, en términos de sus coordenadas de posición acimut (ángulo de desviación respecto al sur) y elevación (ángulo de inclinación respecto a la horizontal).

2. Representación del perfil de obstáculos en el diagrama de la figura 57 en el que se muestra la banda de trayectorias del sol a lo largo de todo el año, válido para localidades de la península y Baleares. Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de este) e identificadas por una letra y un número (A1, A2, etc).

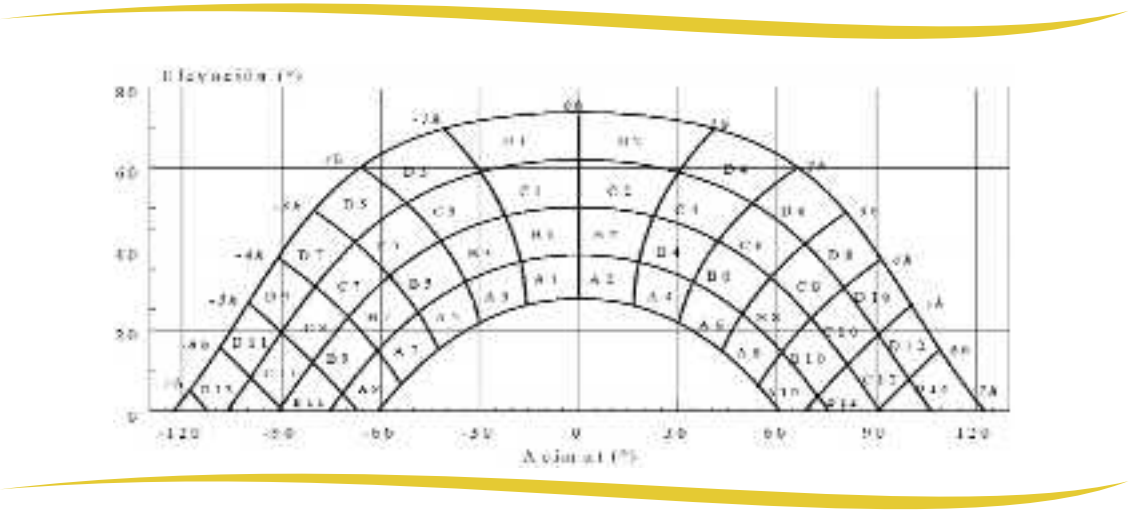


Figura 57. Diagrama de trayectorias del sol

3. Cada una de las porciones de la figura 57 representa el recorrido del sol en un cierto periodo de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, en particular aquella que resulte interceptada por el obstáculo. Debe escogerse para el cálculo la tabla de referencia más adecuada de entre las que se incluyen en el anexo VI.

4. La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año. Para ello se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto al total de la porción) más próximo a los valores 0'25, 0'50, 0'75 ó 1.

Las tablas de referencia que aparecen en el anexo VI se refieren a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y azimut (β y α respectivamente). Ha de escogerse la tabla que resulte más parecida a la superficie de estudio. Los números que figuran en cada casilla se corresponden con el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.

Con la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, los requisitos que ha de cumplir la instalación en cuanto a pérdidas por orientación, inclinación y sombras, vienen fijados por los siguientes valores.

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

Tabla 15. Pérdidas límite

6. Aplicaciones de la energía solar térmica

6 Aplicaciones de la energía solar térmica

6.1 Producción de agua caliente sanitaria

Es con diferencia la principal aplicación de la energía solar térmica, debido a las bajas temperaturas de preparación y a la homogeneidad de su consumo a lo largo del año, lo que hace que las instalaciones de energía solar térmica presenten buenos rendimientos para la producción de agua caliente sanitaria y que también resulte interesante a nivel económico a la hora de disminuir los costes energéticos de una instalación.

Esto también es válido para otras actividades que presenten un consumo regular a lo largo del año de agua caliente a baja temperatura, como puede ser una lavandería, donde se pueden alimentar las lavadoras con agua caliente procedente de la instalación solar en lugar de realizar todo el calentamiento en las propias lavadoras, y también en cocinas, donde existe una demanda de agua caliente en los lavavajillas.

En instalaciones destinadas a hoteles, restaurantes u hospitales hay que tener en cuenta a la hora de diseñar la instalación las normas relativas a la prevención de la legionela. Ésta indica que la temperatura del agua en el circuito de agua fría ha de ser inferior a 20ºC y en el circuito de agua caliente superior a 50ºC, pudiendo soportar este circuito temperaturas de hasta 70ºC.

6.2 Calentamiento de agua de piscinas

Es una de las aplicaciones más interesantes de la energía solar térmica, debido a que no son necesarias temperaturas elevadas para el agua caliente, lo que hace que los captadores trabajen con rendimientos elevados.

Las temperaturas que se han de alcanzar en el vaso de la piscina oscilan entre los 24 y 26 ºC según los valores marcados por la tabla del RITE siguiente:

Uso principal		Temperatura del agua (°C)
Público	Recreo	25
	Chapoteo	24
	Enseñanza	25
	Entrenamiento	26
	Competición	24
Privado		25/26

Tabla 16. Temperaturas del agua de una piscina. Fuente: RITE

Se ha de distinguir entre piscinas cubiertas y piscinas al aire libre, ya que sus necesidades de utilización son muy diferentes.

6.2.1 Piscinas al aire libre

Según el RITE, la única forma de calentar el agua de vaso de una piscina descubierta es por medio de sistemas basados en energías residuales o de libre disposición, como la energía solar, el aire, el agua o el terreno.

Con instalaciones de colectores solares térmicos, se consigue alargar el período de uso de la piscina. Además, es un tipo de instalación donde se consigue los máximos rendimientos ya que el periodo de uso de la misma y el de máxima radiación solar coinciden.

Como cálculo inicial aproximado de la superficie de colectores que se va a necesitar para calentar la piscina, podemos decir que está entre un 60-80% de la superficie de la piscina.

Debido a que se requieren grandes caudales de circulación, mayor rendimiento a baja temperatura los colectores de propileno son una buena solución debido a su bajo coste tanto de instalación como de mantenimiento.

Figura 58. Instalación solar para el calentamiento de piscina al aire libre

También se puede instalar una ducha solar en las inmediaciones de una piscina.

Para piscinas descubiertas de pequeña dimensión que funcionan únicamente durante el periodo estival, resulta muy conveniente una instalación sencilla, compuesta por colectores de caucho tipo propileno, sin acumulador puesto que la propia piscina funciona como acumulador y sin intercambiador, ya que este material resiste bien las corrosiones del cloro o la sal. Este tipo de instalación es la más económica.

6.2.2 Piscinas cubiertas

El uso de energías convencionales para calentar el agua en piscinas cubiertas está permitido. No obstante, es recomendable el uso de energía solar térmica en el proceso para disminuir el salto térmico entre la temperatura del agua de red y la temperatura final del agua de la

piscina. De hecho, la forma más eficiente para calentar el agua de piscina es combinando energía solar térmica con gas natural.

Una piscina cubierta que se quiera utilizar durante todo el año y a cualquier hora exige un depósito acumulador e intercambiador, siendo los colectores solares iguales a los utilizados para el calentamiento de agua caliente sanitaria.

Figura 59. Piscina climatizada con energía solar.

6.3 Calefacción

La utilización de la energía solar para calefacción tiene en primer término el inconveniente de que sólo existe demanda de calefacción durante unos meses del año ya que en el periodo de verano generalmente no existe demanda de calefacción y se obtiene, por lo tanto, un menor aprovechamiento de la instalación. Además, la temporada de calefacción coincide con los meses de menor radiación solar, lo cual también resta rendimiento a estas instalaciones.

Por otra parte, las instalaciones de calefacción que predominan en España tienen como elemento emisor de calor los radiadores convencionales. Este tipo de instalación es en principio inadecuada para su utilización con energía solar pues trabaja con elevados niveles de temperatura, a 70-90 °C, donde los colectores planos presentan rendimientos muy bajos.

Es por ello que se debe recurrir a sistemas especiales para la transmisión del calor al interior de la vivienda, que funcionen a temperaturas más bajas, preferentemente por debajo de los 60ºC. Los sistemas más utilizados son el suelo radiante y los fan-coils.

La calefacción mediante suelo radiante consiste en hacer circular agua a baja temperatura bajo el suelo del local a calefactar. El rango de temperaturas del agua para el suelo radiante suele ser de 30-40ºC, que lo hace muy apropiado para instalaciones de energía solar.

Figura 60. Calefacción suelo radiante: distribución conducciones.

El sistema de fan-coils se basa en una serie de tubos con aletas por donde circula agua caliente. Una corriente de aire pasa entre los tubos, que calientan esta corriente de aire antes de ser introducida en la habitación. La temperatura del agua para un sistema de fan-coils suele ser de 45ºC, lo que lo hace también muy apropiado para instalaciones de energía solar.

Otra opción para la utilización de instalaciones de energía solar para calefacción consiste en la utilización de colectores con buen rendimiento a altas temperaturas, como los colectores de vacío. El inconveniente de este sistema es que se encarece sensiblemente el coste de la instalación.

6.4 Climatización solar

La climatización de edificios mediante energía solar ofrece una buena posibilidad de aplicación de la energía solar debido a la coincidencia de los periodos de demanda con los meses de mayor radiación solar. Además, la energía solar puede utilizarse también en estas instalaciones como apoyo a la calefacción durante los meses en que no existe demanda de frío.

En la climatización solar se utiliza la energía térmica como fuerza motriz para la producción de frío. Es el llamado frío solar, siendo generalmente la tecnología utilizada para la producción de frío la de las máquinas de absorción.

En las máquinas de absorción para la refrigeración de edificios generalmente se emplea el agua como refrigerante y el bromuro de litio como absorbente. Contrariamente a lo que sucede con los colectores solares, el rendimiento de las máquinas de absorción aumenta al incrementarse la temperatura de trabajo, necesitando temperaturas (80-90ºC para las máquinas de absorción de simple efecto) que son difíciles de alcanzar mediante colectores solares planos. Es por ello que hay que recurrir a colectores de alta eficiencia o a tubos de vacío.

Otro aspecto a tener en cuenta es que el ciclo de una máquina de aborción existen calores residuales que se han de evacuar. Este calor de condensación se evacua normalmente mediante una torre de refrigeración o con un aerocondensador (para máquinas de absorción de pequeña potencia).

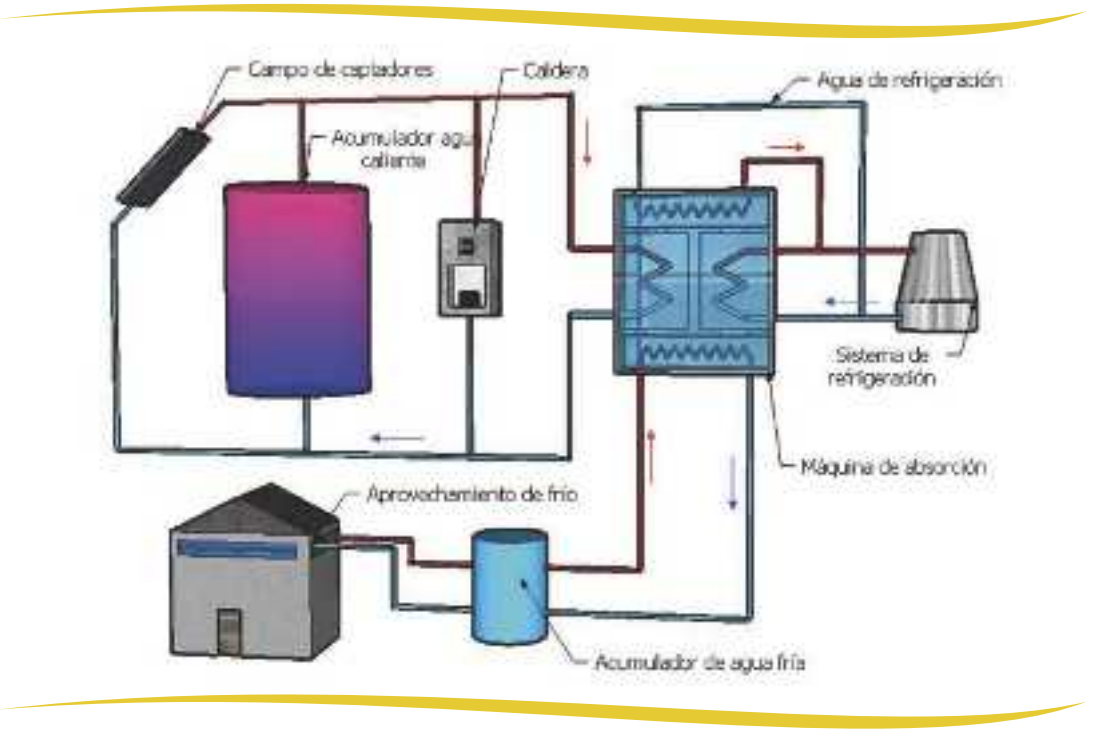


Figura 61. Esquema de instalación solar con máquina de absorción.

Aunque en la actualidad los equipos de trabajo se utilizan sobre todo en grandes instalaciones como puede ser el sector industrial o terciario, existen actualmente en el mercado equipos de absorción doméstica de pequeña potencia (5–10 kW) aptos para aplicaciones domésticas. Se espera que en un futuro esta tecnología multiplique las posibilidades de producción de frío en las viviendas.

6.5 Energía solar para procesos industriales

Los sistemas de energía solar de baja temperatura pueden llegar a suministrar una parte importante de la demanda industrial de calor. La gran escala de las instalaciones industriales lleva a sistemas de bajo coste, siendo las aplicaciones más interesantes aquellas donde existe una demanda de calor continua a lo largo de todo el año.

Procesos especialmente apropiados son, por ejemplo, el calentamiento de baños para ciclos de lavado, procesos de tintado donde se demanda gran cantidad de agua caliente, calentamiento de aire para procesos de secado, tratamientos químicos, etc. Algunas de estas aplicaciones se detallan a continuación:

- Precalentamiento de salmuera. La salmuera utilizada en procesos de destilación de agua para su uso en el proceso industrial se puede llevar a la temperatura de uso por medio de placas solares.

- Lavandería y suministro de ACS en vestuarios. En sectores industriales donde exista gran carga de recursos humanos y altas necesidades de higiene, como es el caso del sector alimentario, se puede aprovechar la energía solar térmica para producir ACS en las duchas o bien para lavar la ropa de trabajo

- Calentamiento de aire. En la industria cervecera de malta, el consumo de calor principal en la fabricación de la malta es para el secado de la malta germinada. Para ello se utiliza aire precalentado hasta 80ºC. El consumo de calor a bajas temperaturas es muy elevado, por lo que la contribución solar que se puede conseguir es alta.

  Se puede ayudar a calentar aire de entrada (3) al hacerlo pasar por una serie tubos precalentados con energía solar térmica (1). El sistema contará con bombas de circulación (2) y válvulas que dirigirán el caudal (6). Con este calor solar el aire de entrada se precalienta hasta 25 – 50ºC antes de llegar al intercambiador convencional (7) con lo que se consigue un importante nivel de ahorro de energía.

  Esta aplicación es factible en sectores como el del moldeo del plástico, el lácteo, en el cárnico en el secado de las piezas o en el de la cerámica estructural.

- Energía solar térmica como complemento a la cogeneración. En muchas industrias resulta más ventajoso utilizar la cogeneración como fuente para producir calor y electricidad. Sin embargo, el aporte por energía solar puede servir como complemento en aquellos procesos paralelos a la producción en los que el requerimiento de calor sea de baja o media temperatura. No olvidemos no obstante que la mejor manera casi siempre de cubrir la demanda de calor a baja temperatura (<50 °C) en procesos industriales es a través de recuperación de calor.

- Precalentamiento de agua para procesos industriales (caldera convencional, caldera de vapor). La energía térmica requerida se genera habitualmente en calderas de vapor saturado que queman fuel o gas natural. Si un porcentaje de estas necesidades de calor se producen por medio de energías renovables conseguiremos una reducción de costes así como una reducción de emisiones nocivas a la atmósfera.

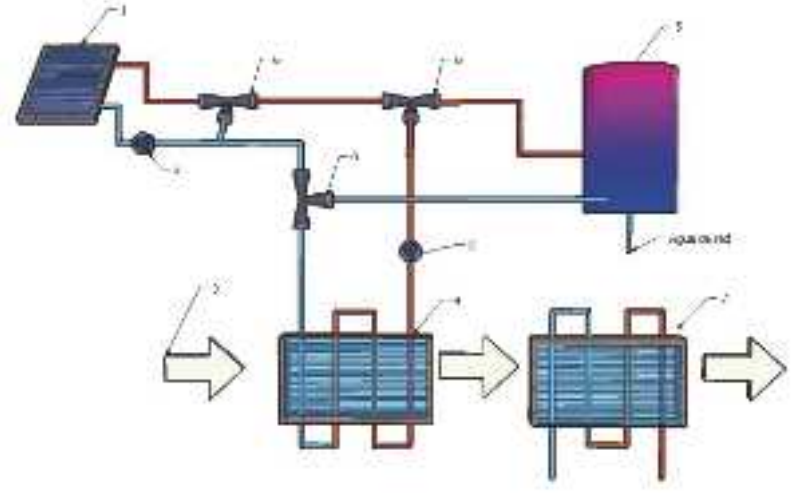


Figura 62. Esquema instalación de aprovechamiento para producir aire caliente

- Limpieza de instalaciones. La limpieza de las instalaciones es necesaria que se haga con agua a presión a una cierta temperatura, en torno a los 70ºC. Para ello se puede utilizar energía solar para calentar esta agua.

- Tratamiento del agua para pasteurización. Este subproceso es usado en el sector lácteo, conservero y en la industria de la producción de aceite.

- Calentamiento del agua para el cuajado. Se realiza entorno a los 35 ºC en el sector lácteo.

- Mantenimiento de temperatura de agua en piscifactorías. Aquí la temperatura del agua se ha de mantener constante entre 20 y 26 ºC, temperaturas que favorecen el aprovechamiento máximo del calor producido por placas solares.

La producción de frío mediante máquinas de absorción es otra aplicación interesante de la energía solar en la industria, donde son válidas las mismas consideraciones que se han efectuado para la refrigeración doméstica.

7. Situación socioeconómica de la energía solar

7 Situación socioeconómica de la energía solar térmica

7.1 Contexto nacional e internacional

La Comisión Europea, a finales de 1997, publicó el Libro Blanco de las Energías Renovables en el que se calificaba la implantación de las energías renovables como decepcionante y en el que ponía las bases para los distintos programas de apoyo para su instalación, así como para la mejora tecnológica.

El Libro Blanco estableció como objetivo el conseguir que la producción de energía mediante fuentes de energías renovables representara para el 2010 un 12% del consumo de energía primaria en la Unión Europea. Con este objetivo, el Libro Blanco estableció una estrategia y una campaña de despegue (Take-off Campaign) en la que se propuso que la energía solar térmica para el periodo 1999-2003 llegara a los 15 millones de m^2 de colectores solares instalados en la Unión, con una inversión estimada de 4.700 millones de euros.

Con ese mismo objetivo el Gobierno español aprobó ese mismo año el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España para el periodo 2000-2010. Este plan para el fomento de las energías renovables se justifica, básicamente, sobre tres premisas:

- garantizar el suministro de energía diversificando las fuentes de energía y respetando el medio ambiente,
- reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero,
- creación de un tejido industrial asociado a las energías renovables que permita la creación de empleo.

El Plan de Fomento de las Energías Renovables contempla además del desarrollo de las energías renovables, la necesaria intensificación de las políticas de ahorro y eficiencia energética para, conjuntamente, conseguir alcanzar el objetivo del 12% del consumo de energía primaria en el año 2010. Con una situación de partida en el año 1998 de 340.892m^2 de colectores solares térmicos de baja temperatura, se pretende que en el 2010 estén instalados un total de 4.900.000 m^2 . El cumplimiento de los objetivos en cuanto a la solar térmica del plan supondría evitar la emisión estimada de 949.785 t de CO_2 para 2010.

A la vista del crecimiento moderado que ha seguido el mercado de los colectores térmicos en la Unión Europea durante 2002 y 2003, la previsión con la tendencia de crecimiento actual es llegar al 2010 con 36,9 millones de m^2 de colectores instalados, quedando muy lejos de los 100 millones de m^2 establecidos como objetivo en el Libro Blanco.

	2004		2005	
	m^2	MWh	m^2	MWh
Alemania	6.199.000	4.339,3	7.109.000	4.976,3
Grecia	2.826.700	1.978,7	3.047.200	2.133,0
Austria	2.399.791	1.679,9	2.598.785	1.819,1
Francia	792.500	554,8	913.868	639,7
España	440.151	308,1	547.036	382,9
Holanda	503.829	352,7	536.229	375,4
Italia	457.711	320,4	529.711	370,8
Chipre	450.200	315,1	500.200	350,1
Dinamarca	328.380	229,9	347.520	243,3
Suecia	224.774	157,3	257.864	180,5
Reino Unido	176.160	123,3	201.160	140,8
Portugal	109.200	76,4	125.200	87,6
Polonia	94.587	66,2	122.240	85,6
Eslovenia	101.500	71,1	106.300	74,4
Bélgica	52.015	36,4	79.549	55,7
República Checa	50.000	35,0	68.780	48,1
Eslovaquia	56.750	39,7	64.170	44,9
Hungría	48.000	33,6	49.000	34,3
Malta	15.360	10,8	19.360	13,6
Finlandia	12.250	8,6	14.250	10,0
Luxemburgo	11.500	8,1	13.400	9,4
Irlanda	7.596	5,3	11.096	7,8
Letonia	1.650	1,2	2.650	1,9
Lituania	1.650	1,2	2.150	1,5
Estonia	570	0,4	820	0,6
TOTAL	15.361.824	10.753,5	17.267.538	12.087,3

Tabla 17. Colectores solares térmicos acumulados. Fuente: EurObserv'ER 2006

7.2 La energía solar térmica en la Comunidad Valenciana

La Comunidad Valenciana se encuentra en una zona privilegiada para el desarrollo de la energía solar debido a su situación geográfica y climatológica. El potencial de la energía solar, térmica y fotovoltaica es tal que podría cubrir gran parte de la demanda de energía primaria.

En los años 70 y principios de los 80, al dispararse los costes de la energía debido a la crisis del petróleo, en la mayoría de los países occidentales, entre ellos España, se produce un desarrollo importante de industria de la energía solar, sobretodo la energía solar térmica, en forma de pequeñas instalaciones particulares. La posterior bajada del precio del crudo y la falta de experiencia o mantenimiento de los equipos que se instalaron provocaron una pérdida de confianza por parte de la ciudadanía en la energía solar térmica.

Actualmente, como consecuencia del incremento del precio del petróleo, la mayor concienciación medioambiental de la ciudadanía y las facilidades en forma de ayudas a la instalación de los equipos ha provocado un aumento en el número de instalaciones ejecutadas.

La superficie total acumulada instalada en la Comunidad Valenciana a finales de 2005 es de 67.200m^2. La evolución de la superficie anual instalada durante los últimos diez años se refleja en la siguiente figura:

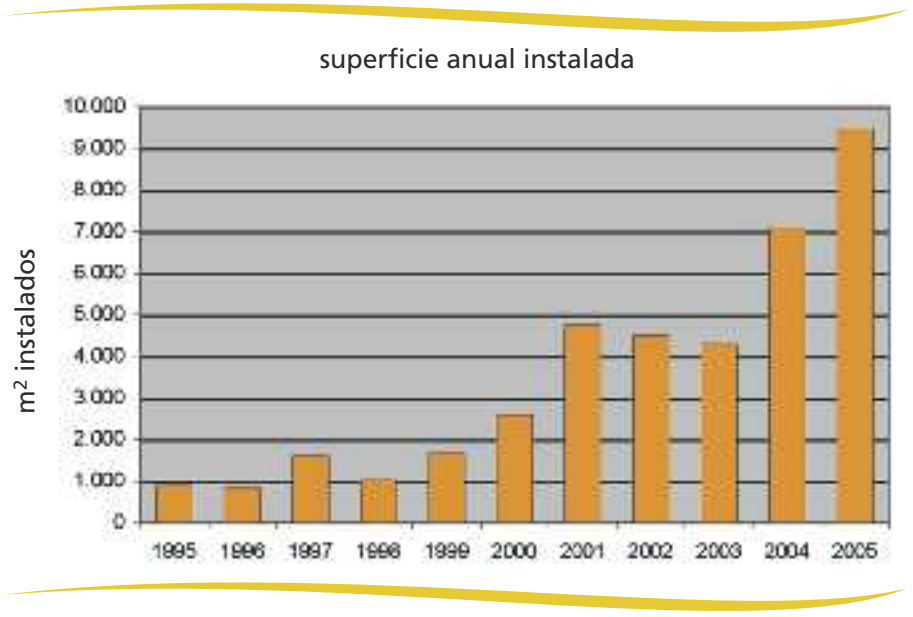


Figura 63. Superficie anual instalada de colectores térmicos. (Fuente: IDAE)

En la figura se observa un incremento de la superficie instalada a partir de 2000. En el año 2005, la superficie instalada en la Comunidad Valenciana era de 14,3 m^2/1.000 habitantes, superior a la media española (12,4 m^2/1.000 habitantes) pero inferior a la media de la Unión Europea (37 m^2/1.000 habitantes).

En cuanto a la distribución de las instalaciones a lo largo del territorio valenciano se observa una mayor penetración de la energía solar térmica en las provincias de Valencia y Alicante.

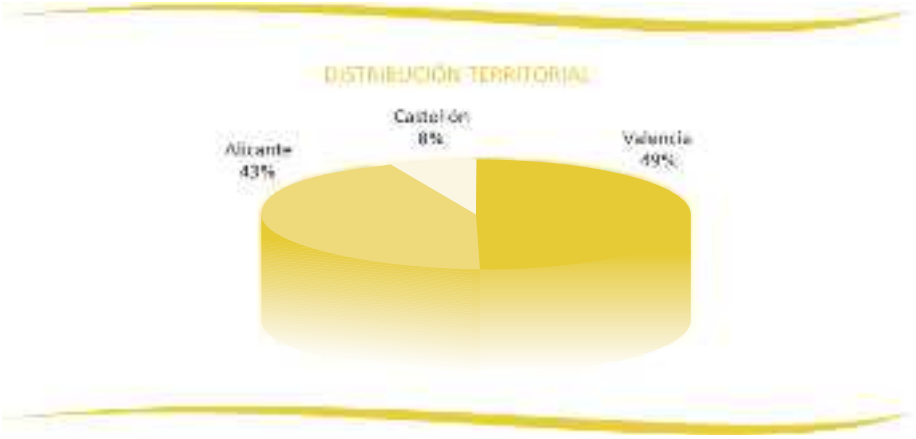


Figura 64. Distribución territorial de la energía solar térmica.

Con respecto a la distribución de la superficie instalada por sectores económicos, el sector servicios es el que más ha aprovechado esta tecnología con más de la mitad de la superficie total. Dentro del sector servicios la hostelería representa un 22% del total. Otro sector importante es la administración, fundamentalmente la administración local, con un 10% del total.

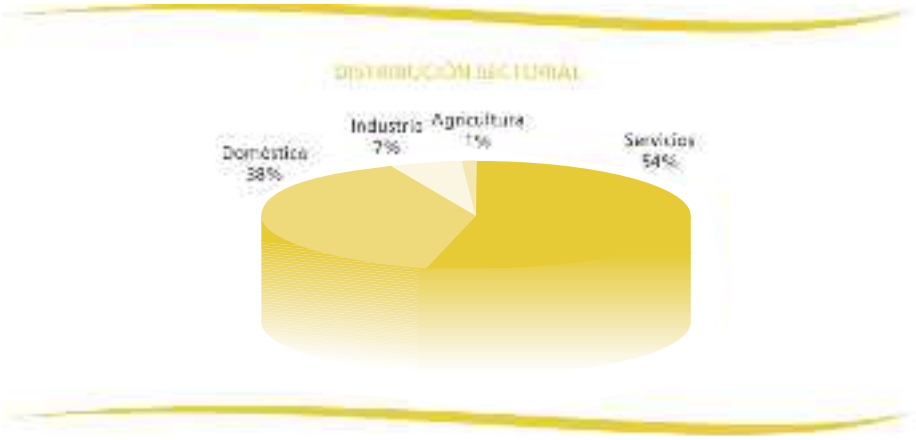


Figura 65. Distribución por sectores económicos de la superficie instalada.

Si nos referimos a la distribución por sectores económicos del número de instalaciones, el sector doméstico es el más importante. Esto es debido a que las grandes instalaciones térmicas aportan un enorme porcentaje de la superficie instalada total, por ejemplo en la siguiente figura se observa que un 25% de las instalaciones suponen el 80% de la superficie total, mientras que un 45% del número de instalaciones tan solo contribuye con un 10% de la superficie (instalaciones muy pequeñas).

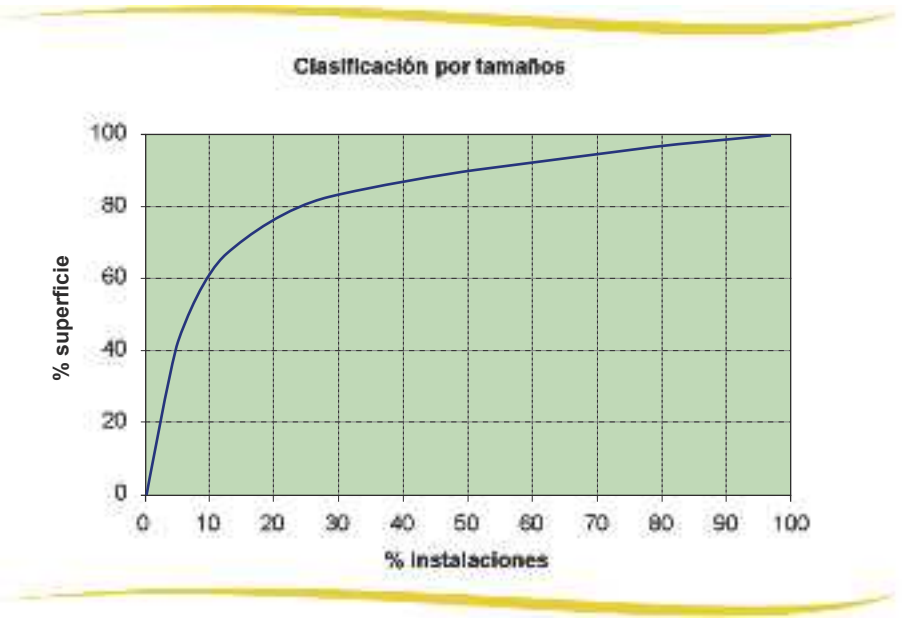


Figura 66. Clasificación por tamaño de las instalaciones térmicas en la Comunidad Valenciana.

En nuestra comunidad la gran mayoría de las instalaciones están destinadas a la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) exclusivamente y, en algunos casos, sobredimensionadas para apoyar a la calefacción o al calentamiento de piscinas. Un 6% de la superficie instalada corresponde a piscinas cubiertas y un testimonial 2% a calefacción.

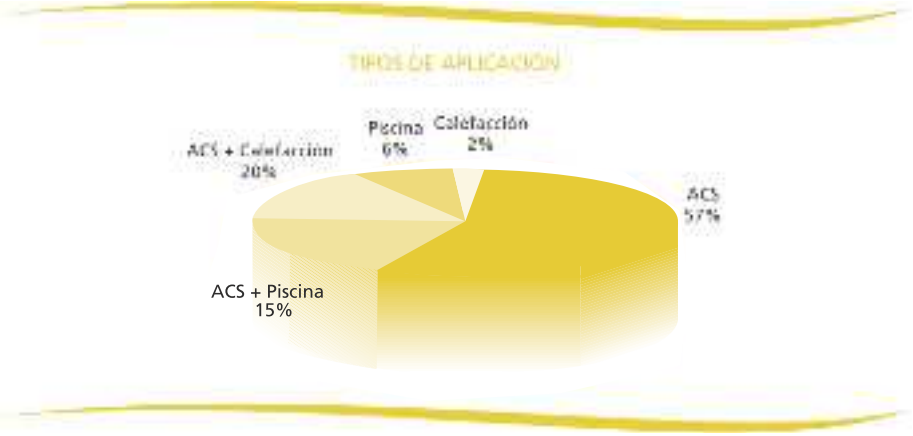


Figura 67. Clasificación de las instalaciones de energía solar por tipo de aplicación.

7.3 Previsión futura de la energía solar térmica en la Comunidad Valenciana

Entre los objetivos generales del Plan de Ahorro y Eficiencia Energética de la Comunidad Valenciana se encuentran el reducir tanto la dependencia energética como el impacto ambiental asociado a la utilización de las diferentes fuentes energéticas con el fin de cumplir con los compromisos de Kioto. El fomento de la energía solar térmica y en general de todas las energías renovables es una forma de conseguir estos dos objetivos.

El objetivo básico de este plan es la disminución en un 1,1% interanual de la intensidad energética primaria en la Comunidad Valenciana, es decir, disminuir el consumo de energía necesario para realizar cada unidad de PIB. Esta disminución representaría un ahorro en el horizonte del año 2010 de 4.296.700 tep de energía primaria y de 3.521.300 tep de energía final.

En un estudio realizado por el IMPIVA y el IDAE en 1997, establecieron las posibles estrategias de actuación para lograr doblar la aportación de las energías renovables al consumo de energía primaria en el período 1998-2010 en la Comunidad Valenciana.

En el cuadro siguiente se refleja el objetivo marcado en este estudio para las distintas energías renovables para el año 2010.

Tipo de uso	Situación 1998		Objetivos propuestos 1998 - 2010		Resultados finales 2010	
	MW	EP (tep)	MW	EP (tep)	MW	EP (tep)
Usos térmicos						
Energía de la biomasa		183.121		39.757		222.878
Energía solar térmica		2.472		15.440		17.912
Total usos térmicos		185.593		55.197		240.790
Usos eléctricos						
Eólica	0	0,2	2.300	474.740	2.300	474.740
Hidráulica(sin bombeo)	649	81.612	94	26.660	743	108.272
Energía de la biomasa	0	0	20	51.600	20	51.600
Valoración de RSU	0	0	10	22.933	10	22.933
Energía solar fotovoltaica	0,6	84	13	1.986	14	2.070
Total usos eléctricos	650	81.697	2.437	577.919	3.086	659.616
Total energías renovables		267.290		633.116	3.086	900.406

Tabla 18. Potencial de las energías renovables en la Comunidad Valenciana.

Para cumplir los objetivos marcados por este estudio, la energía solar térmica tiene que incrementarse en 15.440 tep lo que supone multiplicar por seis la energía proporcionada por este sistema en el 1998. Una de las medidas propuestas para lograr este objetivo entra a través del Código Técnico de la Edificación en el cual es obligatorio la instalación de energía solar térmica en todos los edificios de nueva construcción y en los que se realicen importantes rehabilitaciones.

8. Casos prácticos

8 Casos prácticos

8.1 Instalación solar para agua caliente sanitaria en bloque de apartamentos en Denia

Situado en la playa de les Marines de Dénia, es un edificio que consta de 93 apartamentos repartidos en 5 plantas.

La instalación solar se realizó con el proyecto del edificio, y consta de 100 colectores solares de 2 m^2 cada uno, con un volumen de acumulación de 10.000 litros repartido en dos depósitos de 5.000 litros cada uno, situados también en la azotea del edificio.

El sistema se complementa con el aporte de calor proveniente de una bomba de calor o bien de una caldera de gas. Cuando el sistema de colectores solares no puede producir el suficiente calor entra en funcionamiento la bomba de calor. Sólo en condiciones de temperaturas exteriores inferiores a 5 ºC la caldera es el elemento de apoyo de aportación de calor.

El sistema de regulación y control actúa mediante termostato diferencial de temperatura que pone en funcionamiento la bomba del circuito primario cuando la temperatura en los colectores supera en 7 ºC la del acumulador o cuando hay riesgo de heladas.

Figura 68. Foto instalación solar para ACS en bloque de apartamentos

Esta instalación supone un ahorro energético de 135.000 kWh anuales. Con este ahorro, se prevé un retorno de la inversión inferior la los cinco años, teniendo en cuenta las subvenciones con las que se ha apoyado.

8.2 Instalación solar combinada para ACS y calefacción en residencia en Oliva

En el edificio, destinado a residencia geriátrica, se ha instalado un sistema de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria y para apoyo a la calefacción por suelo radiante. El edificio cuenta con ochenta plazas, más los servicios de comedor, lavandería y cocina, repartidos en seis plantas.

La instalación cuenta con 40 colectores de 2 m^2 cada uno. El sistema proporciona un aporte solar anual de 49.600 kWh, sustituyendo las necesidades energéticas de entre el 76% en el mes de diciembre y el 99% en el mes de julio.

El sistema posee una acumulación de 3.500 litros, por medio de 2 acumuladores de 2.000 y 1.500 litros. El subsistema de apoyo consta de una caldera de gas propano y de un acumulador de 1.000 litros. Esta instalación ayuda a la calefacción por suelo radiante de 2.300 m^2 cuando el aporte solar supera la demanda de ACS.

El apoyo convencional a la calefacción se realiza por bomba de calor y caldera, con preferencia a la bomba de calor. Con esta opción de bomba de calor, con fan-coils en las distintas dependencias, se consigue también la climatización del edificio mediante aire frío.

Figura 69. Foto instalación solar combinada para ACS y calefacción en residencia

8.3 Producción de agua caliente sanitaria en un hotel en Gandia

Situado en la playa de Gandía, el hotel consta de sesenta habitaciones distribuidas en cinco plantas, y cuenta con servicios de lavandería y comedor. Como particularidad de funcionamiento podemos decir que el hotel permanece cerrado durante el invierno.

La instalación consta de 30 colectores de 2m^2 cada uno con un sistema de acumulación de 4.000 litros. Como energía auxiliar se ha escogido una caldera de gas de 20.000 kcal/h..

El sistema consta de un único acumulador (4) que recibe el calor tanto del sistema de captación solar (1), impulsado por la bomba (3), como del sistema de apoyo (5). Por medio de sendos intercambiadores (2), el depósito se calienta con energía solar por la parte más baja y con agua procedente de la caldera en la parte superior, tal como se puede ver en la figura 50. De esta forma se consigue que la mayor parte del agua acumulada sólo pueda ser calentada por medio de energía solar, favoreciendo el máximo de aprovechamiento de calor solar.

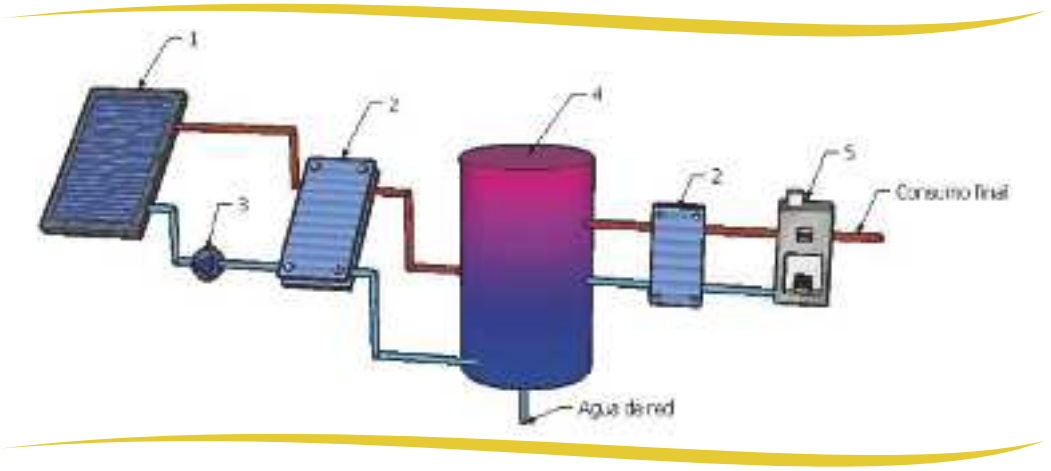


Figura 70. Esquema aporte de calor en el acumulador

Este sistema se ha diseñado para aportar entre un 49% de la demanda en el mes de diciembre y un 90% de la demanda en el mes de julio, con un aporte solar anual de 42.800 kWh.

La instalación ha supuesto una inversión de 20.500€, con un periodo de retorno, teniendo en cuenta las subvenciones, de unos 6 años.

8.4 Energía solar térmica en la piscina municipal de Algemesí

Se trata de una piscina cubierta donde la instalación se ha diseñado para la producción del ACS demandada y para cubrir también una parte de la demanda de calor necesaria para el calentamiento del agua de la piscina. El sistema auxiliar para cubrir la demanda restante está constituido por una caldera de agua caliente funcionando con gas natural.

La instalación consta de 300 colectores solares planos, con una superficie útil por colector de 0,66 m^2, instalados sobre una estructura metálica, en la cubierta plana del pabellón anexo a la piscina. La superficie total del sistema es de alrededor de 200 m^2, permitiendo el sistema obtener agua a 45–60°C. El sistema de acumulación consta de dos depósitos con una capacidad de 5.000 litros cada uno.

Figura 71. Instalación solar térmica de la piscina de Algemesí

La inversión total del proyecto fue de unos 105.000 €, con un periodo de retorno, teniendo en cuenta las subvenciones, de unos 3 años.

8.5 Instalación para acondicionar una piscina individual descubierta en Calpe

Esta instalación está pensada para alargar la temporada de uso de una piscina descubierta en una vivienda particular, en tres o cuatro meses, mediante el aumento de la temperatura del vaso de la misma.

La instalación consta de 20 m^2 de colectores de propileno, montados sobre el tejado de la vivienda. De los colectores parten las tuberías, de PVC a la piscina, que tiene unas dimensiones de 4 x 8 metros con un volumen de agua de 50 m^3 .

Figura 72. Esquema instalación para piscina

La temporada de baño se ha alargado de esta manera para aquellos días en que la temperatura ambiente es superior a los 25ºC y en que por tanto el baño es agradable en el exterior. Los mayores valores de radiación solar se producen entre los meses de Abril a Octubre, que son los meses a los que se puede alargar el uso de una piscina descubierta calentada mediante energía solar.

8.6 Producción de agua caliente sanitaria en industria cárnica en Orihuela

Se trata del matadero comarcal de Orihuela. En la instalación solar se produce agua caliente a baja temperatura para el escaldado de cerdos, limpieza de suelos, desinfección de máquinas herramienta y agua caliente sanitaria para duchas del personal.

La instalación consta de 70 colectores planos siendo el total de la superficie útil de captación de 179 m^2. Estos colectores se han instalado sobre cubierta encima de la sala de calderas.

El sistema de acumulación consta de dos depósitos de 4.000 y 10.000 litros. Desde el depósito mayor se abastece la balsa de escaldado una vez al día y desde el pequeño se cubre parte de las necesidades de agua caliente en la producción. El resto de las necesidades de calor se cubren con una caldera de gasóleo, por lo que el ahorro energético y la reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera son considerables.

Figura 73. Instalación solar térmica en la cubierta de la nave industrial

El consumo medio de agua caliente se estima en 20.000 litros diarios, constantes a lo largo del año, de los cuales 10.000 litros se destinan al llenado de la balsa de escaldado y el resto a la limpieza de máquinas herramienta, suelos e instalaciones en general.

Con esta instalación se han conseguido unos ahorros energéticos del 60 % del consumo de gasóleo, con lo cual se ha conseguido una reducción de 70 toneladas / año de emisiones de CO_2 y 36.000 € de ahorro en la factura energética.

9. Bibliografía

9 Bibliografía

- Instalaciones solares térmicas. Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía S.A. Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico. 2004
- Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación. DITE 8.03. Instalaciones Solares Térmicas para la producción de agua caliente sanitaria. ATECYR. 2004
- Guía del Ahorro y eficiencia energética en establecimientos hoteleros en la comunidad valenciana. AVEN. 2003
- Model d'ordenança municipal: Instal·lacions solars per a producció d´aigua calenta. AVEN. 2005
- Manual de cálculo y diseño de instalaciones de producción de agua caliente sanitaria en edificaciones de viviendas mediante energía solar y apoyo individual a gas natural. Grupo Gas Natural. Dirección de Tecnología y Medio Ambiente. 2004
- Instalaciones de energía solar. CENSOLAR. 2002
- Calor solar para procesos industriales- Proyecto POSHIP. IDAE. 2001
- Jornadas sobre como aplicar de manera eficaz la Energía solar térmica en los procesos industriales. IDAE, SODEAN e a. 2001
- Manual de energía solar térmica. IDAE 1991.
- Criteris de Qualitat i Disseny, d´Instal·lacions d´Energia Solar per a Aigua Calenta i Calefacció. Institut Català d´Energia. 1998
- Aprovechamiento de la energía solar térmica. IMPIVA. 2001
- Quadern pràctic per a instaladors. Energia solar tèrmica. Institut Català de la Energia. 2003
- Pliego de especificaciones técnicas para Instalaciones de Energía solar Térmica a Baja Temperatura del programa PYMEs. FEDER-IDAE. 2002
- Datos energéticos de la Comunidad Valenciana 2003. AVEN.
- Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica. Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica. IDAE.2002
- Plan de Ahorro y Eficiencia Energética de la Comunidad Valenciana. AVEN. 2003.

10. Normativa

10 Normativa Aplicable

- Código Técnico de la Edificación.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento de Aparatos de Presión e instrucciones técnicas complementarias.
- Norma Básica de Instalación Interior de Agua.

- Norma UNE-94.101.86 : Colectores solares térmicos.
- Norma INTA 61.0001 Ensayo de colectores en régimen estacionario.
- Norma INTA 610002 Ensayo de resistencia y durabilidad de colectores solares planos
- UNE-EN ISO 9488:2001 Energía solar. Vocabulario.
- UNE-EN 12975-1: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 1. Requisitos generales.
- UNE-EN 12975-2: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 2. Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12976-1: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 1 Requisitos generales.
- UNE-EN 12976-2: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 2. Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12977-1: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 1 Requisitos generales.
- UNE-EN 12977-2: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 2. Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12977-3: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 3. Caracterización del funcionamiento de acumuladores para las instalaciones de calefacción solares.
- UNE-EN 12975-2/AC:2003 Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.

11. Anexos

ANEXO I. Radiación solar en la Comunidad Valenciana

Los valores de radiación se han tomado del Estudio de la Radiación Solar en la Comunidad Valenciana, realizado por la Agencia Valenciana de la Energía. Para la realización de este estudio se realizaron un gran número de medidas en diferentes observatorios, situados en la propia Comunidad y fuera de ella, suministrados por el Centro Metereológico Zonal de Levante o publicadas por el Instituto Nacional de Meteorología.

Además se han realizado medidas de insolación y de radiación en otros puntos donde no se disponía de información. Ello ha permitido conocer la distribución geográfica de la radiación solar en nuestra región y estimar unos valores medios mensuales que se han representado también en forma de mapas de radiación solar.

En las siguientes tablas se muestran los valores de radiación solar global interceptada por un plano con una determinada inclinación y orientado al sur geográfico. Los valores de dichas tablas están expresados en MJ/m^2.día para cada día del mes (para pasar obtener esta información en kWh/m^2 hay que recordar que $1kWh = 3{,}6 \cdot 10^6$ J). Las dos últimas columnas indican la radiación anual y la de los seis meses más fríos respectivamente.

ángulo	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual	invernal
20	13,5	15,9	21,5	22,1	23,4	25,3	25,4	23,4	22,0	18,5	15,8	11,9	**7.161**	**2.917**
25	14,4	16,6	22,0	22,1	23,0	24,7	24,9	23,2	22,3	19,2	16,8	12,7	**7.260**	**3.055**
30	15,2	17,2	22,4	22,0	22,5	24,0	24,2	22,9	22,5	19,8	17,7	13,4	**7.316**	**3.174**
35	15,9	17,7	22,6	21,7	21,9	23,2	23,5	22,5	22,6	20,3	18,5	14,1	**7.331**	**3.273**
40	16,5	18,1	22,7	21,4	21,1	22,2	22,6	21,9	22,5	20,6	19,2	14,7	**7.302**	**3.350**
45	17,0	18,4	22,7	20,9	20,3	21,1	21,6	21,2	22,2	20,9	19,7	15,1	**7.232**	**3.407**
50	17,3	18,5	22,5	20,2	19,4	20,0	20,5	20,5	21,9	20,9	20,1	15,5	**7.120**	**3.441**
55	17,6	18,6	22,2	19,5	18,4	18,8	19,3	19,6	21,4	20,9	20,4	15,8	**6.967**	**3.454**
60	17,7	18,5	21,7	18,7	17,3	17,5	18,0	18,6	20,7	20,7	20,5	16,0	**6.775**	**3.444**
65	17,8	18,3	21,1	17,7	16,1	16,1	16,7	17,5	20,0	20,4	20,5	16,0	**6.545**	**3.412**
70	17,7	18,0	20,4	16,7	14,8	14,7	15,3	16,3	19,1	20,0	20,3	16,0	**6.279**	**3.358**

Tabla 11.1.1. Radiación solar de la provincia de Alicante en MJ/m^2.día.

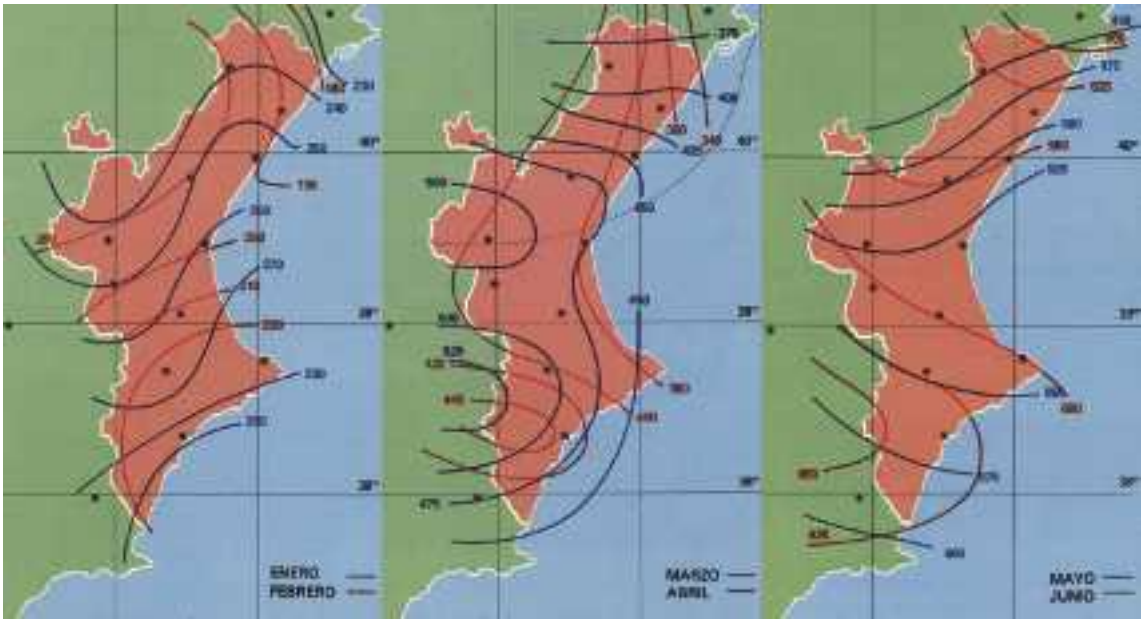
ángulo	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual	invernal
20	11,6	13,2	18,2	19,6	21,7	23,9	23,8	21,9	18,8	16,2	11,6	11,1	**6.347**	**2.463**
25	12,4	13,8	18,6	19,6	21,4	23,3	23,3	21,8	19,1	16,8	12,3	11,9	**6.430**	**2.579**
30	13,1	14,3	18,9	19,5	21,0	22,7	22,8	21,5	19,2	17,3	12,9	12,6	**6.477**	**2.679**
35	13,7	14,7	19,1	19,3	20,4	21,9	22,1	21,2	19,3	17,8	13,4	13,3	**6.487**	**2.763**
40	14,2	15,0	19,2	19,0	19,8	21,1	21,3	20,7	19,2	18,1	13,9	13,9	**6.461**	**2.829**
45	14,7	15,3	19,2	18,6	19,1	20,2	20,4	20,1	19,0	18,3	14,2	14,3	**6.399**	**2.878**
50	15,0	15,4	19,1	18,0	18,2	19,1	19,4	19,4	18,7	18,4	14,5	14,7	**6.300**	**2.908**
55	15,2	15,4	18,8	17,4	17,3	18,0	18,4	18,6	18,3	18,4	14,7	15,0	**6.167**	**2.920**
60	15,4	15,4	18,4	16,7	16,3	16,9	17,2	17,7	17,8	18,2	14,8	15,2	**6.000**	**2.914**
65	15,4	15,2	17,9	15,9	15,3	15,6	16,0	16,7	17,2	18,0	14,7	15,3	**5.800**	**2.889**
70	15,3	15,0	17,4	15,0	14,2	14,3	14,8	15,7	16,5	17,6	14,6	15,3	**5.569**	**2.847**

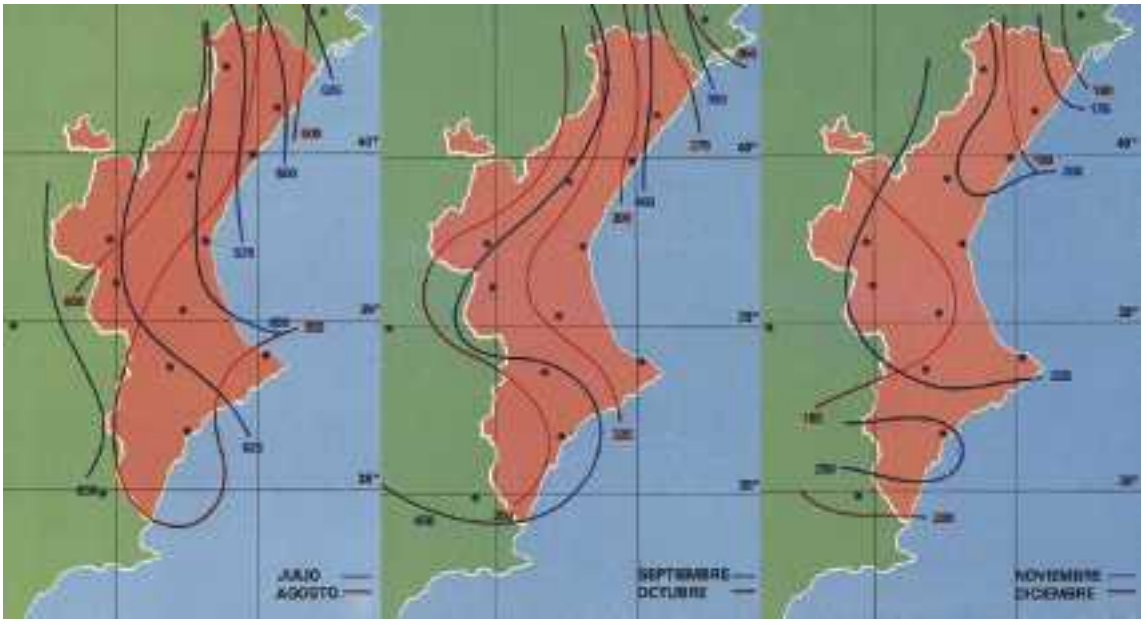
Tabla 11.1.2. Radiación solar de la provincia de Castellón en MJ/m^2.día.

ángulo	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual	invernal
20	12,9	14,7	18,9	21,2	22,1	23,2	24,0	22,3	20,3	16,4	13,2	11,0	**6.602**	**2.624**
25	13,7	15,3	19,3	21,2	21,8	22,6	23,5	22,2	20,5	17,0	14,0	11,8	**6.694**	**2.750**
30	14,5	15,9	19,7	21,1	21,3	22,0	22,9	21,9	20,7	17,5	14,7	12,5	**6.748**	**2.858**
35	15,2	16,4	19,9	20,9	20,7	21,3	22,2	21,5	20,8	18,0	15,4	13,2	**6.763**	**2.948**
40	15,8	16,7	20,0	20,6	20,1	20,5	21,4	21,0	20,7	18,3	15,9	13,7	**6.740**	**3.020**
45	16,3	17,0	19,9	20,1	19,3	19,5	20,5	20,4	20,5	18,5	16,3	14,2	**6.679**	**3.072**
50	16,7	17,2	19,8	19,5	18,5	18,5	19,5	19,7	20,2	18,6	16,6	14,6	**6.580**	**3.105**
55	16,9	17,2	19,5	18,8	17,6	17,5	18,5	18,9	19,7	18,5	16,9	14,8	**6.444**	**3.119**
60	17,1	17,2	19,1	18,1	16,5	16,3	17,3	18,0	19,2	18,4	17,0	15,0	**6.272**	**3.112**
65	17,1	17,0	18,6	17,2	15,5	15,1	16,1	16,9	18,5	18,1	17,0	15,1	**6.065**	**3.086**
70	17,1	16,7	18,0	16,2	14,3	13,9	14,8	15,9	17,7	17,8	16,8	15,0	**5.827**	**3.040**

Tabla 11.1.3. Radiación solar de la provincia de Valencia en MJ/m^2.día.

Los mapas obtenidos de la radiación solar global diaria, en función del periodo del año, en la Comunidad Valenciana, expresada la radiación en cal/(cm^2 ·día), son los siguientes:





Anexo II. Demandas de ACS de referencia según el CTE.

La tabla siguiente muestra los valores unitarios de demanda que se han de tomar como referencia, según el Código Técnico de la Edificación, el cual toma una temperatura de referencia de preparación del ACS de 60 ºC.

criterio de demanda	litros ACS/día a 60º	
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
Cuarteles	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

tabla 3.1 Demanda de referencia a 60ºC (1)

(1) Los litros de ACS/día a 60ºC 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".

Para el cálculo se ha utilizado la ecuación (3.2) con los valores de T_i = 12ºC (constante) y T = 45ºC

En edificios destinados a viviendas, el cálculo del número de personas por vivienda ha de hacerse utilizando como valores mínimos los que se detallan a continuación:

número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	>7
número de personas	1,5	3	4	6	7	8	9	nº dormitorios

Anexo III. Exigencias del CTE para la contribución solar mínima

En las tablas siguientes se indica la contribución solar mínima, para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de agua caliente sanitaria, a una temperatura de referencia de 60 °C. Se han considerado dos casos:

a) caso general: cuando la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural u otras.

b) caso efecto Joule: cuando la fuente energética de apoyo sea electricidad mediante efecto Joule.

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 2.1 Contribución solar mínima en %. Caso general

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

tabla 2.2 Contribución solar mínima en %. Caso efecto Joule

Para la aplicación con climatización de piscinas cubiertas, las exigencias de contribución solar mínima son las siguientes:

	zona climática				
	I	II	III	IV	V
Piscinas cubiertas	30	30	50	60	70

tabla 2.3 Contribución solar mínima en %. Caso climatización de piscinas

ANEXO IV. Método de cálculo f-chart.

El método de cálculo f-chart pretende calcular la aportación solar al total de la carga térmica de una instalación. Este método consiste en un sistema de cálculo iterativo basado en las curvas del mismo nombre. Dicho método es ampliamente aceptado para el cálculo del rendimiento o fracción de cobertura solar en instalaciones de calentamiento mediante captadores solares planos. Este método de cálculo emplea datos meteorológicos mensuales.

Empleamos la siguiente expresión:

$$f = 1{,}029\,D_1 - 0{,}065\,D_2 - 0{,}0245\,D_1^2 + 0{,}018\,D_2^2 + 0{,}0215\,D_1^3$$

donde

f: es el valor de la fracción solar a calcular.

D_1: coeficiente que depende de la energía absorbida por el captador

D_2: coeficiente que depende de la energía perdida por el captador

Los pasos a seguir para calcular la superficie necesaria de captadores solares son los siguientes:

1. Determinación de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS 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.

Para el cálculo de las necesidades energéticas se emplea la siguiente fórmula:

$$Q_a = C_{dia} \cdot N \cdot c_e \cdot (t_{acs} - t_{ae})$$

donde,

Q_a: carga calorífica mensual de calentamiento de ACS en MJ/mes

C_{dia}: consumo diario de agua a la temperatura T_{acs} en litros/día

N: número de días del mes considerado

c_e: calor específico, que para el agua es de 4,187· J/kg ºC

t_m: temperatura media del agua referencia para el agua caliente sanitaria en ºC.

t_{AF}: temperatura del agua de la red en ºC.

El parámetro D_1 expresa la relación entre la energía absorbida y la energía calorífica total de calentamiento durante un mes, por lo que toma la expresión siguiente:

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

donde

EA_{mes}: energía solar mensual absorbida por los captadores en MJ/mes.

Q_a: es la carga calorífica mensual en MJ/mes

la energía solar absorbida por los captadores se calcula mediante esta expresión:

$$EA_{mes} = A \cdot E_d \cdot N \cdot F_R'(\tau\alpha)$$

A: superficie de los captadores en m^2.

E_d: radiación diaria media incidente sobre la superficie de los captadores en MJ/m^2.

N: número de días del mes.

$F_R'(\tau\alpha)$: factor adimensional que tiene como valor:

$$F_R'(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha)_n \cdot \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \cdot \frac{F_R'}{F_R}$$

donde

$F_R(\tau\alpha)_n$: factor de eficiencia óptico del captador.

$(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$: modificador del ángulo de incidencia (se considera un valor de 0,96 para una superficie transparente sencilla y 0,94 para superficie transparente doble).

F_R'/F_R: factor de corrección del conjunto captador - intercambiador (se considera normalmente un valor de 0,95).

El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas de energía y la energía calorífica total de calentamiento durante un mes, por lo que toma la expresión siguiente:

$$D_2 = \frac{E_p}{Q_a}$$

donde

E_p: energía solar perdida por los colectores solares en MJ/mes.

Q_a: demanda energética mensual en MJ/mes.

La expresión para E_p es la siguiente:

$$E_p = A \cdot F_r U_L \cdot (100 - T_a) \cdot t \cdot K_1 \cdot K_2$$

donde

A: superficie de captación en m^2

$Fr'U_L$: factor en $W/m^2 \cdot K$ que tiene como valor

$$F_r' U_L = F_r U_L \cdot \frac{F_r'}{F_r}$$

donde

FrU_L es el coeficiente global de pérdidas en W/m2 K

Fr´/Fr es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador (consideramos un valor de 0,95)

T_a: temperatura media mensual ambiente en °C.

t: periodo de tiempo considerado en segundos.

K_1 : factor de corrección por almacenamiento y se obtiene a partir de la siguiente expresión:

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

donde

V es el volumen de acumulación en litros.

A es el área de captación en m^2.

K_2 : es el factor de corrección para el agua caliente sanitaria y toma la expresión

$$K_2 = \frac{(11{,}6 + 1{,}18\, t_m + 3{,}86\, t_{AF} - 2{,}32\, T_a)}{(100 - T_a)}$$

donde

t_m es la temperatura media del ACS

t_{AF} es la temperatura del agua de red

T_a es la 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, EU_{mes}, tiene el valor:

$$EU_{mes} = f \cdot Q_a$$

donde

Q_a: carga calorífica mensual en MJ/mes

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.

$$Cobertura\ solar\ anual = \frac{\Sigma\, EU_{mes}}{\Sigma\, Q_a}$$

ANEXO V. Temperaturas ambiente medias.

En la siguiente tabla se muestran las temperaturas medias ambientes mensuales y la media anual, de una serie de poblaciones representativas de todo el ámbito geográfico de la Comunidad Valenciana. Estos valores se han obtenido a partir de las temperaturas mensuales de los últimos 10 años, facilitadas por el Instituto Nacional de Meteorología.

población	comarca	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
Villena	Alt Vinalopó	6,2	7,2	10,6	12,5	16,4	20,9	23,0	23,1	19,9	15,5	9,4	6,7	**14,3**
Orihuela	Baix Segura	10,9	12,3	14,8	16,8	19,8	24,1	26,1	26,6	24,1	20,1	14,5	11,6	**18,5**
Elx	Baix Vinalopó	12,1	12,9	15,5	17,7	20,3	25,0	26,8	27,3	24,5	20,7	15,5	12,7	**19,2**
Dénia	La Marina Alta	10,9	10,4	14,1	15,8	19,0	23,3	25,7	26,2	23,3	19,8	14,6	12,0	**17,9**
Benidorm	La Marina Baixa	11,2	11,8	12,6	12,3	17,0	23,3	25,2	25,8	23,4	17,7	15,2	12,5	**17,3**
Alacant	L'Alacantí	11,7	12,2	14,7	16,7	19,7	23,9	25,8	26,3	24,0	20,4	15,3	12,6	**18,6**
Castalla	L'Alcoià	6,7	8,0	10,6	12,3	16,1	21,0	22,9	23,0	19,7	15,6	10,0	7,3	**14,4**
Elda	Vinalopó Mitjà	8,2	9,6	12,7	14,7	18,5	23,2	25,2	25,4	21,7	15,9	11,7	9,1	**16,3**

Provincia de Alicante. Temperaturas medias mensuales (ºC)

población	comarca	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
Vinaròs	El Baix Maestrat	10,1	10,8	13,6	15,5	19,2	25,5	25,1	22,6	22,6	19,2	13,6	10,8	**17,4**
Morella	Els Ports	4,9	6,1	9,1	10,3	14,1	21,2	21,5	17,7	17,7	14,0	7,9	5,6	**12,6**
Castelló de la Plana	La Plana Alta	11,0	11,6	14,2	16,3	19,3	25,8	26,2	23,4	23,4	19,8	14,4	11,6	**18,1**
La Vall d'Uixó	La Plana Baixa	11,8	12,2	14,8	16,9	19,5	26,1	26,5	23,9	23,9	20,5	15,6	12,5	**18,7**
Betxí	La Plana Baixa	10,5	11,7	14,4	15,8	18,8	22,8	25,5	22,5	22,5	19,4	14,0	11,3	**17,4**
L'Alcora	L'Alcalaten	12,1	13,8	15,1	15,7	18,2	25,4	24,5	22,1	22,1	19,6	14,2	8,3	**17,7**
Villafranca del Cid	L'Alt Maestrat	4,4	5,4	8,2	9,6	13,1	19,9	20,1	16,4	16,4	12,9	7,3	5,0	**11,7**
Arañuel	L'Alt Millars	8,3	9,4	11,7	13,4	16,7	23,2	23,8	20,6	20,6	16,8	11,3	8,7	**15,4**
Segorbe	L'Alt Palancia	9,4	10,2	13,0	14,7	18,0	24,6	22,5	21,5	21,5	17,8	12,6	10,1	**16,4**

Provincia de Castellón. Temperaturas medias mensuales (ºC)

población	comarca	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
Sagunt	El Camp de Morvedre	11,1	11,3	13,8	15,9	18,8	22,9	24,9	22,9	22,9	19,5	14,6	11,6	**17,5**
Llíria	El Camp de Túria	10,0	10,8	13,4	15,2	18,4	22,9	25,1	25,6	22,5	18,9	13,2	10,6	**17,2**
Villar del Arzobispo	Els Serrans	8,1	9,6	11,6	13,4	16,6	21,6	23,6	23,8	20,7	16,6	11,4	8,8	**15,5**
Enguera	La Canal de Navarrés	6,2	7,9	10,6	12,4	16,0	21,2	23,8	24,0	20,3	16,0	9,3	7,1	**14,6**
Moixent	La Costera	6,4	7,4	11,9	14,5	18,1	23,0	26,0	24,8	22,2	18,3	11,8	7,4	**16,0**
Xàtiva	La Costera	10,3	11,6	14,4	16,4	19,9	24,8	27,1	27,0	23,7	19,7	13,6	11,2	**18,3**
Buñol	La Foia de Bunyol	6,6	8,3	11,2	12,9	16,2	21,1	23,5	23,7	20,5	16,2	10,2	7,3	**14,8**
Requena (La Portera)	La Plana d'Utiel-Requena	7,5	7,8	11,9	13,8	17,3	22,5	25,4	25,5	21,6	16,2	11,5	8,4	**15,8**
Alzira	La Ribera Alta	11,0	12,0	14,5	16,9	19,8	24,0	26,4	26,7	23,7	20,0	14,4	11,5	**18,4**
Carrícola	La Vall d'Albaida	10,0	11,1	14,0	16,0	19,1	24,0	26,6	26,7	23,3	19,1	13,3	11,0	**17,9**
Ontinyent	La Vall d'Albaida	8,5	9,7	12,7	14,6	17,9	22,9	25,6	25,6	22,1	17,9	11,7	8,9	**16,5**
Jalance	La Vall d'Ayora	7,7	9,3	12,6	14,7	18,4	23,7	26,4	26,4	22,4	17,6	11,4	8,1	**16,6**
Sueca	La Ribera Baixa	12,4	13,0	15,5	17,6	20,3	24,4	26,7	26,9	24,2	20,9	15,7	13,1	**19,2**
Oliva	La Safor	11,1	11,5	13,9	16,3	18,9	23,1	25,7	26,0	23,3	19,6	14,7	12,2	**18,0**
Picanya	L'Horta Oest	11,1	11,6	14,2	16,2	19,1	23,3	25,4	25,9	23,2	20,1	14,6	12,0	**18,1**
Ademuz	Racó d'Ademús	4,9	6,4	9,7	11,3	15,3	20,3	22,7	22,5	19,0	14,2	8,0	5,0	**13,3**
València	València	11,9	12,7	15,1	16,9	19,7	24,0	26,1	26,5	24,0	20,5	15,2	12,6	**18,8**

Provincia de Valencia. Temperaturas medias mensuales (ºC)

ANEXO VI. Tablas para el cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras

Coeficientes de pérdidas por sombras en función del ángulo de inclinación (β) y de la orientación (α) de los colectores solares.

	β = 35°; α = 0°				β = 0°; α = 0°				β = 90°; α = 0°				β = 35°; α = 30°			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,01	0,12	0,44	0,00	0,01	0,18	1,05	0,00	0,01	0,02	0,15	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,13	0,41	0,62	1,49	0,05	0,32	0,70	2,23	0,23	0,50	0,37	0,10	0,02	0,10	0,19	0,56
7	1,00	0,95	1,27	2,76	0,52	0,77	1,32	3,56	1,66	1,06	0,93	0,78	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,84	1,50	1,83	3,87	1,11	1,26	1,85	4,66	2,76	1,62	1,43	1,68	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,70	1,88	2,21	4,67	1,75	1,60	2,20	5,44	3,83	2,00	1,77	2,36	2,24	1,60	1,92	4,14
1	3,17	2,12	2,43	5,04	2,10	1,81	2,40	5,78	4,36	2,23	1,98	2,69	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,17	2,12	2,33	4,99	2,11	1,80	2,30	5,73	4,40	2,23	1,91	2,66	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,70	1,89	2,01	4,46	1,75	1,61	2,00	5,19	3,82	2,01	1,62	2,26	2,93	2,08	2,23	5,02
6	1,79	1,51	1,65	3,63	1,09	1,26	1,65	4,37	2,68	1,62	1,30	1,58	2,14	1,82	2,00	4,46
8	0,98	0,99	1,08	2,55	0,51	0,82	1,11	3,28	1,62	1,09	0,79	0,74	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,11	0,42	0,52	1,33	0,05	0,33	0,57	1,98	0,19	0,49	0,32	0,10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,02	0,10	0,40	0,00	0,02	0,15	0,96	0,00	0,02	0,02	0,13	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla B.1

	β = 90°; α = 30°				β = 35°; α = 60°				β = 90°; α = 60°				β = 35°; α = -30°			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,06	0,01	0,15	0,51	0,00	0,00	0,08	0,16	0,00	0,01	0,27	0,78	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,56	0,06	0,14	0,43	0,02	0,04	0,04	0,02	0,09	0,21	0,33	0,76	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,80	0,04	0,07	0,31	0,02	0,13	0,31	1,02	0,21	0,18	0,27	0,70	1,34	1,28	1,73	3,79
5	3,06	0,55	0,22	0,11	0,64	0,68	0,97	2,39	0,10	0,11	0,21	0,52	2,17	1,79	2,21	4,70
3	4,14	1,16	0,87	0,67	1,55	1,24	1,59	3,70	0,45	0,03	0,05	0,25	2,90	2,05	2,43	5,20
1	4,87	1,73	1,49	1,86	2,35	1,74	2,12	4,73	1,73	0,80	0,62	0,55	3,12	2,13	2,47	5,20
2	5,20	2,15	1,88	2,79	2,85	2,05	2,38	5,40	2,91	1,56	1,42	2,26	2,88	1,96	2,19	4,77
4	5,02	2,34	2,02	3,29	2,86	2,14	2,37	5,53	3,59	2,13	1,97	3,60	2,22	1,60	1,73	3,91
6	4,46	2,28	2,05	3,36	2,24	2,00	2,27	5,25	3,35	2,43	2,37	4,45	1,27	1,11	1,25	2,84
8	3,54	1,92	1,71	2,98	1,51	1,61	1,81	4,49	2,67	2,35	2,28	4,65	0,52	0,57	0,65	1,64
10	2,26	1,19	1,19	2,12	0,23	0,94	1,20	3,18	0,47	1,64	1,82	3,95	0,02	0,10	0,15	0,50
12	1,17	0,12	0,53	1,22	0,00	0,09	0,52	1,96	0,00	0,19	0,97	2,93	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,22	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,08

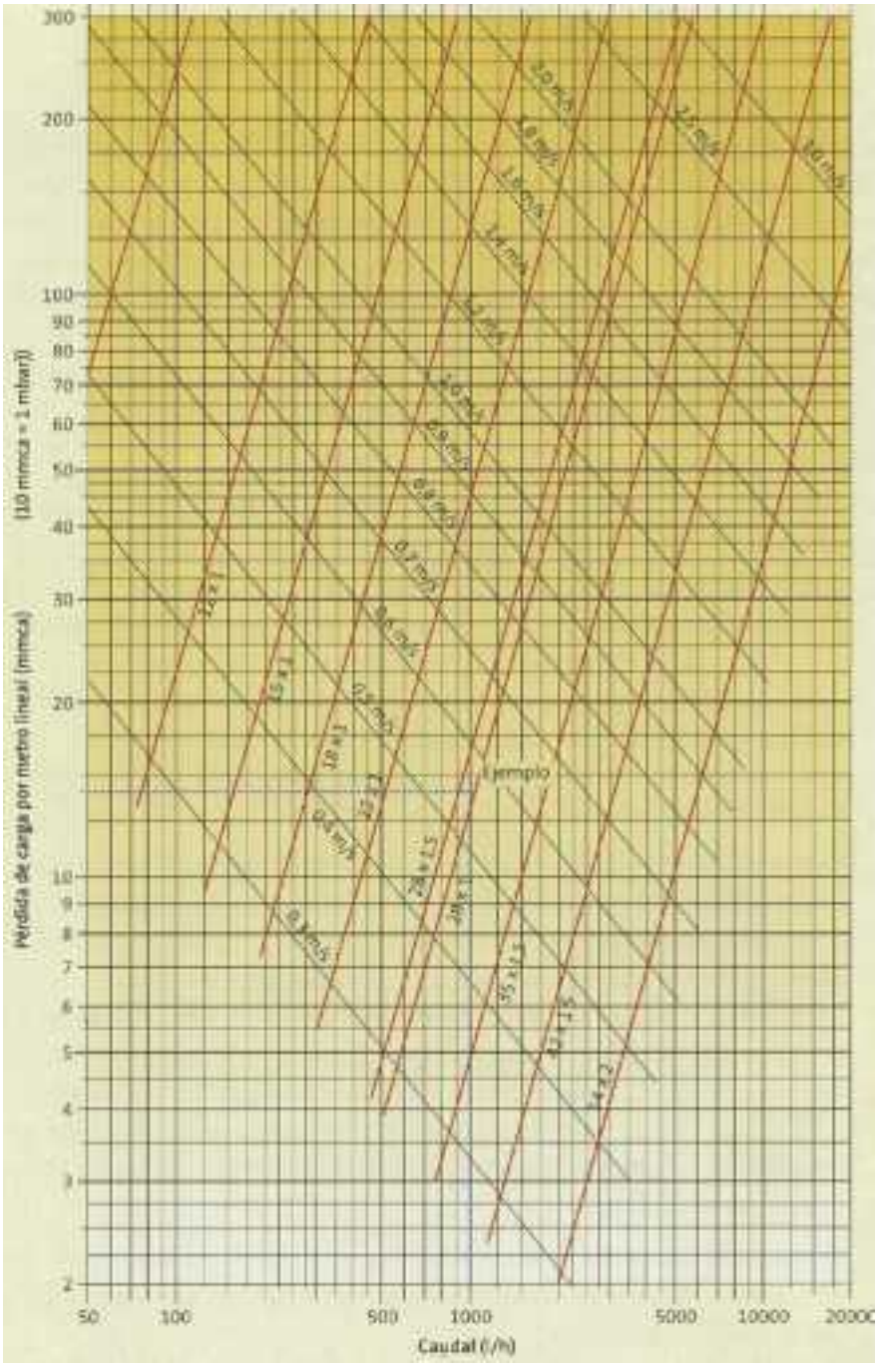
Tabla B.2

	β = 90°; α = -30°				β = 35°; α = -60°				β = 90°; α = -60°			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,05	0,60	1,28	0,00	0,04	0,60	2,09	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,43	1,17	1,38	2,30	0,27	0,91	1,42	3,49	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,42	1,82	1,98	3,15	1,51	1,51	2,10	4,76	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,43	2,24	2,24	3,51	2,25	1,95	2,48	5,48	3,36	2,37	2,56	4,61
3	4,12	2,29	2,18	3,38	2,80	2,08	2,56	5,68	3,49	2,06	2,10	3,67
1	4,05	2,11	1,93	2,77	2,78	2,01	2,43	5,34	2,81	1,52	1,44	2,22
2	3,45	1,71	1,41	1,81	2,32	1,70	2,00	4,59	1,69	0,78	0,58	0,53
4	2,43	1,14	0,79	0,64	1,52	1,22	1,42	3,46	0,44	0,03	0,05	0,24
6	1,24	0,54	0,20	0,11	0,62	0,67	0,85	2,20	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,40	0,03	0,06	0,31	0,02	0,14	0,26	0,92	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,01	0,06	0,12	0,39	0,02	0,04	0,03	0,02	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,01	0,13	0,45	0,00	0,01	0,07	0,14	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,36

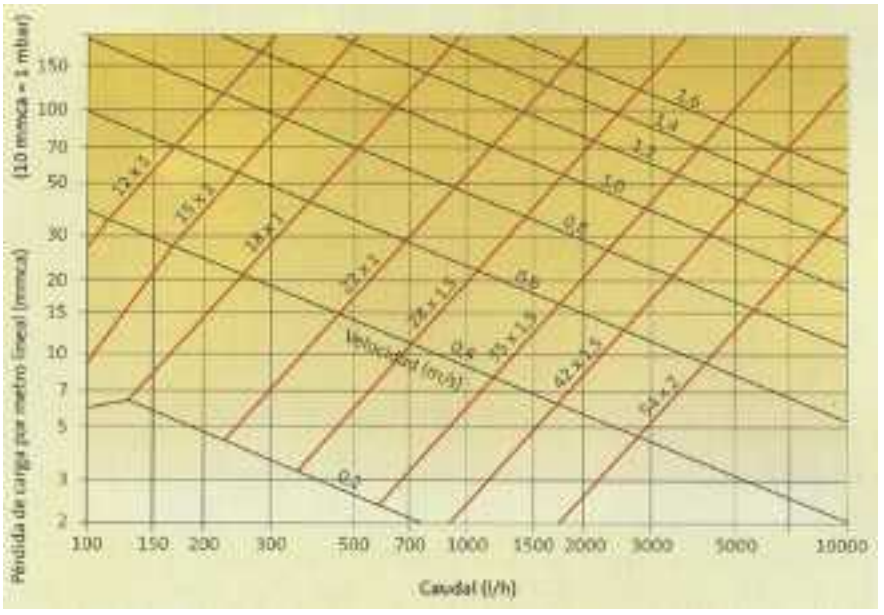
Tabla B.3

ANEXO VII. Pérdidas de carga en tuberías

Cálculo de las pérdidas de carga en función del caudal de agua (60ºC) para tuberías de cobre.



Cálculo de las pérdidas de carga en función del caudal de una mezcla (50ºC) de agua (65%) y glicol (35%) para tuberías de cobre.



Diámetro interior de las tuberías en función del diámetro exterior y del espesor de pared.

Diámetro exterior nominal (mm)	Espesor de cada pared de la tubería (mm)			
	0,75	1	1,2	1,5
	Diámetro interior resultante (mm)			
8	6,5	6		
10	8,5	8		
12	10,5	10		
15	13,5	13		
18	16,5	16		
22		20	19,6	19
28		26	25,6	25
35		33	32,6	32
42		40	39,6	39

Longitudes equivalentes para diversos accesorios de la instalación.

	Diámetro nominal de la tubería							
	DN 12	DN 15	DN 18	DN 22	DN 28	DN 35	DN 42	DN 54
Válvula de retención	1,2	1,5	1,8	2,4	3,6	4,2	4,8	6,1
Codo 90º	0,37	0,42	0,48	0,61	0,79	1	1,2	1,5
T	0,53	0,6	0,67	0,9	1,1	1,52	1,75	2,2
Válvula de esfera	0,15	0,18	0,21	0,27	0,3	0,46	0,54	0,7

ANEXO VII. Unidades y factores de conversión.

Equivalencias entre unidades de trabajo en sus formas eléctrica, mecánica y térmica							
	tep	termia	kcal	BTU	Julio	CVh	KWh
1 tep	1	$1 \cdot 10^{4}$	1·107	$3{,}97 \cdot 10^{7}$	$4{,}19 \cdot 10^{10}$	$1{,}52 \cdot 10^{4}$	$1{,}16 \cdot 10^{4}$
1 termia	$1 \cdot 10^{-4}$	1	1·103	$3{,}97 \cdot 10^{3}$	$4{,}19 \cdot 10^{6}$	1,52	1,16
1 kcal	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-3}$	1	3,97	$4{,}19 \cdot 10^{3}$	$1{,}58 \cdot 10^{-3}$	$1{,}16 \cdot 10^{-3}$
1 BTU	$2{,}52 \cdot 10^{-8}$	$2{,}52 \cdot 10^{-4}$	0,25	1	$1{,}06 \cdot 10^{3}$	$3{,}98 \cdot 10^{-4}$	$2{,}93 \cdot 10^{-4}$
1 Julio	$2{,}39 \cdot 10^{-5}$	$2{,}39 \cdot 10^{-7}$	$23{,}88 \cdot 10^{-5}$	$9{,}48 \cdot 10^{-4}$	1	$3{,}77 \cdot 10^{-7}$	$2{,}78 \cdot 10^{-7}$
1 CVh	$6{,}58 \cdot 10^{-5}$	0,66	$6{,}32 \cdot 10^{2}$	$2{,}51 \cdot 10^{3}$	$2{,}65 \cdot 10^{6}$	1	0,74
1 KWh	$8{,}62 \cdot 10^{-5}$	0,86	$8{,}60 \cdot 10^{2}$	$3{,}41 \cdot 10^{3}$	$3{,}60 \cdot 10^{6}$	1,36	1

ANEXO IX. Nomenclatura

f	frecuencia	s^{-1}
λ	longitud de onda	m
c	velocidad de la luz	m/s
γ	azimut solar	
h	altura solar	
β	latitud geográfica	º
l	longitud geográfica	º
IR	radiación de onda larga	
τ	transmitancia	
α	absortancia	
I	irradiancia solar	W/m^2
E	irradiación	J/m^2
E_A	irradiación solar anual disponible sobre el plano de captación	J/m^2
Q_u	energía útil de un colector solar	J
Q_p	pérdidas térmicas de un colector solar	J
f	fracción o aportación solar	
η_i	rendimiento medio de la instalación	
η	rendimiento de un colector solar	
η_o	coeficiente óptico	W/m^2 ºC
U_L	coeficiente global de pérdidas	W/m^2 ºC
a_1	coeficiente de pérdidas	
T_e	temperatura de entrada del captador	ºC
T_s	Temperatura del fluido de salida del captador	ºC
T_a	temperatura ambiente	ºC
T_{in}^*	Temperatura reducida tomando como referencia la temperatura de entrada del captador	ºC m^2 / W
T_m^*	Temperatura reducida tomando como referencia la temperatura media del captador	ºC m^2 / W
t_m	temperatura media del agua referencia	ºC
t_{AF}	temperatura del agua de red	ºC

β	ángulo del colector respecto a la horizontal	°
A	área de captación	m^2
D_{ACS}	demanda térmica anual de energía	J
c_f	calor específico del agua	J/kg °C
P	pérdidas del tramo de tubería lineal	mca /m
Q	caudal de la tubería en	l/h
d	diámetro interior de la tubería	mm
P	potencia del intercambiador	W
V_t	volumen total del vaso de expansión	l
V_f	volumen del fluido de trabajo de la instalación	l
V_{vap}	volumen de vaporización	l
C_e	coeficiente de expansión o dilatación del fluido para el vaso de expansión	
C_p	coeficiente de presión para el vaso de expansión	
t	periodo de tiempo considerado	s

ANEXO X. GLOSARIO

Acumulador solar o depósito solar: Depósito en el que se acumula el agua calentada por energía solar.

Almacenamiento estacional: Es el que se produce o realiza durante una estación o parte del año.

Bomba de calor: es una máquina térmica de ciclo cerrado, diseñada exclusivamente o preferentemente para obtener un efecto calorífico y que puede proporcionar por inversión del ciclo también un efecto frigorífico.

Bomba de circulación: Dispositivo electromecánico que produce la circulación forzada del fluido a través de un circuito.

Caldera : es todo aparato en donde la energía potencial de un combustible se transforma en utilizable, en forma de calor, mediante el calentamiento de un fluido, agua o aire, que circula por ella y que se utiliza para calefacción o producción de agua caliente sanitaria (ACS).

Calefacción: proceso de tratamiento del aire que controla, al menos, la temperatura mínima de un local.

Captador solar térmico: Dispositivo diseñado para absorber la radiación solar y transmitir la energía térmica así producida a un fluido de trabajo que circula por su interior.

Captador solar plano: Captador solar sin concentración cuya superficie absorbedora es sensiblemente plana.

Captador sin cubierta: Captador solar sin cubierta sobre el absorbedor.

Captador de vacío: Captador en el que se ha realizado el vacío en el espacio entre el absorbedor y la cubierta.

Captador de tubos de vacío: Captador de vacío que utiliza un tubo transparente (normalmente de cristal) donde se ha realizado el vacío entre la pared del tubo y el absorbedor.

Circuito primario: Circuito del que forman parte los captadores y las tuberías que los unen, en el cual el fluido recoge la energía solar y la transmite.

Circuito secundario: Circuito en el que se recoge la energía transferida del circuito primario para ser distribuida a los puntos de consumo.

Circuito de consumo: Circuito por el que circula agua de consumo.

Climatización: proceso de tratamiento de aire que se efectúa a lo largo de todo el año, controlando, en los espacios interiores, temperatura, humedad, pureza y velocidad del aire.

Compresor: equipo destinado a comprimir el fluido refrigerante desde las bajas presiones y temperaturas de salida del evaporador, hasta las condiciones del condensador. En general, se engloba dentro de esta expresión al propio compresor y al motor eléctrico que lo acciona.

Condensador: equipo cuya misión es recibir el refrigerante caliente y a alta presión procedente del compresor, retirarle el calor sensible de sobrecalentamiento y el calor latente de condensación, y entregar al circuito del refrigerante en fase líquida y algo subenfriado.

Controlador anti-hielo: Dispositivo que impide la congelación del fluido de trabajo.

Controlador diferencial de temperaturas: Dispositivo electrónico que comanda distintos elementos eléctricos de la instalación (bombas, electroválvulas, etc.) en función, principalmente, de las temperaturas en distintos puntos de dicha instalación.

Depósito de expansión: Dispositivo que permite absorber las variaciones de volumen y presión en un circuito cerrado producidas por las variaciones de temperatura del fluido circulante. Puede ser abierto o cerrado, según esté o no en comunicación con la atmósfera.

Energías Renovables: energías cuya utilización y consumo no supone una reducción de los recursos o potencial existente de las mismas (energía eólica, solar, hidráulica...). La biomasa también se considera como energía renovable pues la renovación de bosques y cultivos se puede realizar en un periodo de tiempo reducido.

Energía Solar Térmica: energía renovable basada en la conversión de la energía proveniente del sol en energía en forma de calor a través de un efecto invernadero.

Fluido de transferencia de calor o fluido de trabajo: Es el fluido encargado de recoger y transmitir la energía captada por el absorbedor.

Instalaciones de sistema directo: Instalaciones en las que el fluido de trabajo es la propia agua de consumo que pasa por los captadores.

Instalaciones de sistema indirecto: Instalaciones en las que el fluido de trabajo se mantiene en un circuito separado, sin posibilidad de comunicarse con el circuito de consumo.

Instalaciones por termosifón: Instalaciones en las que el fluido de trabajo circula por convección libre.

Instalación con circulación forzada: Instalación equipada con dispositivos que provocan la circulación forzada del fluido de trabajo.

Intercambiador de calor: Dispositivo en el que se produce la transferencia de energía del circuito primario al circuito secundario.

Irradiancia solar: Potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se expresa en W/m^2.

Irradiancia solar directa: Cociente entre el flujo radiante recibido en una superficie plana dada, procedente de un pequeño ángulo sólido centrado en el disco solar, y el área de dicha superficie. Si el plano es perpendicular al eje del ángulo sólido, la irradiancia solar recibida se llama directa normal. Se expresa en W/m^2.

Irradiancia solar difusa: Irradiancia de la radiación solar difusa sobre una superficie receptora plana. Hay que especificar la inclinación y el azimut de la superficie receptora.

Irradiancia solar reflejada: La radiación por unidad de tiempo y unidad de área que, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos, incide sobre una superficie.

Orientación: ángulo formado por la normal exterior a la fachada y la dirección norte

Purgador de aire: Dispositivo que permite la salida del aire acumulado en el circuito.

Radiación solar: Energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

Radiación solar directa: Radiación solar incidente sobre un plano dado, procedente de un pequeño ángulo sólido centrado en el disco solar.

Radiación solar difusa: Radiación solar hemisférica menos la radiación solar directa.

Radiación solar global: Radiación solar hemisférica recibida en un plano horizontal.

Radiador: elemento emisor de calor utilizado en las instalaciones con circuito de agua.

Refrigeración: proceso de tratamiento del aire que controla, al menos, la temperatura máxima de un local.

Sistema solar prefabricado: Sistema de energía solar para los fines de preparación sólo de agua caliente, ya sea como un sistema compacto o como un sistema partido. Consiste bien en un sistema integrado o bien un conjunto y configuración uniformes de componentes. Se produce bajo condiciones que se presumen uniformes y ofrecidas a la venta bajo un solo nombre comercial.

Sistema compacto: Equipo solar prefabricado cuyos elementos se encuentran montados en una sola unidad, aunque físicamente pueden estar diferenciados.

Sistema partido: Equipo solar prefabricado cuyos elementos principales (captación y acumulación) se pueden encontrar a una distancia física relevante.

Sistema integrado: Equipo solar prefabricado cuyos elementos principales (captación y acumulación) constituyen un único componente y no es posible diferenciarlos físicamente.

Termostato: dispositivo que mide y regula la temperatura de consigna que se ha fijado, encendido y apagando automáticamente el aparato o sistema de calefacción o climatización.

Termostato de seguridad: Dispositivo utilizado para detectar la temperatura máxima admisible del fluido de trabajo en el algún punto de la instalación.

Torre de refrigeración: equipo donde se consigue el enfriamiento de un caudal de agua.

Válvula de seguridad: Dispositivo que limita la presión máxima del circuito.

Válvula anti-retorno: Dispositivo que evita el paso de fluido en un sentido.

Índice general

Introducción a la Energía9

La energía 9

Consumo energético mundial actual 11

Impacto ambiental de la energía 13

La radiación solar 19

La constante solar 19

Componentes de la radiación solar 19

El movimiento solar 21

Aprovechamiento de la energía solar 23

Elementos característicos de una instalación 29

Sistema de captación de calor 29

3.1.1 Captador solar plano 29

3.1.2 Captadores sin cubierta 31

3.1.3. Captadores solares de vacío 32

3.1.4. Rendimiento de los captadores solares 33

3.1.5 Fluido caloportador 36

3.1.6 Temperatura de estancamiento 37

3.1.7 Integración arquitectónica 38

Sistema de acumulación 39

Sistema intercambio de calor 41

3.3.1 Tipos de intercambiadores de calor 41

3.3.2 Equipos compactos 42

Circuito hidráulico 43

3.4.1 Red de tuberías de la instalación 44

3.4.2 Bomba de circulación 47

3.4.3 El vaso de expansión 48

3.4.4 Sistema de purga de aire 49

3.4.5 Sistemas de llenado y de vaciado 49

3.4.6 Válvulas 49

Sistema de energía convencional auxiliar 50

Equipos de control 51

Sistema de medida 53
Instalaciones 57
Clasificación de las instalaciones 57
Acoplamiento del sistema de apoyo 59
4.2.1 Acoplamiento en serie 59
4.2.2 Acoplamiento en paralelo 60
4.2.3 Acoplamiento directo 60
4.2.4 Circuito de recirculación 61
4.2.5 Tratamiento térmico para la prevención de la legionelosis 62
Esquemas de funcionamiento 62
Instalaciones solares en la edificación 64
4.4.1 Instalaciones con consumo centralizado 64
4.4.2 Instalaciones con consumo individual 66
Disposición de los colectores 68
Conexionado de los acumuladores 71
Control de la temperatura de los colectores 72
Diseño y dimensionado 77
Orientación e inclinación de los captadores. 77
Cálculo de la demanda 79
5.2.1 Consumo de agua caliente 79
5.2.2 Temperatura de utilización 81
5.2.3 Temperatura de entrada del agua fría 81
Diseño de la instalación 83
5.3.1 Conceptos básicos 83
5.3.2 Aporte de energía de la instalación solar 84
5.3.3 Dimensionado básico. Método f-chart. 85
5.3.4 Método orientativo a partir del rendimiento medio 88
5.3.5 Dimensionado del volumen de acumulación 89
5.3.6 Dimensionado del intercambiador 89
5.3.7 Vaso de expansión 90
5.3.8 Bomba de circulación 91
Las sombras en una instalación solar 92

Aplicaciones de la energía solar térmica **99**
Producción de agua caliente sanitaria 99
Calentamiento de agua de piscinas 99
6.2.1 Piscinas al aire libre 100
6.2.2 Piscinas cubiertas 100
Calefacción 101
Climatización solar 102
Energía solar para procesos industriales 103
Situación socioeconómica de la energía solar térmica **109**
Contexto nacional e internacional 109
La energía solar térmica en la Comunidad Valenciana 111
Previsión futura de la energía solar térmica en la Comunidad Valenciana 113
Casos prácticos **119**
Instalación solar para agua caliente sanitaria en bloque de apartamentos en Denia 119
Instalación solar combinada para ACS y calefacción en residencia en Oliva 119
Producción de agua caliente sanitaria en un hotel en Gandia 120
Energía solar térmica en la piscina municipal de Algemesí 121
Instalación para acondicionar una piscina individual descubierta en Calpe 122
Producción de agua caliente sanitaria en industria cárnica en Orihuela 122
Bibliografía **127**
Normativa Aplicable **131**
ANEXO I. Radiación solar en la Comunidad Valenciana 135
Anexo II. Demandas de ACS de referencia según el CTE. 138
Anexo III. Exigencias del CTE para la contribución solar mínima 139
ANEXO IV. Método de cálculo f-chart. 141
ANEXO V. Temperaturas ambiente medias. 145
ANEXO VI. Tablas para el cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras 147
ANEXO VII. Pérdidas de carga en tuberías 149
ANEXO VII. Unidades y factores de conversión. 152
ANEXO IX. Nomenclatura 153
ANEXO X. GLOSARIO 155

aven

Agencia Valenciana
de la Energía

GUIAS PRÁCTICAS DE ENERGIAS RENOVABLES

solar térmica

solar fotovoltaica

eólica

geotérmica

minihidráulica

biomasa

maremotriz

Calle Colón, 1, 4ª planta · 46004 Valencia
Tel. 963 427 900 · Fax 963 427 901