

# La energía solar térmica y el gas natural en la Comunidad de Madrid



**Montserrat Beltrán**  
(Coordinadora)

**José María Crespo**  
**José Antonio González**  
**Miguel Ángel Orbaneja**  
**Pilar García**

## Coordinación

---

**Montserrat Beltrán**

Grupo Gas Natural

## Autores

---

**Montserrat Beltrán**

**José María Crespo**

**Miguel Ángel Orbaneja**

Grupo Gas Natural

---

**José Antonio González**

Dirección General de Industria, Energía y Minas  
Consejería de Economía e Innovación Tecnológica  
Comunidad de Madrid

**Pilar García**

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

## Edita

---

**Fundación Gas Natural**

Plaza del Gas, n.º 1, edificio C, 3.ª planta

08003 · Barcelona, España

Teléfono: 93 402 59 00 · Fax: 93 402 59 18

[fundaciongasnatural@gasnatural.com](mailto:fundaciongasnatural@gasnatural.com)

[www.fundaciongasnatural.org](http://www.fundaciongasnatural.org)

1.ª Edición: marzo 2007

ISBN: 978-84-611-5869-0

N.º Registro: 0717867

Depósito legal: B-3494-2007

Impreso en España.



# Prólogo

El crecimiento del consumo de energía en España, realmente importante en los últimos años, ha registrado un elevado 66% para el período 1990 a 2004, mientras en la Unión Europea de 25 países miembro, en el mismo intervalo de tiempo, sólo presentaba un aumento del 12%.

En este contexto, todos los esfuerzos dirigidos a concienciar y a sensibilizar de la necesidad de avanzar en el terreno del ahorro y la eficiencia energética son especialmente relevantes. Sin embargo, el costumbrismo social y la falta de información, entre otros elementos, no facilitan el necesario proceso de cambio, a pesar del esfuerzo que realizan las diferentes instituciones involucradas.

Por otra parte, la necesidad de ampliar el mix de energías utilizadas, así como el de preservar las reservas de energías fósiles, y minimizar, en lo posible, las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes locales, comporta el interés progresivo por el uso de las denominadas energías renovables, y entre ellas de forma clara, y más con el nivel de insolación de España, de la energía solar térmica, a la que hemos dedicado este trabajo.

En el caso de España, el Plan de Energías Renovables 2005-2010, establece el objetivo de que al final del periodo las energías renovables deberían permitir cubrir un 12% de la demanda. Mientras que en el caso de la Comunidad de Madrid, el Plan Energético 2004-2012, fija el objetivo de duplicar la energía generada con renovables. El horizonte de la Comunidad de Madrid en energía solar está, a nivel concreto, en conseguir disponer en 2012, de la ambiciosa cifra de 400.000 m<sup>2</sup> de captadores solares, frente a los 58.000 m<sup>2</sup> existentes en 2005.

Otro elemento a considerar, que, sin duda, aporta a avanzar en la dirección planteada, es la entrada en vigor en septiembre del 2006, del nuevo Código Técnico de Edificación,

que aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, establece la obligatoriedad, para las viviendas de nueva construcción o rehabilitadas, de una aportación de energía solar para la producción del agua caliente sanitaria, de entre un 30% y un 70% según las diferentes zonas climáticas.

Pero, la posible discontinuidad del aporte solar por la variabilidad meteorológica, así como la necesidad de elevar la temperatura del agua procedente de la acumulación solar hasta el valor de confort del agua caliente sanitaria, exige la necesidad de disponer de un subsistema auxiliar, o de una energía de soporte que complemente el proceso.

La calidad como combustible del gas natural, que le permite ser la energía fósil que genera menos CO<sub>2</sub>, pero también menos contaminantes de otro tipo, junto con la flexibilidad y disponibilidad de su uso, que facilitan la hibridación con otras energías, lo sitúan en el complemento ideal como energía de soporte de una instalación de captadores solares térmicos.

Pero, la introducción masiva de la energía solar en los edificios de viviendas, necesaria desde la política energética y medioambiental definida comporta también la necesidad de promocionar y difundir los elementos colaterales necesarios para facilitar tal desarrollo.

Es preciso, que la instalación de captadores solares encuentre su espacio en los proyectos arquitectónicos, que existan los captadores y otros materiales adecuados, que se difundan los conocimientos de diseño de la instalación de los sistemas de captación, que se formen instaladores expertos que aseguren la instalación eficiente y a precios adecuados, etc.

La iniciativa de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, de la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, de disponer de una publicación que permitiese difundir de una forma sólida pero entendible los elementos,

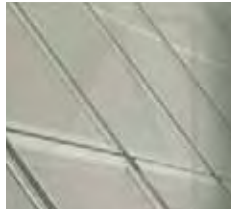
principios y detalles de la energía solar, apoyada con gas natural; y la sensibilidad de la Fundación Gas Natural en su objetivo permanente de difundir elementos de mejora y concienciación del uso de la energía y el medio ambiente, han permitido la publicación de este Cuaderno de Energía y Medio Ambiente nº 5 de la Fundación Gas Natural.

El texto expone de forma clara y sencilla como implantar sistemas combinados de energía solar térmica y gas natural, dirigidos a la obtención de agua caliente, en las viviendas de la Comunidad de Madrid

Hemos tenido la suerte de disponer de unos autores de calidad y reconocido prestigio coordinados y dirigidos por Montserrat Beltrán Arráez del equipo de Tecnología, Seguridad y Sostenibilidad del Grupo Gas Natural, con la inestimable colaboración de José Antonio González de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, y Pilar García de la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

Esperamos que esta publicación sea útil en el esfuerzo diario de conseguir unas viviendas con menor y mejor consumo energético, y que permita aumentar el nivel de sensibilización e involucración de los ciudadanos en el buen uso de la energía y de la preservación del medio ambiente.

Pedro-A. Fábregas  
Director General  
Fundación Gas Natural





# Sumario

<b>1. Introducción a la energía solar</b>	1
1.1 La importancia de las energías renovables	1
1.2 La energía solar: usos y aplicaciones	3
1.3 El potencial de la energía solar térmica en la Comunidad Autónoma de Madrid	5
<b>2. Energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria</b>	9
2.1 Elementos esenciales de una instalación solar térmica	9
2.2 El gas natural como energía de apoyo	11
<b>3. Descripción de los componentes de la instalación solar</b>	15
3.1 El subsistema de captación solar	15
3.1.1 El captador solar	15
3.1.2 Rendimiento del captador solar	18
3.1.3 Principios básicos para el cálculo de la superficie de captación (número de captadores solares)	21
3.1.4 Consideraciones en la instalación de captadores solares en edificios	23
3.1.4.1 Orientación e inclinación	23
3.1.4.2 Elementos que pueden producir sombras	24
3.1.4.3 Conexionado de los captadores: serie/paralelo	26
3.2 El subsistema de intercambio y acumulación	28
3.2.1 Depósitos acumuladores de energía térmica	28
3.2.2 Intercambiadores de energía térmica	31
3.3 El subsistema de apoyo con gas natural	32
3.4 Elementos hidráulicos y de regulación	37
3.5 Mantenimiento de la instalación	40
<b>4. Configuraciones básicas para la producción de agua caliente sanitaria con apoyo de gas natural</b>	41
4.1 Esquemas tipo para viviendas unifamiliares	41
4.1.1 Instalaciones solares a medida	41
4.1.2 Instalaciones compactas de funcionamiento por termosifón	42
4.2 Esquemas tipo para viviendas multifamiliares	44
4.2.1 Instalaciones con apoyo individual	44
4.2.1.1 Configuración con acumulación solar centralizada y apoyo individual	44
4.2.1.2 Configuración con acumulación y apoyo individual	46
4.2.1.3 Otras configuraciones con apoyo individual	47
4.2.2 Instalaciones con apoyo centralizado	50

<b>5. ¿Qué debe cumplir mi instalación solar térmica en la Comunidad Autónoma de Madrid?</b>	53
5.1 El Código Técnico de la Edificación (CTE)	53
5.1.1 ¿Qué es?	53
5.1.2 Vigencia y ámbito de aplicación del CTE	53
5.1.3 Determinación de la contribución solar mínima	53
5.1.3.1 Determinación de la demanda total de agua caliente sanitaria del edificio (litros/día)	54
5.1.3.2 Identificación de la zona climática en la que se ubica el edificio	54
5.1.3.3 Contribución solar mínima	55
5.2 ¿Qué ocurre si en mi municipio existe una ordenanza solar?	56
5.3 Análisis práctico de los posibles supuestos en la Comunidad de Madrid.	58
Sector residencial: unifamiliar (4 personas) y multifamiliar (24 viviendas)	
5.3.1 Municipios donde aplica el CTE	59
5.3.1.1 Municipios donde no existe ordenanza solar térmica	59
5.3.1.2 Municipios con ordenanza solar térmica menos exigente	59
5.3.2 Municipios donde aplica una ordenanza solar térmica	60
5.3.3 Municipios donde se puede aplicar el CTE y una ordenanza	61
<b>6. Ayudas para el fomento de la energía solar térmica y otras energías renovables en la Comunidad de Madrid</b>	63
6.1 Programa de subvenciones	63
6.1.1 Objeto	63
6.1.2 Beneficiarios	64
6.1.3 Actuaciones subvencionables y cuantía de las ayudas	64
6.1.4 Cuantía máxima de las ayudas	65
6.1.5 Período de realización de la inversión	65
6.1.6 Plazo de presentación de solicitudes	65
6.2 Línea de apoyo financiero a proyectos de energías renovables	65
6.2.1 Beneficiarios	65
6.2.2 Actuaciones subvencionables	65
6.2.3 Cuantía de las ayudas	65
6.2.4 Gestión	65
<b>7. Glosario</b>	66
<b>8. Acrónimos y abreviaciones</b>	67
<b>9. Unidades</b>	68
<b>10. Bibliografía</b>	69





# 1. Introducción a la energía solar

## 1.1 La importancia de las energías renovables

La energía constituye la base fundamental de ininidad de actividades cotidianas sin las cuales el modelo de vida actual sería impensable. La energía es necesaria para el desarrollo económico y social de un país, por lo que su abastecimiento debe estar siempre garantizado.

Gran parte de la producción de energía mundial proviene de la combustión de fuentes de energía fósiles (carbón, petróleo y gas natural), ya sea para producir electricidad (centrales térmicas), para el transporte (motor de vehículos), para el uso doméstico (calderas de calefacción y agua caliente sanitaria), o para la actividad industrial.

Los combustibles fósiles son fuentes de energía no renovables, ya que tienen un ciclo de formación muy lento (de millones de años), por lo que finalmente se agotarán si continúa el ritmo de consumo actual. La combustión de estas fuentes de energía fósiles lleva asociada la emisión del principal gas de efecto invernadero (el dióxido de carbono  $\text{CO}_2$ ), siendo su quema considerada como responsable directa del cambio climático y el principal obstáculo para un desarrollo sostenible. Además, son combustibles exclusivamente localizados en determinadas regiones, lo que conlleva una inseguridad en el abastecimiento de aquellos países que, como en el caso de España, no dispongan del recurso.

Para hacer frente a los problemas derivados del modelo tradicional de abastecimiento energético, es necesario impulsar un nuevo modelo basado en el empleo de fuentes de energía inagotables (renovables), limpias y, en la medida de lo posible, homogéneamente distribuidas. Existen seis tipos de fuentes de energía renovables:

- Solar
- Biomasa
- Hidráulica
- Mareomotriz y de las olas
- Eólica
- Geotérmica

Las principales ventajas que se derivan de un empleo sistemático de energías renovables frente al consumo de combustibles fósiles son las siguientes:

### (1) Ventajas ambientales

- Ausencia de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes a la atmósfera.
- Son fuentes de energía limpias, es decir, respetuosas con el medio ambiente.

### (2) Ventajas estratégicas

- Son fuentes de energías autóctonas y ampliamente disponibles y en especial el recurso solar que es inagotable.
- Evitan la dependencia exterior aumentando la seguridad del abastecimiento energético.

### (3) Ventajas socioeconómicas

- Permiten a un país generar un mayor número de puestos de trabajo.
- Permiten el desarrollo de tecnologías propias para su aprovechamiento.

Con el fin de aprovechar todas estas ventajas y poner las bases de un desarrollo sostenible a disposición de las generaciones futuras, las acciones encaminadas al fomento de las energías renovables se han visto especialmente intensificadas durante la última década.

En 1997, los principales países industrializados firmaron el Protocolo de Kyoto con el objetivo de reducir de forma global los niveles de CO<sub>2</sub> (y otros gases de efecto invernadero) e impulsar el desarrollo de las energías renovables. El Protocolo entró en vigor en el año 2005, una vez ratificado por un número suficiente de países, entre los que se encuentra España. En él se fija como objetivo alcanzar, en el 2010, para el conjunto de la Unión Europea, una reducción de las emisiones del 8 % basándose en los niveles de 1990, así como a cubrir el 12 % de la demanda europea de energía primaria con energías renovables.

A fin de cumplir con los compromisos adquiridos por la Unión Europea tras la firma del Protocolo de Kyoto, se puso en marcha en España el Plan de Fomento de Energías Renovables 2000-2010 (PFER) que, posteriormente, fue sustituido por el vigente Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER). En ambos se recoge el mismo objetivo de cubrir un 12 % de la demanda energética con energías renovables. En la misma línea, se desarrolló el Plan Energético de la Comunidad de Madrid 2004-2012, cuyos principales objetivos para el año 2012, respecto al año 2003, son reducir un 10 % las emisiones de CO<sub>2</sub> y duplicar la energía generada por fuentes renovables.

El Código Técnico de la Edificación (CTE), publicado el 28/03/2006 mediante el RD 314/2006, supone un nuevo impulso al empleo de las energías renovables. En el Código se establecen las exigencias básicas que han de cumplir los edificios y obliga al uso de la energía solar para cubrir un porcentaje mínimo de la demanda energética de los mismos.

## 1.2 La energía solar: usos y aplicaciones

La energía solar es la energía contenida en la radiación solar que llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas con longitudes de onda que abarcan el espectro infrarrojo, visible y ultravioleta.

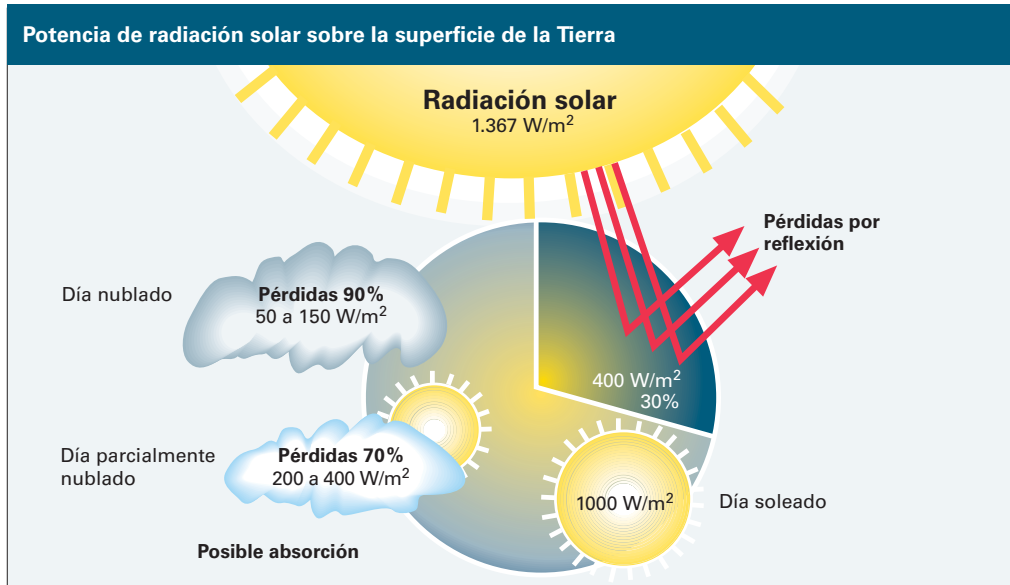
La potencia de radiación solar que llega a la capa exterior de la atmósfera se denomina constante solar y tiene un valor aproximado de 1.367 W/m<sup>2</sup>. La radiación solar se ve reducida al atravesar la atmósfera debido a los fenómenos de reflexión, absorción y dispersión, por lo que la cantidad de energía que llega al suelo en días despejados es de unos 1.000 W/m<sup>2</sup>. Cuando existe nubosidad, la radiación se ve aún más reducida, siendo las pérdidas respecto de los 1.367 W/m<sup>2</sup>, proporcionales a la intensidad de la nubosidad (figura 1.1).

Pese a estas pérdidas, la energía solar que incide anualmente sobre toda la superficie terrestre equivale a unas diez mil veces la demanda de energía anual de la población mundial, por lo que el potencial de esta fuente de energía es inmenso (Fuente: *sistemas solares térmicos. Diseño e instalación*. Solarpraxis AG-Censolar, 2005).

El aprovechamiento de la energía solar puede realizarse tanto de forma pasiva como activa.

- **Pasiva.** No requiere el uso de ningún tipo de mecanismo que transforme la energía solar en otro tipo de energía, como ocurre en el caso de una correcta orientación, diseño y construcción de un edificio (arquitectura bioclimática).

Figura 1.1



- **Activa.** Implica el empleo de mecanismos para captar y transformar en otra energía la contenida en la radiación solar.

Las principales vías para el aprovechamiento activo de la energía solar son la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica.

- **Energía solar fotovoltaica.** Consiste en la conversión de la energía solar en energía eléctrica. La transformación se produce por medio del llamado efecto fotovoltaico al hacer incidir la radiación solar sobre el material semiconductor que constituye una placa solar fotovoltaica.
- **Energía solar térmica.** Utiliza mecanismos para captar la radiación solar y convertirla en energía térmica mediante el calentamiento de un fluido. Existen diferentes tecnologías para la obtención de energía solar térmica. La selección de una u otra dependerá de la temperatura de calentamiento del fluido que se necesite alcanzar en función del uso al que se destine la energía térmica.

La energía solar térmica, dependiendo del nivel de temperaturas, puede emplearse en ámbitos tan distintos como son la producción de agua caliente sanitaria en edificios, el calentamiento del

agua de piscinas, la climatización (calefacción y/o aire acondicionado), la generación de electricidad o incluso en los procesos industriales. De todos estos usos, el más generalizado es, sin duda, la producción de agua caliente sanitaria en edificios, en lo cual se centra el contenido de la presente guía.

### **1.3 El potencial de la energía solar térmica en la Comunidad Autónoma de Madrid**

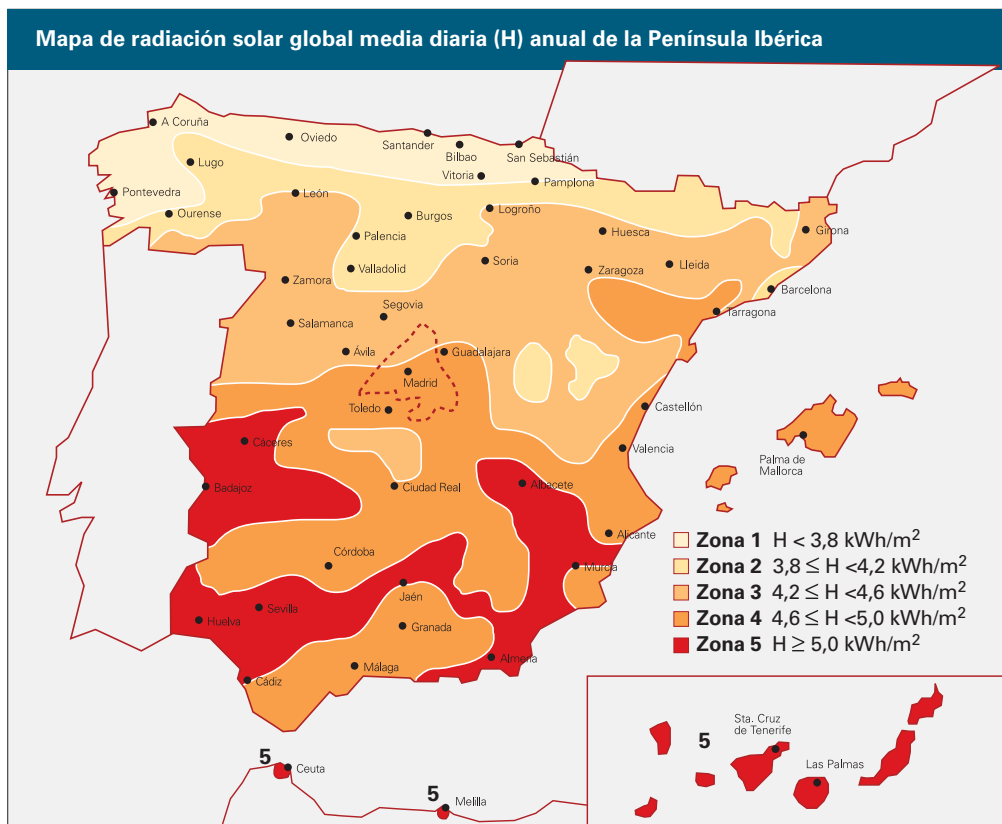
En general, España presenta unas condiciones muy apropiadas para el aprovechamiento de la energía solar al disponer de amplias zonas con alta irradiancia. La situación respecto a otros países europeos líderes en el aprovechamiento del recurso solar (Alemania o Austria) es comparativamente muy favorable.

En particular, la Comunidad Autónoma de Madrid está especialmente favorecida por su situación y su climatología para el aprovechamiento de la energía solar térmica. La radiación solar media anual correspondiente a la zona donde se ubica la Comunidad Autónoma de Madrid es de unos 1.600 kWh por metro cuadrado (figura 1.2), cifra similar a la de muchas regiones de América Central y del Sur y que coloca a Madrid en el grupo de cabeza entre las regiones europeas de mayor irradiancia. Desde el punto de vista tecnológico, la Comunidad de Madrid también se encuentra bien posicionada, al disponer de un amplio tejido de empresas especializadas en el ámbito de la energía solar con un alto nivel en investigación y desarrollo.

La Comunidad de Madrid sólo genera un 3 % de la energía total que consume. Para paliar este déficit energético, uno de los objetivos generales del Plan Energético de la Comunidad de Madrid 2004-2012 es la promoción del uso de los recursos energéticos propios de origen renovable. Así, teniendo en cuenta las excelentes condiciones de insolación y desarrollo tecnológico de la energía solar con las que cuenta la Comunidad Autónoma de Madrid, la potenciación de la energía solar térmica y fotovoltaica constituye una de sus principales metas.

En lo que respecta al aprovechamiento térmico de la energía solar y según los datos publicados por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía) en su Boletín de Eficiencia Energética y Energías Renovables de octubre de 2006, la superficie total de captadores solares térmicos en la Comunidad de Madrid a finales de 2005 alcanzó los 56.258 m<sup>2</sup>. El Plan Energético de la Comunidad de Madrid tiene el ambicioso objetivo de alcanzar los 400.000 m<sup>2</sup> de captadores solares en el año 2012. Para la consecución de este y otros objetivos, el Plan contempla la necesidad

Figura 1.2

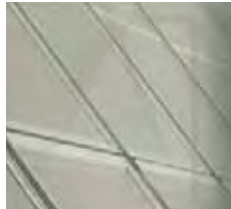


de establecer una serie de medidas de tipo normativo (desarrollo de normativas que impongan la instalación de equipos solares térmicos), económico (subvenciones) y divulgativo (campañas).

En el aspecto económico, la Comunidad de Madrid cuenta desde 1998 con una línea de ayudas para proyectos de energías renovables, convocada anualmente y cofinanciada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Con el fin de ofrecer nuevas vías de subvención, la Comunidad de Madrid ha suscrito convenios de colaboración con el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y con el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en virtud de los cuales se establecen diversas líneas de ayudas que vienen actualizándose anualmente.

Con respecto a la divulgación, desde 2005 la Comunidad de Madrid ha lanzado la campaña «*Madridsolar*» destinada a informar a la población madrileña sobre las ventajas de la energía solar térmica (y fotovoltaica) y a fomentar la construcción de instalaciones de aprovechamiento de la energía solar. El fin de esta campaña es que 25.000 viviendas de la Comunidad de Madrid dispongan de sistemas solares térmicos para la producción de agua caliente sanitaria en el año 2012 para lo cual establece como objetivo intermedio fundamental que, en el año 2007, todos los Ayuntamientos dispongan de la Comunidad cuenten con ordenanzas que obliguen a la instalación de equipos solares térmicos en viviendas de nueva construcción.

Este objetivo intermedio se ha visto cumplido con una cierta antelación tras la reciente entrada en vigor del Código Técnico de Edificación . La nueva norma exige el uso de instalaciones solares térmicas para la producción de agua caliente sanitaria en la construcción de edificios nuevos y rehabilitación de los existentes. Dicha obligatoriedad, unida a las acciones adoptadas por la Comunidad Autónoma de Madrid para el fomento del uso de la energía solar (subvenciones y divulgación), deben servir en los próximos años como elementos impulsores para el desarrollo definitivo de la energía solar térmica en una región con un alto potencial geográfico y tecnológico como es la Comunidad de Madrid.







## 2. Energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria

La energía solar térmica se basa en el aprovechamiento de la energía contenida en la radiación solar y su transformación en calor útil para obtener agua caliente. En línea con el espíritu del Protocolo de Kyoto, el uso de instalaciones solares térmicas para la producción de agua caliente sanitaria en sustitución de combustibles fósiles o energía eléctrica permite reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, su empleo contribuye a aumentar la diversificación de las fuentes de energía y a disminuir la dependencia exterior de países no productores de combustibles fósiles, como es el caso de España.

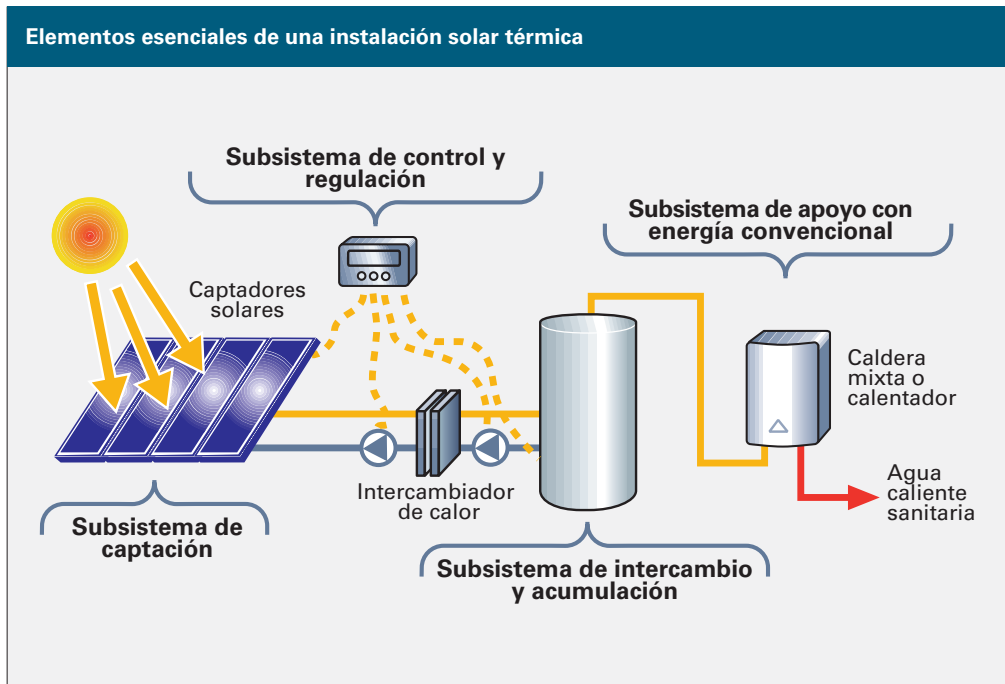
Sin embargo, tanto las variaciones diarias (día-noche) como estacionales (verano-invierno) de la energía solar impiden que las instalaciones solares térmicas puedan garantizar una cobertura total de la producción y servicio de agua caliente sanitaria y, por lo tanto, han de estar complementadas mediante el uso de sistemas energéticos alimentados por fuentes de energía convencionales (gas natural, GLP, gasóleo, electricidad). Así, el objetivo de toda instalación solar térmica es el de optimizar el ahorro de energía convencional, maximizando el uso de la energía solar, pero siempre garantizando la seguridad del servicio y la durabilidad de la instalación, de forma que en todo momento las prestaciones de confort demandadas por el usuario estén aseguradas.

Es importante tener en cuenta que, si bien las instalaciones solares térmicas para la producción de agua caliente sanitaria son relativamente sencillas, su diseño, instalación y mantenimiento ha de realizarse por personal especializado.

### 2.1 Elementos esenciales de una instalación solar térmica

Si bien existen distintas configuraciones de instalaciones solares térmicas para la producción de agua caliente sanitaria, todas ellas están constituidas por los siguientes elementos esenciales (figura 2.1):

Figura 2.1



- Un **subsistema de captación**, donde la energía térmica procedente del Sol es transferida a un fluido, el fluido caloportador, que se calienta al pasar por los captadores solares y se transporta hasta los elementos de intercambio y acumulación.
- Un **subsistema de intercambio y acumulación**, cuya finalidad es la de intercambiar la energía térmica contenida en el fluido caloportador con el agua fría de la red para producir agua caliente sanitaria y acumularla, de forma que esté disponible cuando se produzca su demanda.
- Un **subsistema de apoyo con energía convencional**, que complementa a la instalación solar térmica y genera la energía adicional necesaria para garantizar un suministro continuo de agua caliente sanitaria, cuando no exista suficiente aporte energético desde el subsistema de captación solar.

- Un **subsistema de control y regulación**, que consiste en el conjunto de elementos destinados a asegurar el correcto funcionamiento y la seguridad de la instalación solar, garantizando la calidad en el servicio de agua caliente y aprovechando al máximo la energía solar.

## 2.2 El gas natural como energía de apoyo

El gas natural es un hidrocarburo gaseoso que se encuentra en yacimientos fósiles solo o acompañado de petróleo (yacimiento asociado). Aunque su composición puede variar en función del yacimiento del que se extraiga, se compone fundamentalmente de metano (en un porcentaje del orden del 90 % en volumen) y de una pequeña proporción de otros hidrocarburos.

Si bien puede emplearse como materia prima en procesos industriales como, por ejemplo, en la industria petroquímica, la aplicación más extendida del gas natural es su uso como combustible en multitud de sectores entre los que se encuentran el sector doméstico y el comercial.

Las principales características del gas natural suministrado en España son las siguientes:

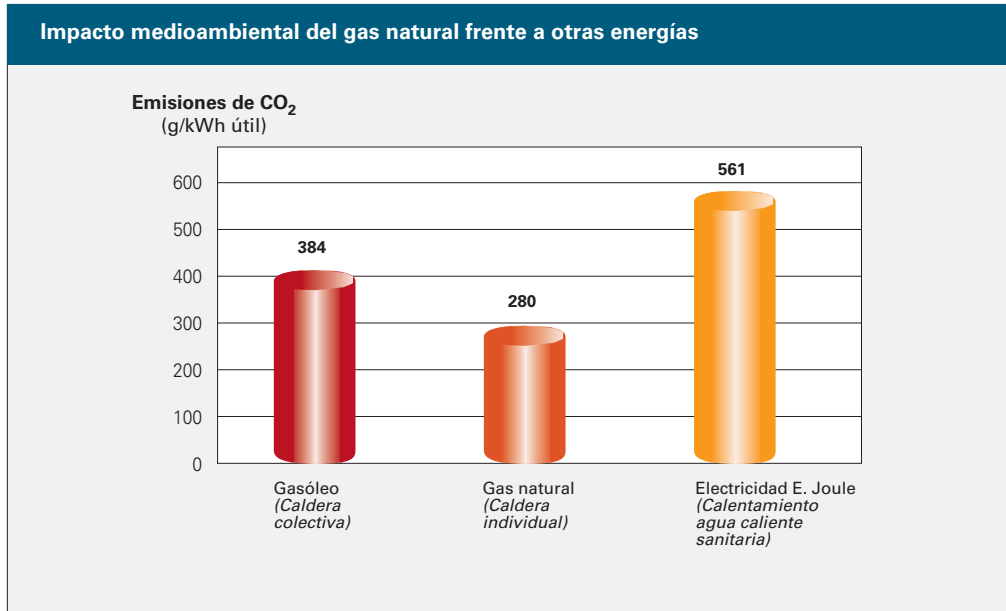
- Poder calorífico superior en condiciones normales<sup>(1)</sup>: 42-44 MJ/m<sup>3</sup> (n)
- Poder calorífico inferior en condiciones normales: 38-39,8 MJ/m<sup>3</sup> (n)
- Densidad relativa: ≈ 0,60

El poder calorífico superior (PCS) es la cantidad de energía liberada en la combustión completa de una unidad de gas natural, considerando que condensa el vapor de agua que contienen los productos de dicha combustión. En cambio, el poder calorífico inferior (PCI) hace referencia a la cantidad de energía liberada en la combustión completa de una unidad de gas natural, cuando el vapor de agua no condensa y se mantiene en estado gaseoso junto con el resto de los productos de la combustión.

Al igual que ocurre con el resto de los combustibles fósiles, el CO<sub>2</sub> forma parte de los productos que se obtienen en la combustión del gas natural. Sin embargo, entre los combustibles empleados habitualmente, el gas natural es el que presenta una menor tasa de emisión de CO<sub>2</sub> por unidad de energía producida (gráfica 2.1) siendo, por lo tanto, la energía de apoyo con menor impacto ambiental.

*(1) Las condiciones normales corresponden a una temperatura de 273,15 K (0 °C) y una presión absoluta de 1,01325 bares. El volumen de gas en condiciones normales se expresa habitualmente en metros cúbicos (n).*

Gráfico 2.1

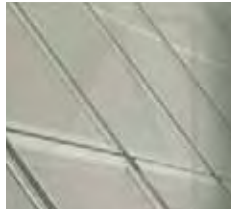


Fuente: Elaborado a partir del documento "Impacto ambiental del gas natural respecto al de otras tecnologías" Fundació Bosch i Gimpera - Universitat de Barcelona.

Por otro lado, los equipos de gas disponibles en el mercado para usos domésticos y comerciales (caldera, caldera mixta y calentador instantáneo) ofrecen una alta fiabilidad y versatilidad, lo cual permite garantizar su conexión a una instalación solar térmica sin detrimento alguno del confort y las prestaciones de que dispone el usuario actualmente para la producción de agua caliente sanitaria.

Las principales ventajas que hacen de los equipos de gas natural los sistemas de apoyo más adecuados para la producción de agua caliente sanitaria en combinación con instalaciones solares son las siguientes:

- Las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera son inferiores a las de otros combustibles y a las de la electricidad.
- El bajo coste de adquisición e instalación de las calderas y los calentadores.
- El coste del kWh de gas es más económico que el coste del kWh eléctrico.
- Servicio ininterrumpido, puesto que el suministro de gas natural al usuario está garantizado.
- Su elevada fiabilidad y bajo mantenimiento garantizan el suministro de agua caliente sanitaria.
- Su funcionamiento no afecta al sistema de captación solar, ya que no interfiere con el acumulador solar.
- Tamaño reducido de la caldera y el calentador.





## 3. Descripción de los componentes de la instalación solar

### 3.1 El subsistema de captación solar

El subsistema de captación solar está formado por un conjunto de elementos encargados de recibir la energía solar y transformarla en energía térmica, con el fin de transportarla al subsistema de intercambio y acumulación y producir así agua caliente.

#### 3.1.1 El captador solar

El captador solar es el elemento principal de una instalación solar térmica y es el dispositivo donde se recoge y aprovecha la energía solar para transformarla en energía térmica mediante el calentamiento de un fluido que circula en su interior. Existen distintos tipos de captadores solares capaces de proporcionar diferentes temperaturas en función del uso al que se destine el agua caliente.

Para la producción de agua caliente sanitaria, el tipo de captador más comúnmente utilizado es el captador solar plano con cubierta de vidrio. Su principio de funcionamiento se basa en el efecto invernadero y se compone de los siguientes elementos principales (figura 3.1):

- Una *caja o carcasa exterior*, con aislamiento térmico en los laterales y en el fondo para evitar las pérdidas de calor.
- Una *cubierta transparente* (generalmente de cristal) que cierra la cara frontal del captador y sobre la cual incide la radiación solar.
- Un *absorbedor metálico*, situado en el interior de la caja, cuyo fin es el de transformar la radiación solar que penetra por la cubierta transparente en térmica y transmitirla al fluido de trabajo (fluido caloportador) que circula por su interior.

El absorbedor, generalmente de cobre, está compuesto por una placa metálica negra unida a una

parrilla de tubos por los que circula el fluido caloportador. La función de la placa es la de absorber la mayor cantidad de radiación solar. Así, la cara del absorbedor orientada a la cubierta de vidrio suele llevar un revestimiento o tratamiento selectivo para mejorar la absorción de la energía solar incidente.

El efecto que tiene lugar en el interior del captador

es semejante al de un invernadero. La cubierta transparente permite pasar la radiación solar (de longitud de onda corta), que es recogida por el absorbedor metálico y aumenta su temperatura. Al calentarse, el metal emite energía en forma de radiación térmica (de longitud de onda larga) que no puede atravesar la cubierta y se acumula en el interior del captador (figura 3.2).

Figura 3.1

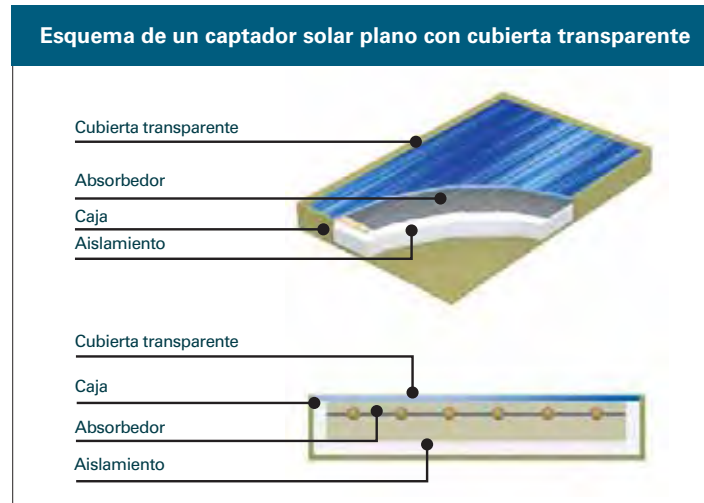
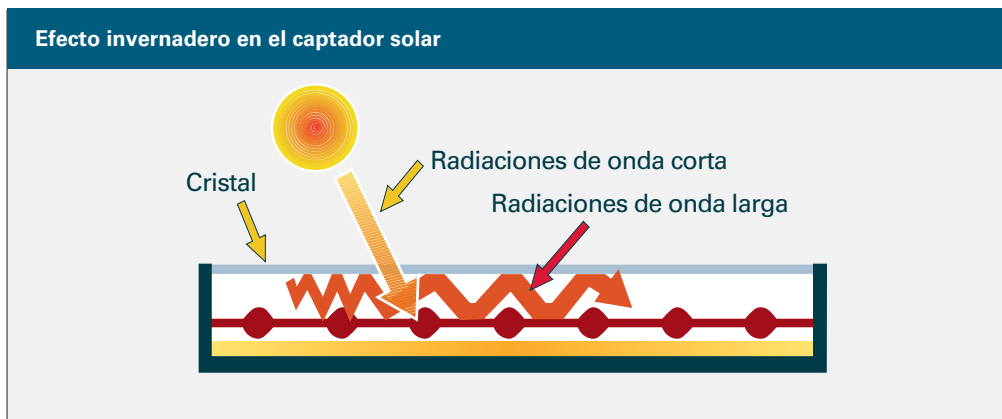


Figura 3.2



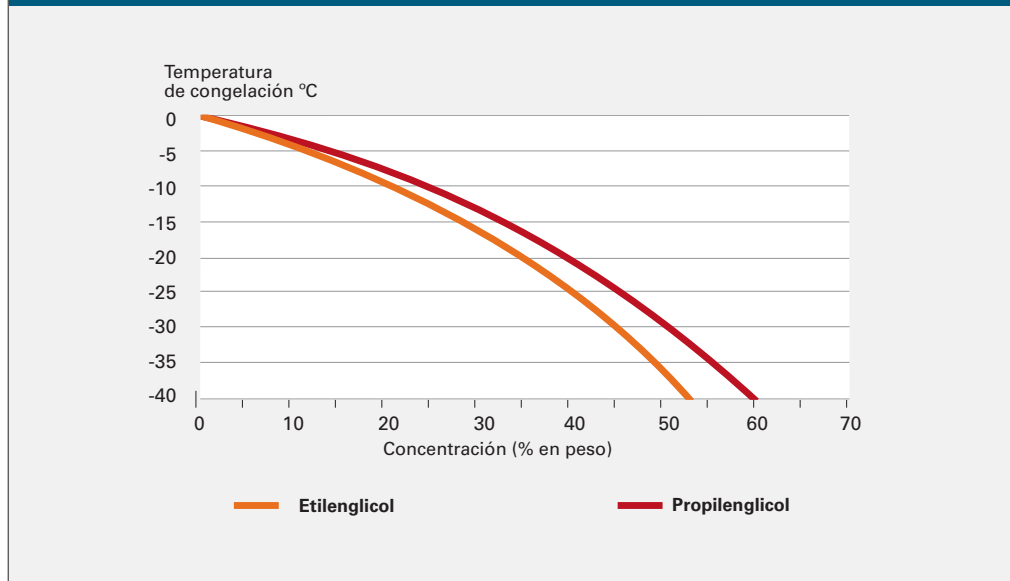


De este modo, el absorbedor se calienta y transmite el calor al fluido caloportador que circula por el interior de los tubos que lo forman. El aislante térmico de las paredes y el fondo de la carcasa contribuye a reducir las pérdidas de calor y a aumentar el rendimiento energético del captador. La mayoría de los captadores solares disponibles en el mercado español tienen una superficie comprendida entre 1,5 y 2,5 m<sup>2</sup>.

El fluido caloportador circula por el circuito primario, es decir, por el interior de los tubos del absorbedor y el conjunto de tuberías que lo conducen hasta el subsistema de intercambio y acumulación. Generalmente se compone de agua y líquido anticongelante (compuestos glicolados) en una proporción adecuada que impida la congelación del fluido en la zona donde se ubique la instalación, especialmente en los momentos de menor temperatura en los que la instalación solar esté inactiva (noches de invierno). Por lo tanto, como se indica en la gráfica 3.1, cuanto más fría sea la zona, mayor será la concentración de anticongelante en el fluido caloportador.

**Gráfica 3.1**

**Ejemplo de temperaturas de congelación de mezclas de agua y dos anticongelantes en función de su concentración en peso**

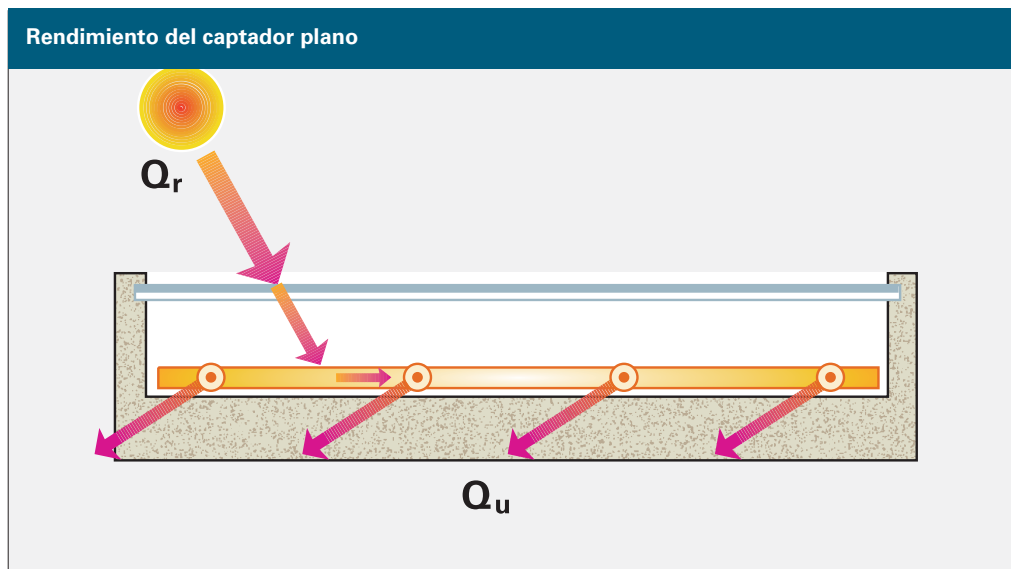


### 3.1.2 Rendimiento del captador solar

El rendimiento ( $\eta$ ) de un captador es la relación entre la cantidad de energía térmica que se obtiene o calor útil aportado al fluido caloportador ( $Q_u$ ) y la cantidad de energía solar que incide sobre el captador ( $Q_r$ ). Es un valor adimensional, suele darse en porcentaje y puede expresarse de la siguiente forma:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_r}$$

Figura 3.3



Si toda la energía solar que incide sobre la cubierta pudiera transferirse al fluido caloportador en forma de energía térmica, el rendimiento del captador sería del 100 %. Sin embargo, existen una serie de pérdidas de energía que limitan este proceso. En líneas generales, el rendimiento de un captador va a depender, por un lado, de los factores que determinan las pérdidas de energía solar incidente, fundamentalmente por fenómenos ópticos (la reflexión y absorción de la cubierta transparente y la eficiencia del propio absorbedor) y, por el otro, de aquellos que afectan a las pérdidas de energía térmica en su interior, como son la temperatura del fluido caloportador, la

temperatura ambiente, la propia intensidad de la radiación solar incidente e incluso, la calidad del aislamiento térmico. El rendimiento del captador puede entonces expresarse del siguiente modo:

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \cdot \frac{(T_e - T_{AMB})}{I}$$

siendo:

- $\eta$  rendimiento del captador <sup>(2)</sup>
- $F_R(\tau\alpha)_n$  factor de eficiencia óptica (sin dimensiones)
- $F_R U_L$  coeficiente global de pérdidas ( $W/m^2 \cdot K$ )
- $T_e$  temperatura de entrada del fluido caloportador al captador (K)
- $T_{AMB}$  temperatura ambiente exterior (K)
- $I$  intensidad de la radiación solar incidente en el plano del captador ( $W/m^2$ )

<sup>(2)</sup> El rendimiento también se puede expresar en función de la temperatura media del captador,  $T_m$ , usando la siguiente expresión:

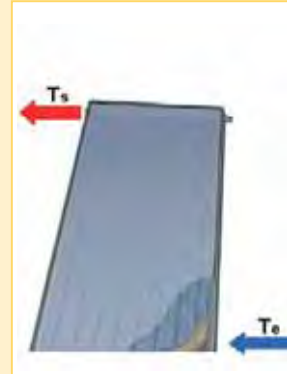
$$\eta = B - K \cdot \frac{(T_m - T_{AMB})}{I}$$

donde  $T_m$  es la temperatura media del captador, calculada como la media aritmética entre las temperaturas de entrada y salida.

$$\left( \frac{T_s + T_e}{2} = T_m \right)$$

En este caso los coeficientes  $B$  y  $K$  son ligeramente superiores a los coeficientes.

$$F_R(\tau\alpha)_n \text{ y } F_R U_L$$



El captador ideal sería aquel con  $F_R(\tau\alpha)_n = 1$  y  $F_R U_L = 0 W/m^2$ , es decir, el que tendría un  $\eta = 100\%$ .

Analizando la expresión anterior,  $F_R(\tau\alpha)_n$  hace referencia al rendimiento hipotético del captador, considerando solamente el valor de las pérdidas ópticas (de energía solar incidente), mientras que  $F_R U_L$  es indicativo de las pérdidas térmicas y depende directamente de la temperatura de entrada del fluido caloportador ( $T_e$ ). Así, cuanto mayor sea  $T_e$ , mayores serán las pérdidas térmicas para una temperatura ambiente ( $T_{AMB}$ ) e irradiancia ( $I$ ) determinada y menor será el rendimiento del captador ( $\eta$ ).

### 3. Descripción de los componentes de la instalación solar

Para obtener un mayor rendimiento es importante que la  $T_e$  sea lo más baja posible, siempre en relación con la temperatura de utilización.

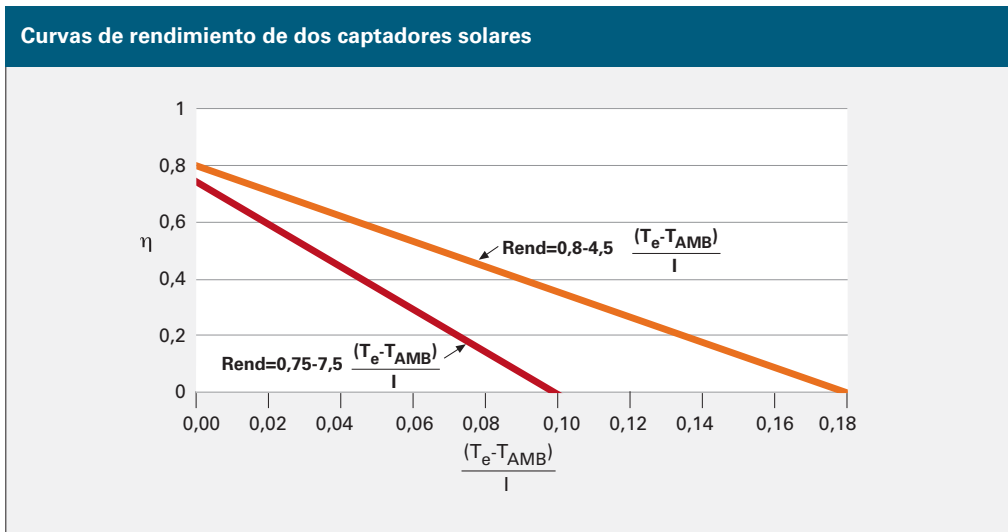
La mayor parte de los captadores solares planos presentes en el mercado español tienen unos coeficientes comprendidos entre los siguientes límites:

- Factor de eficiencia óptica  $F_R(\tau\alpha)_n$ : entre 0,65 y 0,82
- Coeficiente global de pérdidas  $F_R U_L$ : entre 4,0 y 8,0 ( $W/m^2 \cdot K$ )

Cuanto mayor sea el factor de eficiencia óptica de un captador  $F_R(\tau\alpha)_n$  y menor su coeficiente global de pérdidas  $F_R U_L$ , mejor será su rendimiento.

A modo de ejemplo, en la gráfica 3.2 se pueden comparar las curvas de rendimiento de dos captadores solares observándose que, para una  $T_{AMB}$  e  $I$  dada, el rendimiento del captador es menor a medida que aumenta la  $T_e$ , siendo más acusado en captadores con un alto coeficiente global de pérdidas ( $F_R U_L$ ).

Gráfico 3.2



### 3.1.3 Principios básicos para el cálculo de la superficie de captación (número de captadores solares)

De forma general, el proceso para la selección del tamaño de la superficie de captación solar se realiza mediante los siguientes pasos:

1) En primer lugar, se debe calcular la **demanda energética** anual requerida para la producción de agua caliente sanitaria. Para ello, es necesario conocer la temperatura de acumulación y el consumo total de agua caliente sanitaria en el edificio, teniendo en cuenta los parámetros de referencia especificados en la normativa solar (Código Técnico de la Edificación u ordenanza municipal) que sea de aplicación.

2) A continuación, teniendo en cuenta la zona climática en la que se ubica la instalación, la energía de apoyo y otros parámetros, se selecciona el **porcentaje de cobertura (o fracción) solar anual** deseado, o, más comúnmente, el mínimo exigido por la normativa que se aplique (Código Técnico de la Edificación u ordenanza municipal).

Esta fracción representa el porcentaje de energía térmica necesaria para producir el agua caliente sanitaria que debe suministrar el sistema de captación solar. El resto, procederá de la energía auxiliar de apoyo (calentador instantáneo o caldera mixta de gas).

3) Finalmente se hace una evaluación de la **producción energética de la instalación solar** para diferentes superficies de captación. Para ello, se suelen emplear programas informáticos que tienen en cuenta diferentes factores de diseño, entre los que pueden citarse los siguientes:

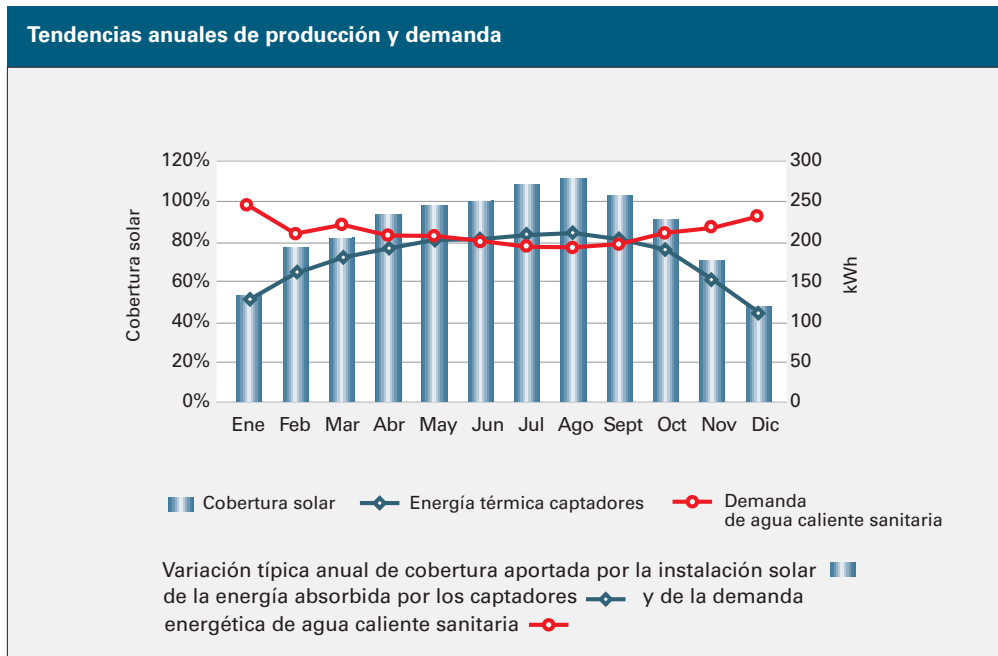
- Características del captador solar empleado (coeficientes característicos de su rendimiento energético).
- Tipo de circuito con o sin bomba de circulación, con intercambiador interno o externo.
- Datos climáticos (radiación solar y temperatura ambiente, normalmente en valores diarios medios mensuales).
- Características de la demanda energética (consumo de agua, temperaturas de uso, temperatura de acumulación solar y temperatura del agua de red).
- Orientación e inclinación de los captadores solares.
- Volumen de acumulación solar.

### 3. Descripción de los componentes de la instalación solar

Una vez que se conoce la producción energética de la instalación solar, se selecciona la superficie de captación que proporciona la cobertura solar deseada para el requerimiento energético anual y que contenga un número entero de captadores solares cuya superficie por unidad dependerá del modelo seleccionado (generalmente entre 1,5 y 2,5 m<sup>2</sup>).

En muchos casos, especialmente en el sector residencial, el período de menor demanda de agua caliente sanitaria coincide con el de máxima producción energética de la instalación solar (verano). Sin embargo, el momento de mayor demanda de energía térmica (invierno) es cuando la instalación produce menos energía. Así, en principio y siempre cumpliendo con las exigencias mínimas de la normativa solar que corresponda, se recomienda evitar el sobredimensionado de forma que durante el verano no se produzcan excesos de energía (sobrecalentamientos) que puedan afectar al sistema y dotar a la instalación de mecanismos que puedan disipar el exceso de energía térmica en un momento dado. El gráfico 3.3 muestra las tendencias típicas anuales de producción y demanda de energía para el calentamiento de agua caliente sanitaria en una instalación solar sobredimensionada con un exceso de cobertura durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

Gráfico 3.3



### 3.1.4 Consideraciones en la instalación de captadores solares en edificios

La situación de los captadores solares se elegirá teniendo en cuenta una serie de aspectos tales como:

- Los captadores han de aprovechar al máximo la radiación solar, debiendo ser ubicados en una zona suficientemente soleada, libre de sombras en la medida de lo posible y orientados al Sur geográfico preferentemente.
- Una vez instalados deben ser accesibles para la realización de operaciones de mantenimiento.
- Su instalación debe tener en cuenta la integración arquitectónica en el edificio.

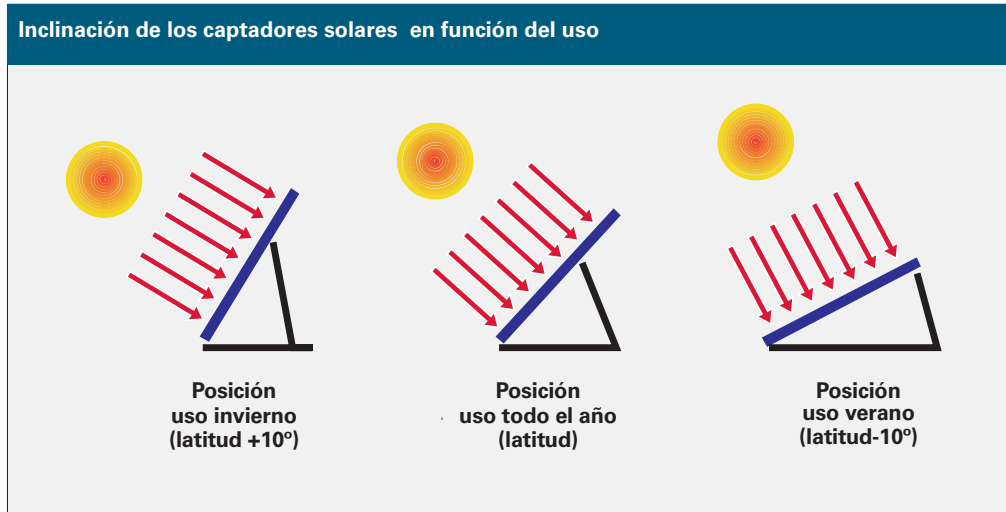
#### 3.1.4.1 Orientación e inclinación

La orientación óptima de los captadores solares coincide con la orientación del Sur geográfico, aunque desviaciones de hasta unos 25° hacia el Este o el Oeste tienen una influencia pequeña sobre la producción energética solar anual.

La inclinación de los captadores debe elegirse teniendo en cuenta la latitud en la que se ubica y el período en que se utiliza la instalación solar. Así, se consideran los siguientes casos de inclinación óptima:

- Demanda regular de agua caliente sanitaria durante todo el año.  
Inclinación óptima = latitud geográfica
- Demanda de agua caliente sanitaria preferentemente en invierno.  
Inclinación óptima = latitud geográfica + 10°
- Demanda de agua caliente sanitaria preferentemente en verano.  
Inclinación óptima = latitud geográfica - 10°

Figura 3.4



A modo de ejemplo, la latitud geográfica de Madrid es 40° Norte, por lo que la inclinación óptima del captador oscila entre los 30° y los 50° en función de la estacionalidad de la demanda.

Dado que la España peninsular se encuentra situada entre los paralelos 36° y 43°, y que la demanda energética para la producción de agua caliente sanitaria en edificios de viviendas presenta pocas oscilaciones estacionales, se ha generalizado la utilización de estructuras de soporte con una inclinación de 45° para azoteas planas.

### 3.1.4.2 Elementos que pueden producir sombras

Los captadores deberán separarse suficientemente de los obstáculos próximos que puedan proyectar sombras sobre ellos (muretes, chimeneas de ventilación, cuartos de contadores y ascensores, u otras filas de captadores).

Como criterio general, la distancia mínima de separación  $d$  debe ser suficiente para que el obstáculo no proyecte sombras sobre el captador al mediodía solar del solsticio de invierno, que es el día en el que la altura solar es menor y, por tanto, las sombras son de mayor longitud.



El valor de la distancia  $d$ , medida sobre la horizontal, puede calcularse de forma sencilla mediante la siguiente expresión<sup>(3)</sup>:

$$d = h \cdot k$$

siendo:

$d$  la distancia de separación entre obstáculo y captador, en metros

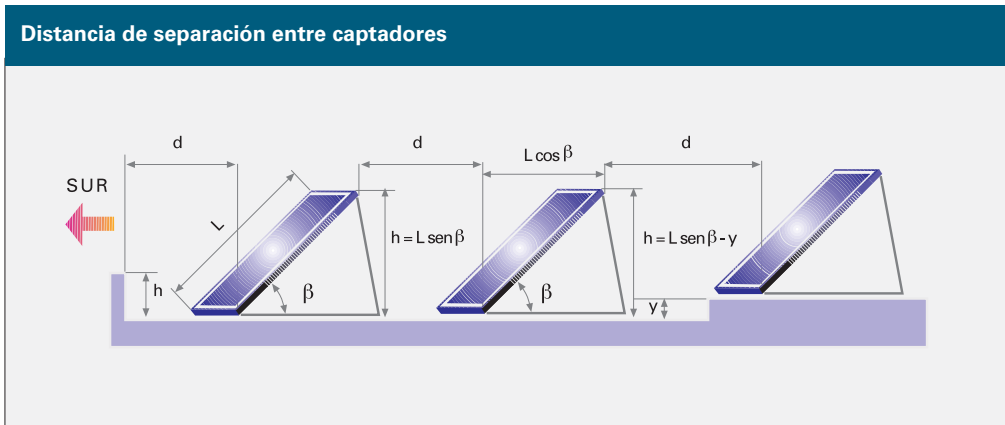
$h$  la altura del obstáculo, en metros

$k$  factor que se expresa como:

$$k = \frac{1}{\tan(67^\circ - \text{latitud})}$$

En la figura 3.5 pueden observarse algunos ejemplos de la toma de datos de las magnitudes  $h$  y  $d$ .

**Figura 3.5**



En el caso de varias filas de captadores, la distancia mínima entre las bases de captadores será mayor o igual al valor obtenido mediante la expresión siguiente:

$$d' + L \cdot \cos \beta$$

(3) En caso de existir una ordenanza solar se debe tener en cuenta si ésta impone, o recomienda, otro método de cálculo.

siendo:

$d'$  distancia mínima entre la parte superior de una fila de captadores y la parte inferior de la siguiente, en metros:

$L$  longitud del captador, en metros.

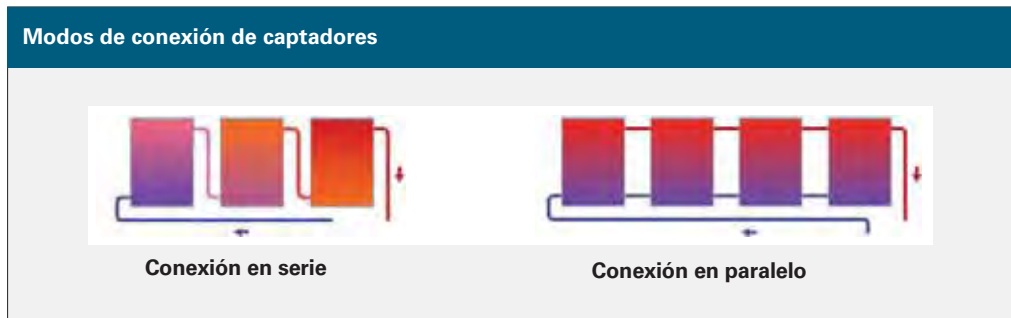
$\beta$  ángulo de inclinación del captador.

### 3.1.4.3 Conexión de los captadores: serie/paralelo

En la práctica, los captadores no se instalan de forma separada, sino que se agrupan formando baterías o grupos, reduciendo el número de accesorios necesarios por captador y el coste.

Los captadores solares se conectan hidráulicamente en grupos para formar el campo de captación solar. Esta conexión se puede efectuar en **serie** o en **paralelo** (figura 3.6).

Figura 3.6

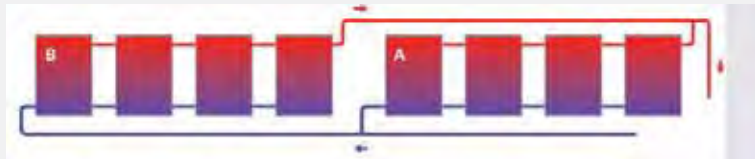


Para la producción de agua caliente sanitaria, lo más adecuado es disponer los captadores conectados en paralelo, formando filas que, a su vez, se conectan entre sí también en paralelo. La conexión en serie permite obtener un aumento de la temperatura del agua producida pero, como se ha comentado en el apartado 3.1.2, el rendimiento del captador ( $\eta$ ) disminuye cuando la temperatura de entrada del fluido de trabajo al captador ( $T_c$ ) aumenta.

Es muy importante prestar especial atención a la estanqueidad y durabilidad de las conexiones de un captador solar. Además, cuando se unan varios grupos de captadores, es imprescindible asegurar que el circuito hidráulico esté equilibrado, es decir, que no existan recorridos preferentes que puedan provocar que algunos grupos de captadores reciban un caudal insuficiente de fluido caloportador e impidan su correcto funcionamiento. En la figura 3.7, se muestra una configuración con un recorrido preferente (menor longitud de tubería) por el grupo A de captadores, lo que provocará una disminución del caudal en el grupo B y una reducción de su rendimiento.

**Figura 3.7**

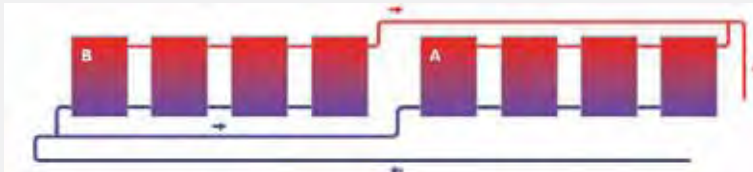
**Conexión en paralelo de dos grupos de cuatro captadores, sin equilibrado hidráulico**



Para evitar la existencia de recorridos preferentes, la solución pasa por la instalación de válvulas de equilibrado hidráulico, instaladas en la entrada de cada grupo o batería, que controlen el reparto de caudal, o diseñar los circuitos hidráulicos con «retorno invertido» de forma que no haya recorridos de menor longitud de tuberías (figura 3.8).

**Figura 3.8**

**Conexión en paralelo de dos grupos de cuatro captadores con «retorno invertido»**



## 3.2 El subsistema de intercambio y acumulación

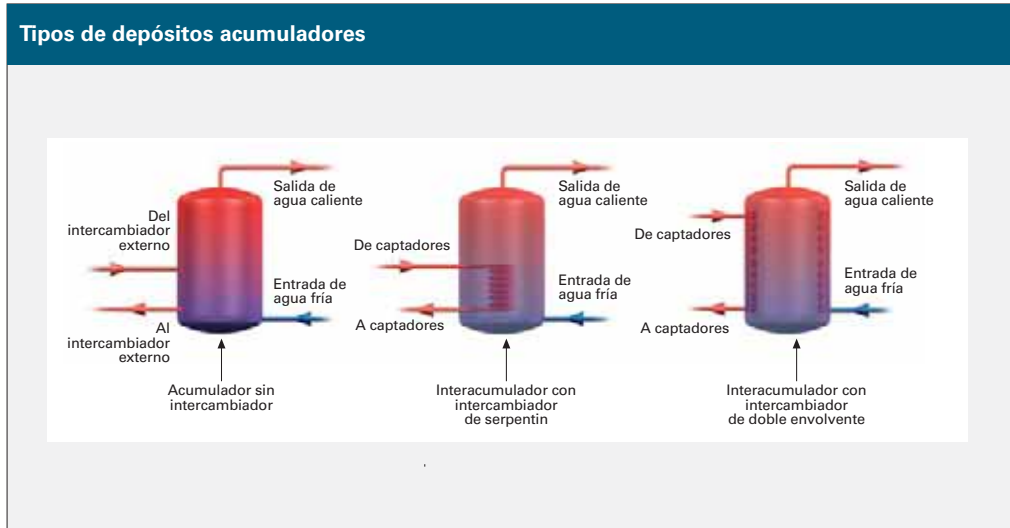
La producción de energía térmica en los captadores solares y el consumo de la misma, especialmente en el sector residencial, no suelen coincidir en el tiempo, por lo que para poder aprovechar la energía producida, es necesaria su acumulación. El almacenamiento de la energía se realiza en forma de agua caliente en depósitos de acumulación. El calentamiento del agua almacenada se realiza mediante intercambiadores de calor, que pueden ser exteriores o estar incorporados en el interior de los acumuladores.

### 3.2.1 Depósitos acumuladores de energía térmica

Existen dos tipos de acumuladores para agua caliente sanitaria:

- **Depósito acumulador de agua caliente sanitaria.** En este caso, el calentamiento del agua acumulada se produce en el exterior del depósito mediante su recirculación a través de un intercambiador de calor externo. Por el lado primario del intercambiador circula el fluido caloportador proveniente de los captadores solares, y por el lado secundario circula el agua caliente sanitaria que queremos calentar y acumular.
- **Depósito con intercambiador incorporado o interacumulador de agua caliente sanitaria.** El calentamiento y la acumulación del agua se producen en el mismo depósito, que incorpora su propio intercambiador. Se pueden distinguir dos tipos de interacumuladores:
  - *De serpentín.* Acumulador de agua caliente cuyo intercambiador de calor está formado por un tubo curvado en espiral o serpentín, por el interior del cual circula el fluido caloportador cediendo energía térmica al agua caliente sanitaria acumulada.
  - *De doble pared.* Acumulador de agua caliente cuyo intercambiador de calor está constituido por una doble envolvente que rodea el depósito, dentro de la cual circula el fluido caloportador, cediendo energía térmica al agua caliente sanitaria acumulada.

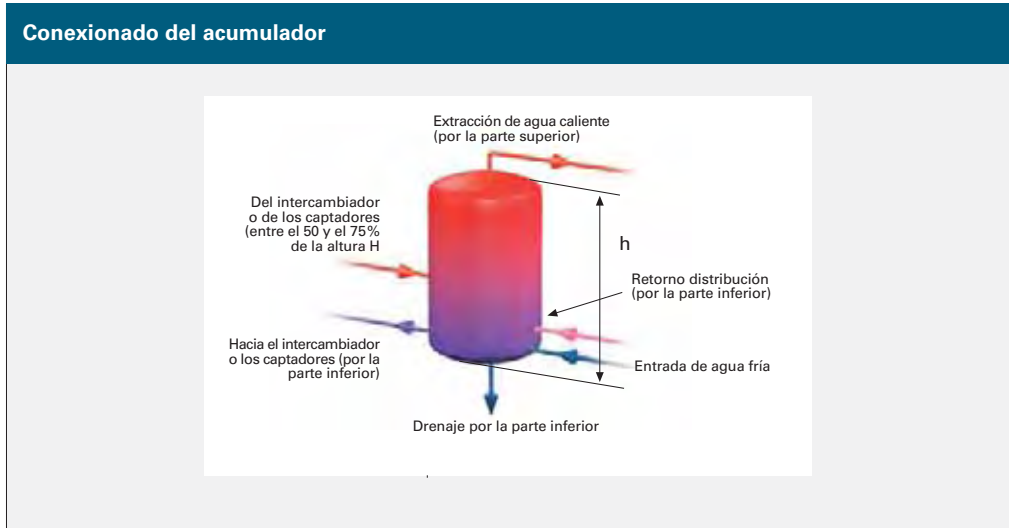
Figura 3.9



Los depósitos han de ser resistentes a la corrosión, estar preferentemente ubicados en posición vertical y tener una relación altura/diámetro elevada. Las conexiones de las tuberías al acumulador deben realizarse de modo que se contribuya a la estratificación de temperaturas en el interior, acumulando el agua más caliente en la parte superior y el agua más fría en la parte inferior. En general, la conexión del acumulador debe tener en cuenta las siguientes consideraciones (figura 3.10):

- La entrada de agua fría de la red debe realizarse por la parte baja del acumulador.
- La salida de agua caliente sanitaria debe realizarse por la parte superior del acumulador.
- La entrada procedente de los captadores o del intercambiador externo debe realizarse preferentemente entre el 50 y el 75 % de la altura (H) del depósito acumulador.
- La salida hacia los captadores o el intercambiador externo debe estar situada en el tercio inferior del acumulador.
- El drenaje del depósito debe realizarse por la parte inferior.

Figura 3.10



En aquellos casos en que sea necesario instalar depósitos horizontales, las entradas de agua caliente y fría se situará en extremos diagonalmente opuestos. Sin embargo, es preferible el uso de acumuladores verticales, puesto que en los depósitos horizontales es mucho más difícil conseguir una adecuada estratificación.

El volumen de acumulación y la superficie de captación solar están relacionados de forma que a mayor superficie de captación, mayor volumen de acumulación se precisa. Según el Código Técnico de la Edificación, para la producción de agua caliente sanitaria, el volumen de acumulación debe encontrarse entre 50 y 180 litros por metro cuadrado de captador instalado, si bien un valor muy habitual para calcular el volumen de acumulación es el de 75 litros por metro cuadrado de captación.

### 3.2.2 Intercambiadores de energía térmica

El intercambiador de una instalación solar es el elemento encargado de transferir la energía térmica, procedente de los captadores y contenida en el fluido caloportador, al acumulador solar. Los parámetros característicos de un intercambiador son el rendimiento y la eficacia del intercambio.

El **rendimiento** del intercambiador es la relación entre la energía absorbida y la aportada al agua tras las pérdidas térmicas. La **eficacia** del intercambio se define como la relación entre la potencia térmica intercambiada y la máxima que teóricamente podría intercambiarse. La eficacia del intercambio afecta al rendimiento del captador ya que, cuanto menor sea la transferencia de calor al agua mayor será la temperatura del fluido de trabajo que retorna a los captadores. Como ya se indicó en el apartado 3.1.2, el rendimiento energético de un captador solar disminuye cuando aumenta la temperatura de entrada del fluido caloportador ( $T_e$ ).

Los intercambiadores pueden estar situados dentro del acumulador (interacumuladores) o fuera del mismo (externos). Para la elección del tipo de intercambiador se deberá tener en cuenta aspectos como el rendimiento y el coste. El empleo de intercambiadores internos simplifica la instalación solar y tienen un coste de adquisición menor; sin embargo, los intercambiadores externos ofrecen un mayor rendimiento y dimensiones reducidas. Las principales características de los intercambiadores más comunes se indican en la siguiente tabla:

Tabla 3.1

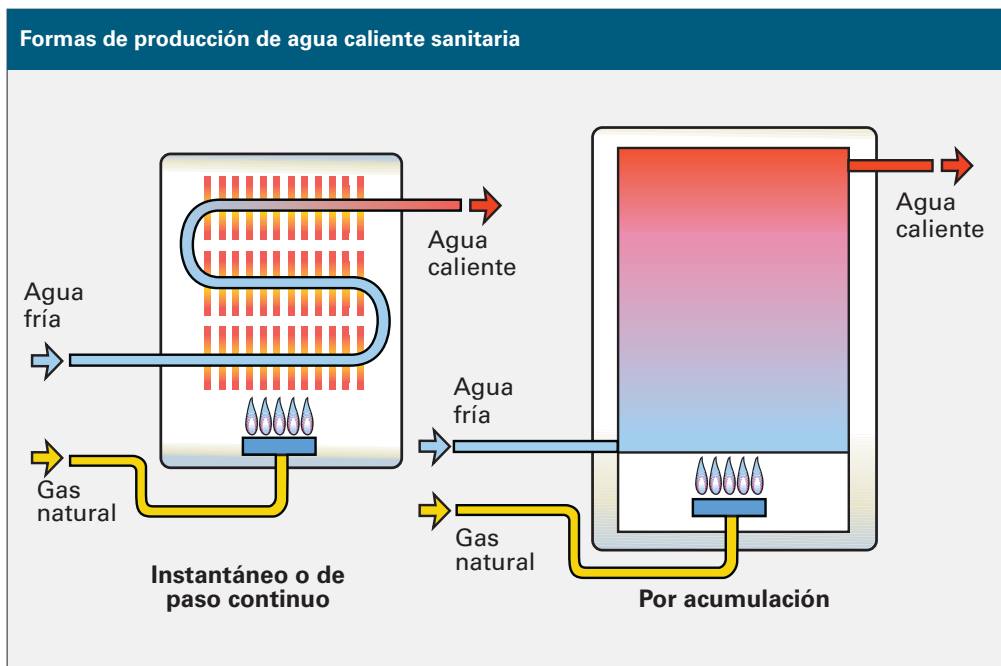
Características comparativas de los intercambiadores más comunes	
Tipo de intercambiador	Características
Placas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Externo al depósito acumulador</li> <li>- Alto rendimiento de intercambio (sistema más eficiente)</li> <li>- Superficie de intercambio muy elevada</li> <li>- Dimensiones reducidas</li> <li>- Mayor pérdida de carga</li> <li>- Diseño a medida de las necesidades</li> <li>- Necesidad de incorporar dos bombas en la instalación (circuito primario y circuito secundario)</li> </ul>
Doble pared (o doble envolvente)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorporado al depósito acumulador</li> <li>- Rendimiento bajo</li> <li>- Gran superficie de intercambio</li> <li>- Baja pérdida de carga</li> <li>- Coste de adquisición económico</li> <li>- Sólo se precisa una bomba (la del circuito primario)</li> </ul>
Serpentín	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorporado al depósito acumulador</li> <li>- Rendimiento de intercambio medio</li> <li>- Superficie de intercambio baja</li> <li>- Pérdida de carga media</li> <li>- Coste de adquisición medio</li> <li>- Sólo se precisa una bomba (la del circuito primario)</li> </ul>

### 3.3 El subsistema de apoyo con gas natural

La finalidad del subsistema auxiliar es aportar la energía necesaria para elevar la temperatura del agua procedente de la acumulación solar hasta el valor de confort de agua caliente sanitaria, o simplemente aportar la energía térmica necesaria cuando desde el lado del sistema de captación solar no hay potencia disponible (día nublado, noche, etc.). El calentamiento del agua mediante equipos de gas natural puede ser individual (para cada vivienda) o centralizado (para varias viviendas) y de forma instantánea (el agua se calienta a medida que se consume) o bien por acumulación (calentamiento previo en un depósito), como muestra la figura 3.11.



Figura 3.11

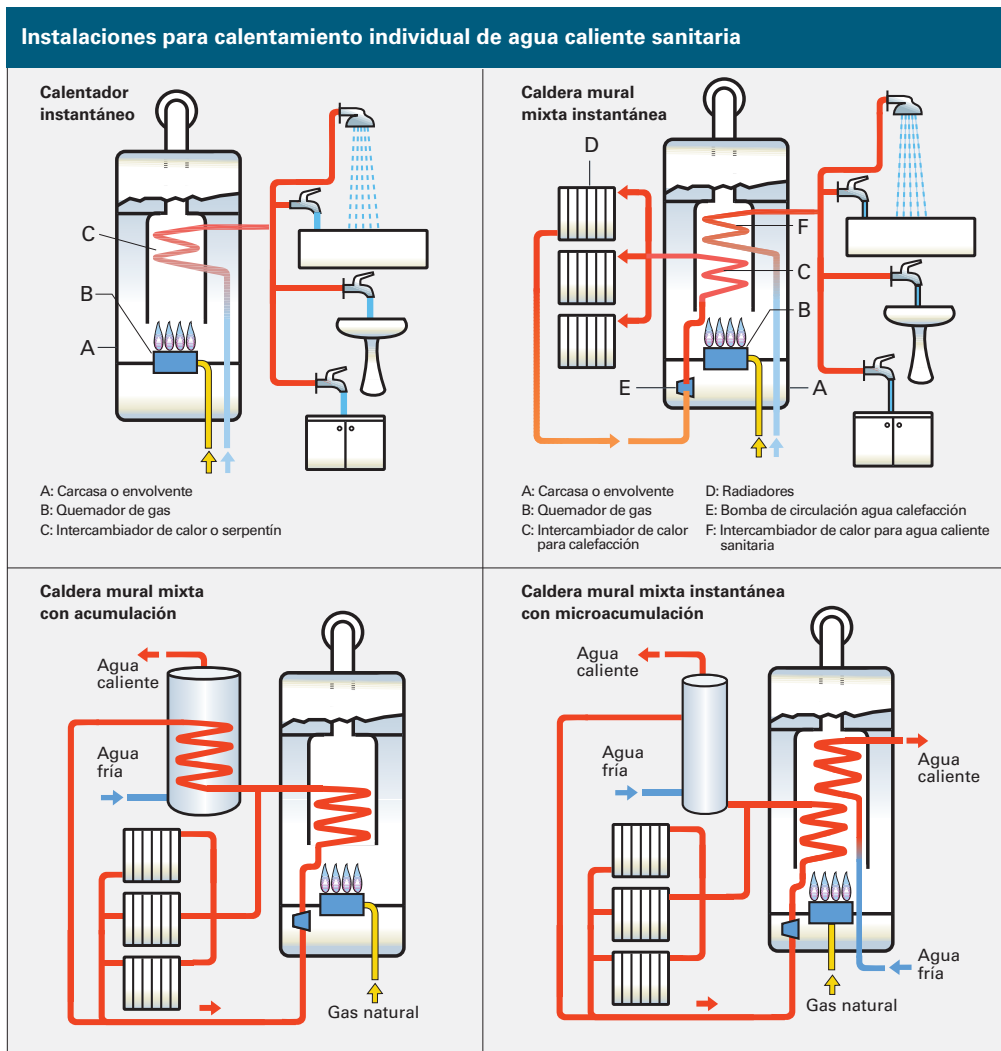


Para instalaciones donde el calentamiento de agua caliente sanitaria es individual, existen diferentes equipos a gas natural que pueden utilizarse. Su principio de funcionamiento se basa en la producción instantánea, en la acumulación o en la combinación de ambos (figura 3.12). Así se pueden emplear:

- **Calentadores instantáneos:** producen agua caliente sanitaria de forma instantánea en el momento en que se solicita el servicio.
- **Calderas murales mixtas<sup>(4)</sup>:** producen simultáneamente agua caliente sanitaria y agua caliente para la calefacción, y pueden ser instantáneas, por acumulación o instantáneas con una pequeña acumulación, (microacumulación).

<sup>(4)</sup>La diferencia entre una caldera mural y una caldera mural mixta es que en el primer caso únicamente se atiende al circuito de la calefacción, mientras que en el caso de las mixtas se atiende a dos circuitos independientes, el de la calefacción y el de agua caliente sanitaria.

Figura 3.12



Existe una amplia oferta de calentadores instantáneos y calderas murales mixtas, con unas potencias de generación de agua caliente sanitaria que, generalmente, oscilan entre los 9 y los 35 kW.

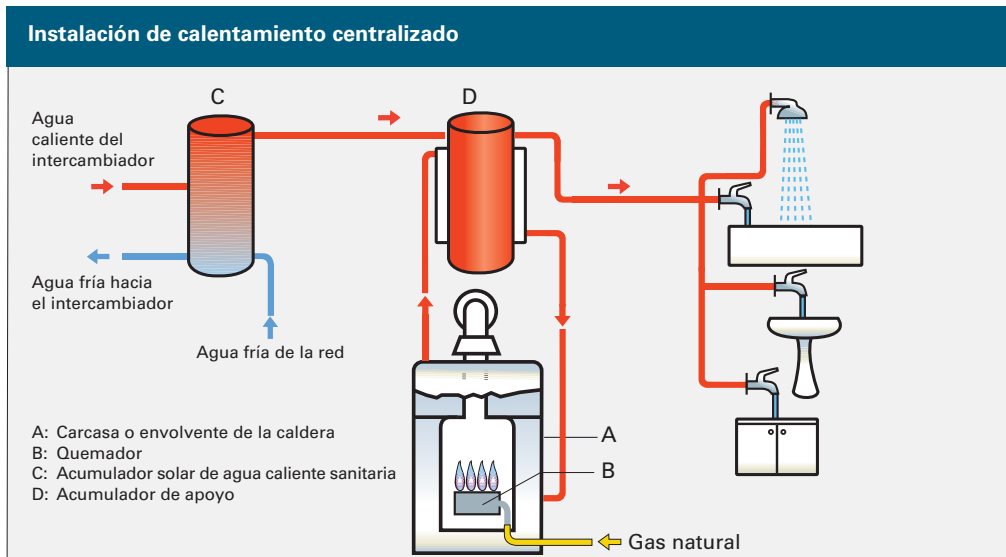
El equipo deberá ser apto para poder conectarse en serie con el acumulador solar y su selección dependerá de diferentes factores como:

- Las necesidades de la vivienda.
- El grado de confort deseado.
- El espacio disponible para su instalación.

Actualmente, la mayoría de fabricantes de calentadores y calderas disponen de productos adaptados para las instalaciones solares térmicas.

Cuando el sistema de apoyo es centralizado, configuración típica del sector servicios, se emplean calderas de mayor tamaño, llamadas «de pie». Estas calderas no se conectan al depósito de acumulación solar de agua caliente sanitaria sino a uno o varios depósitos acumuladores llamados de apoyo (figura 3.13). El mercado ofrece un amplio rango de potencias que permiten ajustarse a las necesidades térmicas de cada caso en función del volumen de agua caliente sanitaria que se desee acumular. Además, existen calderas de pie que permiten el acoplamiento de varios módulos térmicos (modulares) y obtener elevadas potencias para instalaciones que requieran una gran demanda.

**Figura 3.12**



Las ventajas de usar equipos de apoyo a gas natural frente a otras energías convencionales ya han sido descritas en el apartado 2.2. En términos generales, los principales requisitos que debe reunir el subsistema de apoyo se pueden resumir en los puntos siguientes:

- El subsistema de apoyo deberá diseñarse para cubrir el servicio como si no se dispusiera de la instalación solar y solamente entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario, dando total prioridad al aprovechamiento de energía solar frente al consumo de gas.
- El equipo de apoyo nunca deberá aportar energía a los elementos del circuito primario o al depósito de acumulación de la energía térmica procedente del campo de captadores (acumulador solar).
- En el caso de instalaciones sometidas a un control y prevención de la legionelosis (las instalaciones de agua caliente sanitaria residenciales, tanto colectivas como individuales, están exentas), el subsistema de energía auxiliar con acumulación o en línea deberá disponer de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que en condiciones normales de funcionamiento permita cumplir con la legislación vigente.
- En el caso de que el sistema de apoyo no disponga de acumulación (producción instantánea mediante calentador o caldera mural mixta) el equipo será modulante, es decir, capaz de adaptar su potencia a las necesidades de cada momento con independencia de cual sea la temperatura de entrada al equipo de apoyo.
- En el caso de la instalación en línea con el acumulador solar, los componentes de la caldera/calentador han de soportar la temperatura de entrada de agua caliente proveniente del sistema de captación solar, que puede alcanzar el valor fijado como temperatura de consigna, o incluso superior en algunos casos.

La potencia del equipo de apoyo debe elegirse del mismo modo que si la vivienda no dispusiera de una instalación solar, ya que el equipo debe ser capaz de cubrir la totalidad de la demanda en días en los que la captación solar sea nula.

### 3.4 Elementos hidráulicos y de regulación

Las instalaciones solares requieren la incorporación de un conjunto de elementos de control y regulación que permitan un funcionamiento eficaz y seguro, de forma que se obtenga un óptimo aprovechamiento de la energía solar captada y se garantice un uso adecuado de la energía de apoyo. Su objetivo es controlar el funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección para evitar sobrecalentamientos, heladas. Los elementos más comunes son los siguientes:

- **Manómetros.** Miden la presión en el interior del circuito hidráulico.
- **Termómetros.** Miden la temperatura del fluido.
- **Termostatos.** Transforman la temperatura en una señal eléctrica para activar o desactivar un mecanismo.

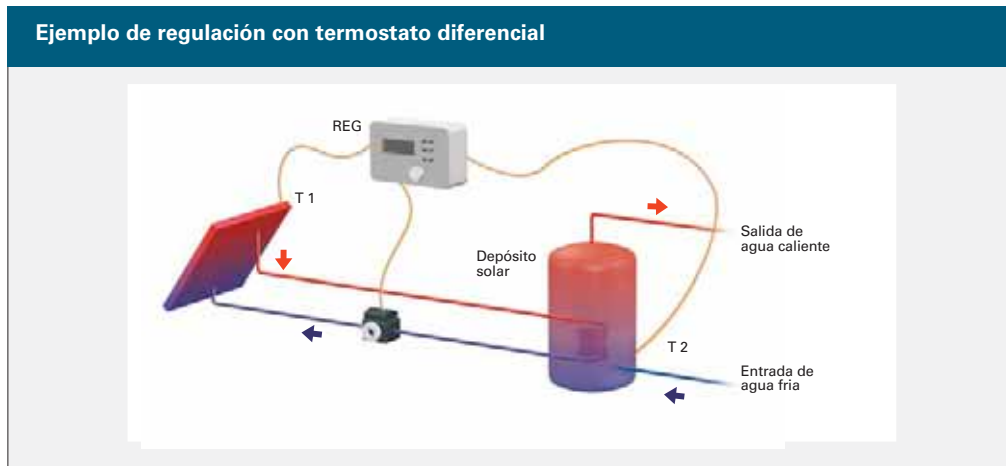
El elemento más importante de control y regulación es el **termostato diferencial**, que permite activar o desactivar la contribución del circuito solar a la producción de agua caliente sanitaria en función de que la diferencia de temperatura sea mayor o menor a un mínimo valor establecido. El funcionamiento de este dispositivo se basa en el empleo de, al menos, dos sondas de temperatura (una fría y otra caliente) colocadas estratégicamente para medir el salto de temperatura aportado por la instalación solar.

La figura 3.14 ilustra un ejemplo sencillo de regulación con termostato diferencial en el que la sonda caliente ( $T_1$ ) se coloca a la salida del captador solar y la fría ( $T_2$ ) en la parte inferior del interacumulador solar.

Según se establece en el Código Técnico de la Edificación, el termostato diferencial deberá poner en marcha la bomba de circulación del circuito hidráulico cuando la diferencia de temperatura entre la sonda caliente ( $T_1$ ) y la fría ( $T_2$ ) sea superior a  $7\text{ }^\circ\text{C}$ , y detenerla cuando la diferencia sea menor de  $2\text{ }^\circ\text{C}$ .

Además de los elementos de regulación, la instalación cuenta con todos los elementos de uso común en sistemas hidráulicos sometidos a presión y temperatura. Se trata de componentes habituales en instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria como:

Figura 3.14



- **Tuberías.** Las tuberías por las que circula el fluido caloportador suelen ser de cobre sanitario en la mayoría de los casos. Otros materiales empleados son el acero negro (especialmente cuando son necesarios grandes diámetros) y materiales plásticos, principalmente el polipropileno.
- **Aislamiento.** Las tuberías que transportan el fluido de trabajo han de estar convenientemente aisladas con el fin de evitar pérdidas térmicas hacia el exterior. Con el mismo fin deberán estar aislados el intercambiador y el acumulador. Los espesores mínimos de aislamiento requeridos para tuberías que circulan por espacios interiores y exteriores se definen en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).
- **Bombas de circulación.** Son equipos accionados por un motor eléctrico que permiten el transporte de un fluido por un circuito hidráulico, venciendo las pérdidas de cargas presentes en el mismo.
- **Vasos de expansión.** Al igual que en los circuitos cerrados de calefacción, es preciso la instalación de vasos de expansión para absorber las dilataciones del fluido caloportador debidas a su calentamiento. Normalmente, los vasos de expansión utilizados son de tipo cerrado.

- **Purgadores de aire.** Se instalan para que la circulación del fluido caloportador no se vea interrumpida por la formación de bolsas de aire en la instalación. Por este motivo deberán instalarse en los puntos más elevados del circuito y, como mínimo, a la salida de los captadores solares.
- **Válvulas de corte.** Permiten interrumpir manualmente la circulación del fluido caloportador en los diferentes tramos del circuito, por ejemplo para realizar acciones de mantenimiento.
- **Válvulas de equilibrado.** Regulan el caudal y/o la pérdida de carga del circuito permitiendo el equilibrado hidráulico de la instalación y evitando caminos preferentes del fluido.
- **Válvulas antirretorno.** Impiden la circulación del fluido en sentido contrario al deseado. Se instalan generalmente en las tomas de llenado de la instalación y en el circuito primario solar para evitar la circulación del fluido caloportador en sentido inverso al de trabajo.
- **Válvulas de vaciado.** Permiten eliminar el agua de la instalación para facilitar los trabajos de reparación o sustitución. Se colocan en los puntos bajos de la instalación, como, por ejemplo, en las columnas de distribución y en la parte inferior de los depósitos de acumulación.
- **Válvulas de seguridad.** Su objeto es evitar que en los circuitos se puedan producir sobrepresiones excesivas que puedan perjudicar elementos de la instalación y de las personas que la manipulan o utilizan. Se instalará siempre una válvula de seguridad en el circuito primario.
- **Filtros.** Protegen las bombas y las válvulas automáticas de las impurezas que existan en el circuito hidráulico.
- **Contadores de agua.** Miden el volumen de agua que circula en litros o metros cúbicos.
- **Contadores de energía (térmica).** Permiten medir la cantidad de energía térmica producida por el sistema o consumida por el usuario en kWh. En general, se trata de contadores volumétricos que incorporan sondas de temperatura para medir no sólo el fluido que circula, sino también el salto térmico entre los puntos de control establecidos.

## 3.5 Mantenimiento de la instalación

Es importante tener en cuenta que la instalación solar debe ser objeto de un mantenimiento periódico con el fin de garantizar su correcto funcionamiento.

Sin detrimento de otras normativas que sean de aplicación, el Código Técnico de la Edificación detalla tanto las acciones que se incluyen en el plan de vigilancia y mantenimiento como la frecuencia (3, 6 o 12 meses) con que deben acometerse las mismas. Los principales aspectos a tener en cuenta en el mantenimiento de la instalación solar son los siguientes:

- El mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar térmica.
- Es obligatorio, como mínimo, una revisión anual de las instalaciones con superficie de captación inferior a 20 m<sup>2</sup> y una cada seis meses para aquellas que superen los 20 m<sup>2</sup> de superficie de captación solar.
- La instalación debe de disponer de un libro de mantenimiento en el que se recojan todas las operaciones realizadas, incluido el mantenimiento correctivo.





## 4. Configuraciones básicas para la producción de agua caliente sanitaria con apoyo de gas natural

Las instalaciones solares térmicas ofrecen distintas configuraciones para la producción de agua caliente sanitaria tanto en viviendas unifamiliares como multifamiliares. La selección de una u otra dependerá de las necesidades de dicha producción y de la propia arquitectura del edificio.

### 4.1 Esquemas tipo para viviendas unifamiliares

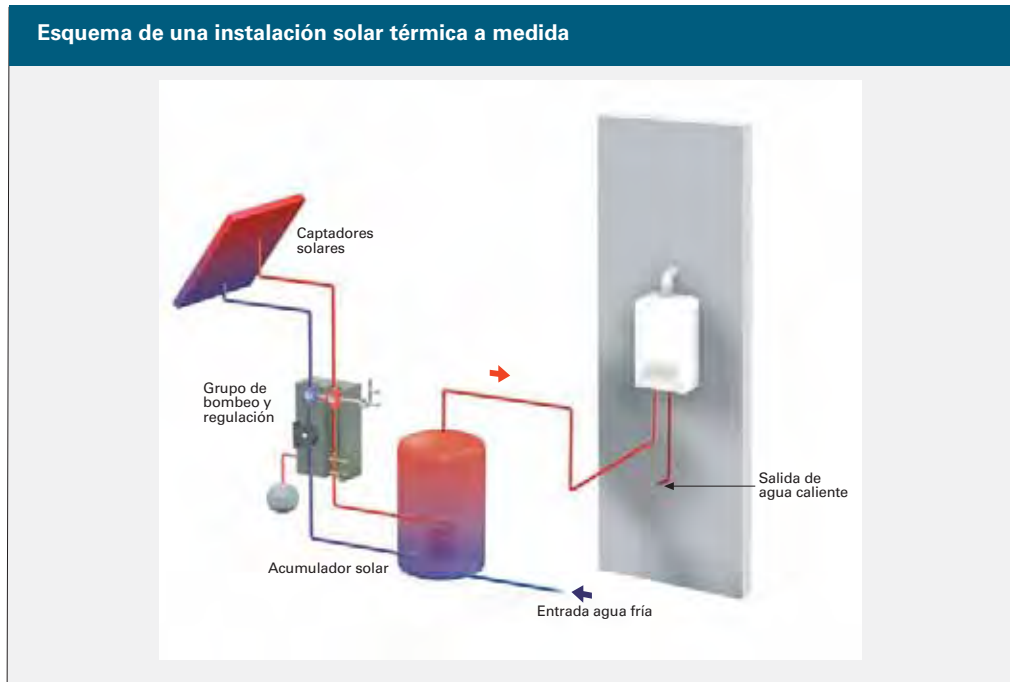
La mayoría de las viviendas unifamiliares presentan un consumo de agua caliente sanitaria muy similar, lo que hace posible la estandarización de las instalaciones solares para este tipo de edificios y, en muchos casos, la venta conjunta de todos o algunos de sus componentes. Las soluciones que ofrece el mercado para viviendas unifamiliares pasa por el diseño a medida o el uso de equipos compactos prefabricados de funcionamiento por termosifón.

#### 4.1.1 Instalaciones solares a medida

Se trata de instalaciones que generalmente se componen de los siguientes elementos (figura 4.1):

- Uno, dos o tres captadores solares instalados normalmente en la cubierta del edificio.
- Un acumulador de agua, normalmente con intercambiador de calor interno y una capacidad comprendida entre 150 y 500 litros.
- Un conjunto de elementos hidráulicos, de bombeo y regulación.
- Un elemento de apoyo, habitualmente formado por un calentador instantáneo o una caldera mural mixta de gas natural, conectado en serie a la salida del acumulador solar.

Figura 4.1



Este tipo de instalación se caracteriza porque permite incorporar los captadores solares a la cubierta del edificio, consiguiéndose un alto grado de integración arquitectónica. El resto de componentes (grupo de bombeo y regulación, acumulador y equipo de apoyo) se ubican en el interior de la vivienda facilitando su acceso para operaciones de mantenimiento.

#### 4.1.2 Instalaciones compactas de funcionamiento por termosifón

Son equipos totalmente prefabricados que se caracterizan por no precisar de un equipo de bombeo para la circulación del fluido caloportador (circulación no forzada). El esquema tipo de estas instalaciones se muestra en la figura 4.2 y se compone fundamentalmente de:

- Uno, dos o tres captadores solares, generalmente del tipo plano.
- Un depósito acumulador, con una capacidad comprendida entre 100 y 300 litros, en general, y provisto de un intercambiador de calor de doble envolvente.
- Un equipo de apoyo (un calentador instantáneo o una caldera mural mixta de gas natural) conectado en serie a la tubería de salida del acumulador solar.

Figura 4.2



Su principio de funcionamiento se basa en la convección, es decir, en la variación de la densidad del fluido de trabajo al cambiar su temperatura. Generalmente, el acumulador se encuentra dispuesto horizontalmente y sobre los captadores (figura 4.2). Unas tuberías conectan el intercambiador de doble envolvente del acumulador con los captadores, formando un circuito cerrado lleno de fluido caloportador. Cuando la radiación solar incide sobre el captador, ésta calienta el fluido caloportador contenido en su interior, aumentando su temperatura y, por lo

tanto, disminuyendo su densidad. Al ser menos denso, el fluido de trabajo tiende a subir y es reemplazado por el fluido más frío (y denso) procedente del intercambiador, cerrándose así el ciclo.

Entre las principales ventajas de estos equipos destacan:

- Su alta fiabilidad, ya que carecen de elementos móviles (bombas) susceptibles de avería y, al ser compactos, permiten el ensayo y la verificación de todos sus componentes por parte del fabricante.
- Su fácil instalación, ya que sólo se precisa fijarlos con la orientación e inclinación adecuadas y conectar la tubería de salida del equipo compacto al equipo de apoyo (calentador o caldera) y la fría a la red de suministro.

Por el contrario, el principal inconveniente de esta configuración es, en algunos casos, el impacto estético al ser colocado sobre la cubierta. Además, las pérdidas térmicas pueden ser importantes en invierno al encontrarse el acumulador en el exterior del edificio.

## 4.2 Esquemas tipo para viviendas multifamiliares

Existen numerosas soluciones posibles para edificios multifamiliares que combinan instalaciones solares térmicas con gas natural. A continuación se exponen las más habituales.

### 4.2.1 Instalaciones con apoyo individual

Son configuraciones que se caracterizan por disponer de un equipo de apoyo de gas natural individual en cada vivienda.

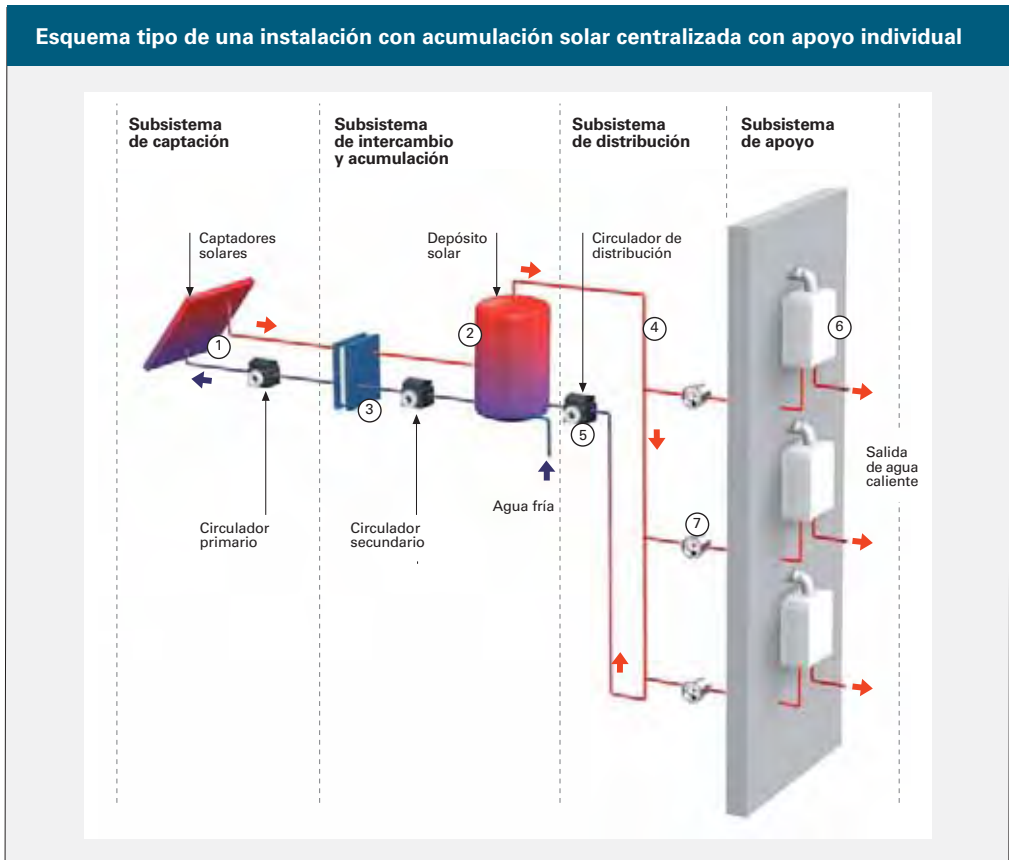
#### 4.2.1.1 Configuración con acumulación solar centralizada y apoyo individual

Este esquema presenta las siguientes características principales (figura 4.3):

- La captación de energía solar se realiza de forma centralizada, a través de un conjunto de captadores solares ① situados en una zona soleada del edificio (normalmente en la cubierta).

- La acumulación de la energía captada es también centralizada y tiene lugar en uno o más acumuladores de agua caliente ②. El agua de red se calienta en el depósito solar mediante un intercambiador de calor exterior de placas ③ o interior (de serpentín o de doble pared).
- El agua procedente del acumulador solar se distribuye hasta cada vivienda mediante una red de distribución de agua precalentada ④. El circuito cuenta con un retorno ⑤ conectado al propio acumulador solar. La temperatura de suministro del agua a las viviendas será variable en el tiempo en función de la disponibilidad de energía solar y de las puntas de consumo

Figura 4.3



- El aporte de la energía de apoyo para alcanzar la temperatura de servicio se obtiene en cada vivienda mediante una caldera mixta o un calentador instantáneo de gas natural ⑥.

El consumo y facturación de gas natural es individual para cada usuario. El consumo de agua caliente es, por el contrario, comunitario. Su coste debe repartirse entre los usuarios en función del consumo mediante la instalación de un contador de agua a la entrada de la vivienda, o bien, para ser totalmente equitativos, un contador de energía a la entrada de cada vivienda ⑦.

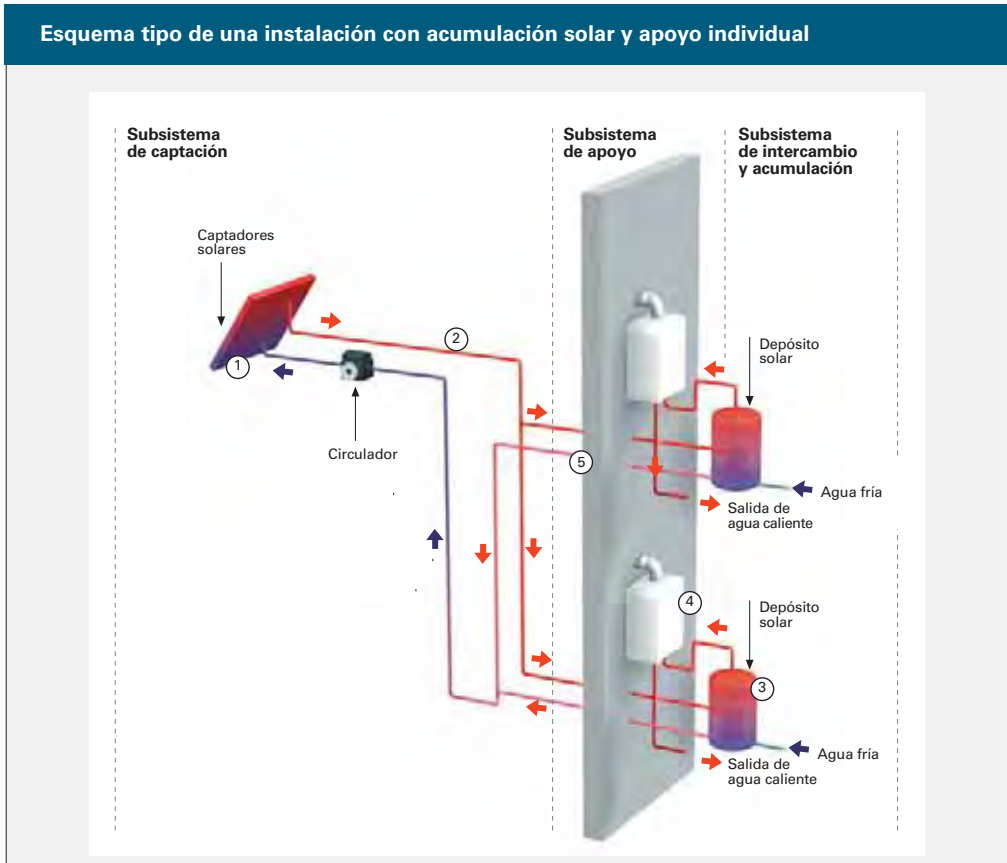
Una avería en el sistema comunitario solar no afecta al abastecimiento de agua caliente sanitaria a las viviendas al disponer cada una de su calentador o caldera.

#### 4.2.1.2 Configuración con acumulación y apoyo individual

En este caso la acumulación de agua caliente es individual para cada vivienda y no colectiva como en la solución anterior. Las principales características de esta configuración son las siguientes (figura 4.4):

- La captación de energía solar se realiza de forma centralizada mediante captadores solares ① situados en la cubierta del edificio.
- La **acumulación** de agua caliente es **individual**. El circuito primario ② transporta el fluido caloportador hasta cada vivienda y calienta el agua de los acumuladores individuales ③ mediante el intercambiador de calor que incorporan.
- Como en el caso anterior, la energía necesaria para alcanzar la temperatura de servicio se obtiene en cada vivienda mediante una caldera mixta o un calentador instantáneo de gas natural ④.
- Tanto el consumo de gas natural como de agua caliente es individual y, por lo tanto, cada usuario es el único responsable de su gasto ante las compañías suministradoras.
- Los interacumuladores ocupan un cierto espacio adicional en la vivienda.
- Una avería en el sistema comunitario solar no afecta al abastecimiento de agua caliente sanitaria a las viviendas al disponer cada una de su calentador o caldera.

Figura 4.4

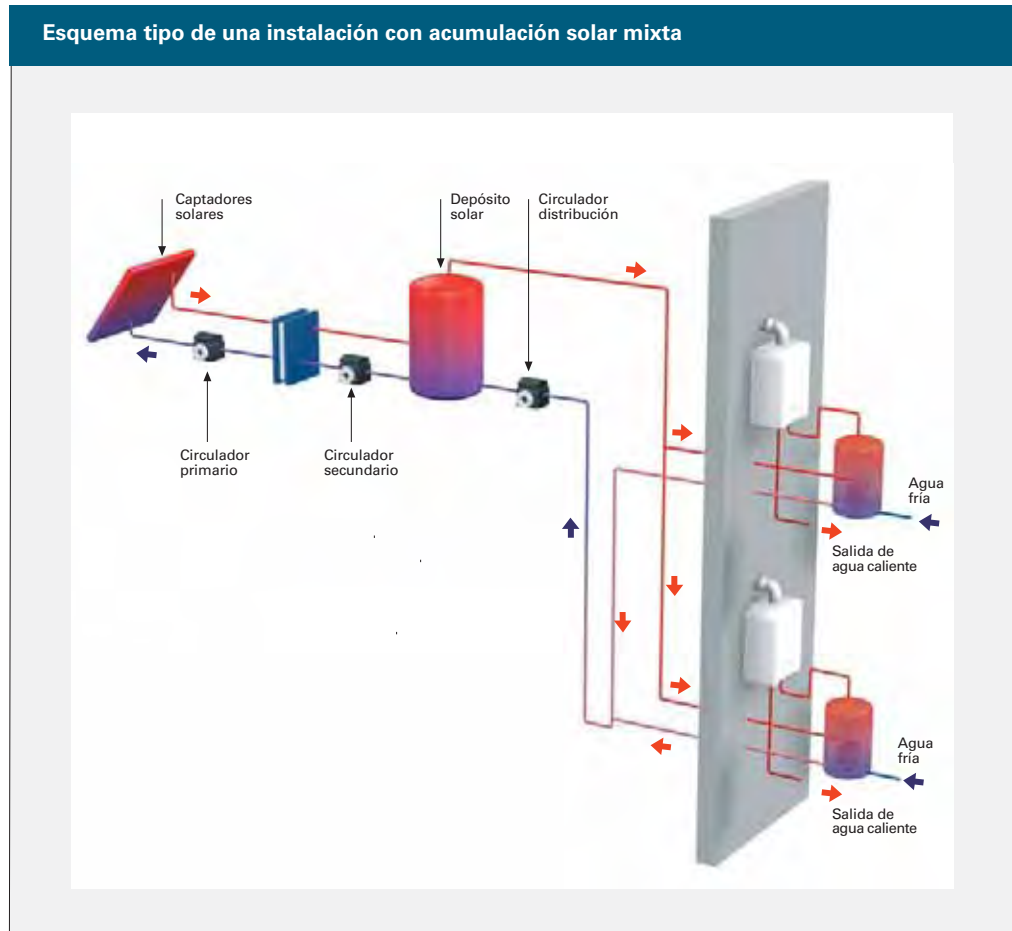


### 4.2.1.3 Otras configuraciones con apoyo individual

Las posibles soluciones técnicas para viviendas multifamiliares pueden ampliarse integrando características de las configuraciones anteriormente descritas en los puntos 4.2.1.1 y 4.2.1.2.

Así, la figura 4.5 representa un esquema con acumulación solar mixta. Esta solución es similar a la configuración con acumulación individual pero en la que se ha incluido un depósito acumulador centralizado en el circuito solar secundario (aguas abajo al intercambiador externo de placas).

Figura 4.5



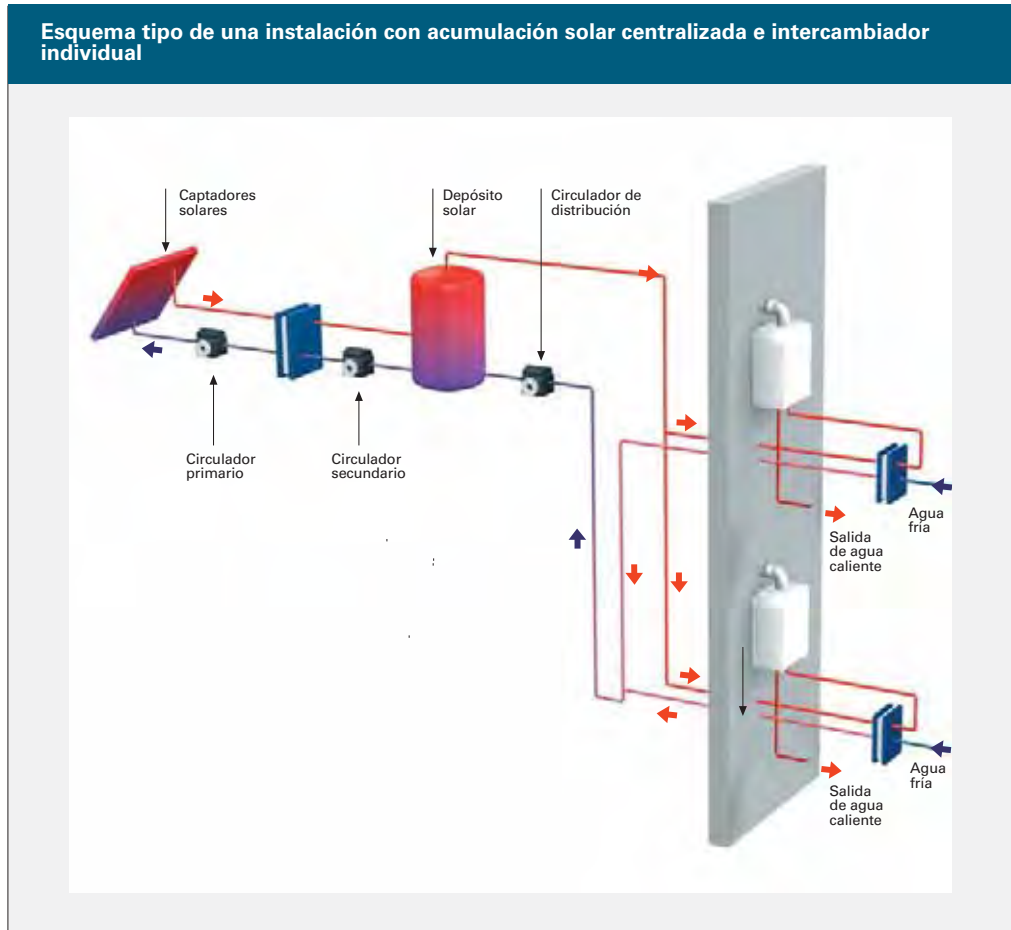
El objeto de esta configuración es el de centralizar parte de la acumulación de energía térmica para poder reducir el tamaño de los acumuladores individuales en el interior de las viviendas.

Profundizando en el mismo concepto, se puede plantear la posibilidad de aumentar el volumen del acumulador solar centralizado hasta eliminar completamente el individual. Así, como se



muestra en la figura 4.6, los acumuladores individuales de cada una de las viviendas quedarían sustituidos por intercambiadores de calor de placas con producción instantánea de agua caliente.

**Figura 4.6**



Tanto el consumo de gas natural como de agua caliente es individual para cada usuario en las dos configuraciones.

El espacio ocupado por los acumuladores individuales es mucho menor permitiendo una mayor flexibilidad en su ubicación.

Una avería en el sistema comunitario solar no afecta al abastecimiento de agua caliente sanitaria a las viviendas al disponer cada una de su calentador o caldera.

### 4.2.2 Instalaciones con apoyo centralizado

Son instalaciones solares térmicas que se caracterizan por disponer de un equipo de apoyo de gas natural centralizado (caldera de pie) para todas las viviendas.

Esta configuración tiene centralizados todos los elementos para la producción de agua caliente sanitaria (captación solar, intercambio o y acumulación, y consumo de gas natural y agua fría de la red). Es particularmente apropiada para el sector terciario (hoteles, residencias, gimnasios y otros) donde se factura a un solo cliente y representa la solución idónea para edificios con calefacción central.

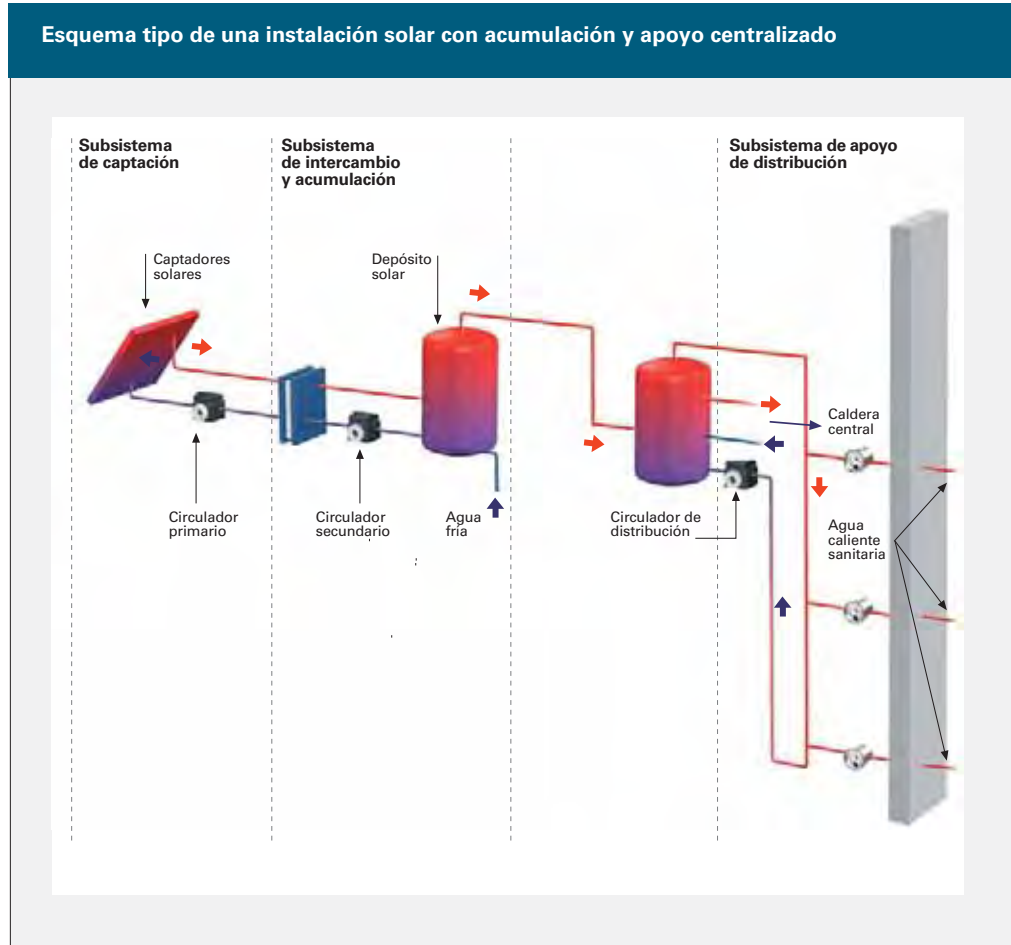
La figura 4.7 muestra el esquema de esta configuración donde destaca la existencia de un primer acumulador solar, que almacena el agua precalentada por el subsistema de captación, seguido de un segundo depósito de acumulación (acumulador de apoyo) donde una caldera centralizada de gas natural aporta la energía adicional requerida para alcanzar la temperatura de utilización de agua caliente sanitaria cuando así sea necesario.

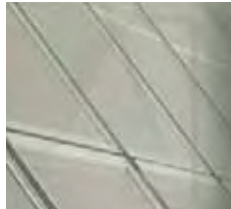
Tanto el consumo de gas natural como de agua caliente está centralizado y corre a cargo de la empresa en el sector terciario, o de la comunidad de propietarios en el sector residencial.

Un reparto equitativo de la factura requiere la instalación de contadores de energía (no es suficiente con contadores de agua).

Al ser totalmente centralizada no existen elementos en el interior de las viviendas y, por tanto, no se requiere la utilización de espacio en las mismas. Sin embargo, cualquier incidencia en la instalación afecta al suministro de agua caliente sanitaria de todo el edificio.

Figura 4.7







# 5. ¿Qué debe cumplir mi instalación solar térmica en la Comunidad Autónoma de Madrid?

## 5.1. El Código Técnico de la Edificación

### 5.1.1 ¿Qué es?

El Código Técnico de la Edificación constituye el marco normativo en el que se establecen las exigencias básicas que deberán cumplir los edificios con el fin de garantizar la seguridad y sostenibilidad de la edificación en España.

Una parte de estas exigencias básicas la componen las destinadas al «ahorro de energía». Entre ellas, se encuentra la exigencia básica que obliga a una **contribución solar mínima en la producción de agua caliente sanitaria** mediante el uso de instalaciones solares térmicas.

### 5.1.2 Vigencia y ámbito de aplicación del CTE

El CTE fue aprobado el 17 de marzo de 2006 por el Real Decreto 314/2006 y, **desde el 29 de septiembre de 2006, es obligatorio** cumplir con las exigencias básicas de ahorro de energía y, por tanto, de contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.

En cuanto al ámbito de aplicación, el CTE obliga que en los edificios de nueva construcción y en la rehabilitación de los existentes en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria (y/o climatización de piscina cubierta), se cubra un porcentaje mínimo de la energía demandada mediante instalaciones solares térmicas.

### 5.1.3 Determinación de la contribución solar mínima

El porcentaje mínimo de cobertura dictado por el CTE varía entre el 30 % y el 70 % en función de la zona climática, de la demanda de agua caliente sanitaria en litros/día y de la energía de apoyo que se utilice. Para su cálculo, es necesario conocer las variables y realizar los pasos que a continuación se indican.

### 5.1.3.1 Determinación de la demanda total de agua caliente sanitaria del edificio (litros/día)

El CTE incluye una descripción del método de estimación de la demanda de agua caliente sanitaria de una determinada edificación en función de una tabla de referencia en la que se indican los valores unitarios para su consumo a 60 °C (tabla 5.1) en viviendas unifamiliares y multifamiliares, entre otros usos.

**Tabla 5.1**

Referencia de valores unitarios de demanda de agua caliente sanitaria	
Criterio de la demanda	Litros acs a 60 °C/ persona · día
Viviendas unifamiliares	30
Viviendas multifamiliares	22

Cuando se trata de edificios de viviendas, el cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria requiere una estimación del número de personas en función del número de dormitorios. La tabla de referencia que incluye el CTE es la siguiente (tabla 5.2):

**Tabla 5.2**

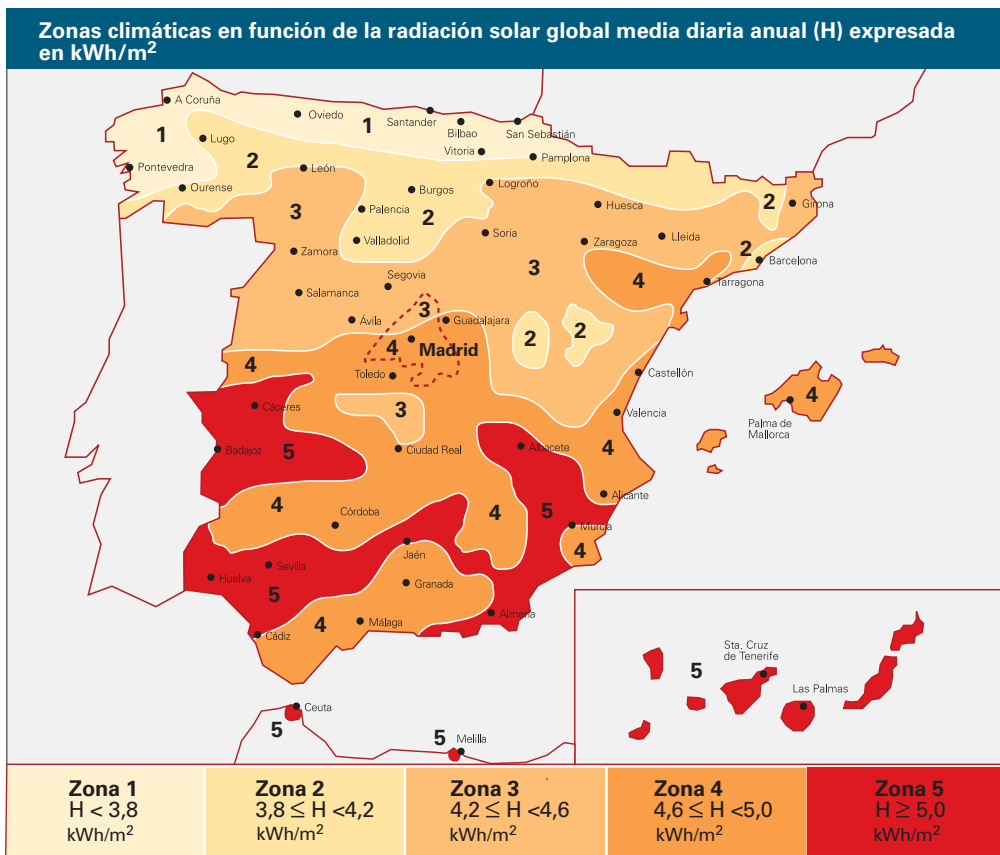
Referencia del número personas en función del tamaño de la vivienda								
Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de personas	1,5	3	4	6	7	8	9	n.º de dormitorios

### 5.1.3.2 Identificación de la zona climática en la que se ubica el edificio

El CTE divide el territorio español en cinco zonas climáticas en función de la media anual de la radiación solar global diaria (H) medida en kWh/m<sup>2</sup> (figura 5.1).

Los principales municipios de la Comunidad de Madrid pertenecen a la Zona IV y, por lo tanto, las edificaciones en esta Comunidad están en una ubicación privilegiada para el aprovechamiento de la energía solar térmica.

Figura 5.1



### 5.1.3.3 Contribución solar mínima

Una vez conocidas la demanda de agua caliente sanitaria y la zona climática en que se ubica el edificio, el CTE incluye unas tablas que relacionan ambos parámetros y permiten determinar fácilmente la contribución solar mínima exigida en la producción de agua caliente sanitaria.

Se diferencian dos casos en función de la energía de apoyo de la instalación solar:

## 5. ¿Qué debe cumplir mi instalación solar térmica en la Comunidad Autónoma de Madrid?

- **Caso general.** Cuando se emplean combustibles fósiles (gas natural, gasóleo, etc) como energía de apoyo a la instalación solar para producir agua caliente sanitaria, la tabla que aplica es la siguiente (tabla 5.3):

Tabla 5.3

Contribución solar mínima en porcentaje para instalaciones con apoyo a gas natural					
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

- **Caso efecto Joule.** Cuando se emplea electricidad como fuente de energía para apoyar a la instalación solar en la producción de agua caliente sanitaria, la exigencia es de un 70 % de contribución solar mínima para cualquier demanda en las zonas III, IV y V.

## 5.2 ¿Qué ocurre si en mi municipio existe una ordenanza solar?

Los porcentajes de cobertura solar dictados por el CTE, si bien de obligado cumplimiento, son de carácter mínimo y pueden ser ampliados por las Administraciones locales competentes mediante el desarrollo de ordenanzas municipales solares. Además, existen municipios en la Comunidad de Madrid que cuentan con una ordenanza solar para usos térmicos anterior a la reciente entrada en vigor del CTE y ambas normativas coexisten en la actualidad. **En este caso, la normativa de aplicación será siempre la de mayor exigencia en lo que se refiere a la energía térmica mínima que debe aportar el subsistema de captación solar, puesto que cumpliendo la más exigente automáticamente se cumple también la menos rigurosa.**

Los municipios de la Comunidad de Madrid que disponen de una ordenanza de energía solar térmica son los siguientes (a fecha de diciembre de 2006):



- Alcobendas
- El Molar
- Getafe
- Hoyo de Manzanares
- Madrid
- Navalcarnero
- Rivas Vaciamadrid
- San Fernando de Henares
- San Martín de la Vega
- San Sebastián de los Reyes
- Soto del Real
- Torrejón de Velasco
- Tres Cantos (regulaciones sobre energía solar térmica contenidas en la Ordenanza Municipal de Urbanización y Edificación Bioclimática)

La coexistencia del CTE y estas ordenanzas solares dentro del marco jurídico de la Comunidad de Madrid implica que la instalación de un sistema de energía solar térmica pueda estar sujeta a la aplicación, de uno u otro texto en función del municipio en el que se ubique. Para identificar cuál de los dos es de aplicación se requiere realizar un análisis comparativo de los niveles de exigencia de ambos textos. Los parámetros que se deben considerar son los siguientes:

1) **Demanda energética anual para la producción de agua caliente sanitaria.** Para su cálculo es necesario determinar la **demanda total anual de agua caliente sanitaria** (basándose en la demanda por persona y día especificada en cada texto) e identificar su **temperatura de preparación** (acumulación).

2) **Porcentaje de cobertura solar mínima exigida anual.** Obviamente, cuanto mayor sea este valor, mayor será el aporte solar exigido para una determinada demanda energética anual y, por lo tanto, más exigente será la norma.

### 5.3 Análisis práctico de los posibles supuestos en la Comunidad de Madrid. Sector residencial: unifamiliar (4 personas) y multifamiliar (24 viviendas)

El objeto de este apartado es exponer las posibles situaciones identificadas dentro de la Comunidad de Madrid tras la reciente aprobación del CTE, comparando, mediante ejemplos prácticos, el nivel de exigencia de ambas normas (CTE y ordenanza solar) y mostrando el efecto de su aplicación en una serie de parámetros de la instalación solar térmica.

Los ejemplos están referidos tanto a edificaciones unifamiliares como a configuraciones multifamiliares. Las características de las viviendas tomadas como modelo para los ejemplos se definen en la tabla 5.4:

**Tabla 5.4**

Características de la edificación tipo		
Características	Unifamiliar	Multifamiliar
N.º viviendas	1	24
N.º habitaciones/vivienda	3	3
N.º personas/vivienda (Tabla 5.2)	4	4
<b>Total N.º personas</b>	<b>4</b>	<b>96</b>

Los cálculos<sup>(5)</sup> se efectúan teniendo en cuenta los datos climatológicos y de radiación solar de la provincia de Madrid (fuente: CENSOLAR e IDAE), empleando un captador de rendimiento medio con las siguientes características (tabla 5.5):

**Tabla 5.5**

Características del captador	
Superficie	2 m <sup>2</sup>
Factor de eficiencia óptica	0,78
Coefficiente global de pérdidas	6,5 W/(m <sup>2</sup> K)
Altura del captador	2 m
Inclinación	45°
Latitud	40° N
Orientación	Sur

<sup>(5)</sup> Hoja de cálculo HSolGas V1.0r desarrollada por la Dirección de Tecnología de Gas Natural SDG, S.A.

### 5.3.1 Municipios donde aplica el CTE

El CTE se aplicará en aquellos municipios donde, o bien no existe ordenanza solar o ésta es menos exigente.

#### 5.3.1.1 Municipios donde no existe ordenanza solar térmica

Éste es el caso genérico para aquellos municipios donde no existe una ordenanza solar, y en las que se deberá aplicar el Código Técnico de la Edificación.

**Tabla 5.6**

Valores mínimos exigidos por el CTE para la edificación tipo		
	Unifamiliar	Multifamiliar
Zona climática	IV	IV
N.º de personas	4	96
Demanda acs/persona (litros/día)	30	22
Demanda acs/día (litros)	120	2.112
Temperatura acumulación acs (°C)	60	60
Demanda energética anual (kWh)	2.527	44.473
Porcentaje cobertura mínima exigida anual	60	60
<b>Contribución de energía solar mínima exigida anual (kWh)</b>	<b>1.517</b>	<b>26.684</b>
<b>N.º de captadores requeridos</b>	<b>2</b>	<b>20</b>
Vol. acumulación agua caliente sanitaria (litros)	200	3.600

#### 5.3.1.2 Municipios con ordenanza solar térmica menos exigente

Un caso que se ajusta a este supuesto es el del Ayuntamiento de Hoyo de Manzanares cuya ordenanza solar presenta un grado de exigencia inferior al CTE, tanto para configuraciones unifamiliares como multifamiliares, tal como puede observarse en la tabla 5.7.

Ello es debido a la menor temperatura de acumulación (litros/día) requerida por la ordenanza (50° C frente a 60° C) que implica que a igual demanda de agua caliente sanitaria exigida, la demanda energética resultante al aplicar la ordenanza es inferior a la resultante al aplicar el CTE.

**Tabla 5.7**

<b>Comparativa de los valores mínimos exigidos por la ordenanza de Hoyo de Manzanares y el CTE</b>				
	<b>Ordenanza Hoyo de Manzanares</b>		<b>CTE</b>	
	<b>Unifamiliares</b>	<b>Multifamiliares</b>	<b>Unifamiliares</b>	<b>Multifamiliares</b>
Zona climática	IV	IV	IV	IV
N.º de personas	4	96	4	96
Demanda acs/persona (litros/día)	30	22	30	22
Demanda acs/día (litros)	120	2.112	120	2.112
Temperatura acumulación acs (°C)	50	50	60	60
Demanda energética anual (kWh)	2.019	35.531	2.527	44.473
Porcentaje cobertura mínima exigida anual	50	70	60	60
<b>Contribución de energía solar mínima exigida anual (kWh)</b>	<b>1.010</b>	<b>24.872</b>	<b>1.517</b>	<b>26.684</b>
<b>N.º de captadores requeridos</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>20</b>
Vol. acumulación agua caliente sanitaria (litros)	150	3.600	200	3.600

### 5.3.2 Municipios donde aplica una ordenanza solar térmica

Son municipios en los que la ordenanza solar es más exigente que el CTE. La «Ordenanza del Ayuntamiento de Madrid sobre captación de energía solar para usos térmicos» es quizá la más representativa no sólo en términos de población, sino también por ser la primera en entrar en vigor en la Comunidad de Madrid y a partir de la cual se han desarrollado otras con los mismos niveles de exigencia (por ejemplo, Getafe y San Sebastián de los Reyes). En la tabla 5.8 se expone la comparación de dicho nivel de exigencia con respecto al CTE.

Tabla 5.8

<b>Comparativa de los valores mínimos exigidos por la ordenanza de Madrid y el CTE</b>				
	<b>Ordenanza de Madrid</b>		<b>CTE</b>	
	<b>Unifamiliares</b>	<b>Multifamiliares</b>	<b>Unifamiliares</b>	<b>Multifamiliares</b>
Zona climática	IV	IV	IV	IV
N.º de personas	4	96	4	96
Demanda acs/persona (litros/día )	30	22	30	22
Demanda acs/día (litros)	120	2112	120	2112
Temperatura acumulación acs (°C)	60	60	60	60
Demanda energética anual (kWh)	2.527	44.473	2.527	44.473
Porcentaje cobertura mínima exigida anual	60	75	60	60
<b>Contribución de energía solar mínima exigida anual (kWh)</b>	<b>1.517</b>	<b>33.355</b>	<b>1.517</b>	<b>26.684</b>
<b>N.º de captadores requeridos</b>	<b>2</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>20</b>
Vol. acumulación agua caliente sanitaria (litros)	200	4.500	200	3.600

En este caso, tanto la demanda como la temperatura de acumulación de agua caliente sanitaria son las mismas para ambas normas y, en el caso de vivienda multifamiliar, es el mayor porcentaje de cobertura mínima establecido por la ordenanza (75 % frente al 60 % del CTE) lo que hace que ésta sea más exigente para dicha configuración. En el caso de la vivienda unifamiliar, ambas normas son iguales en nivel de exigencia y cualquiera de ellas podría ser de aplicación.

### 5.3.3 Municipios donde se puede aplicar el CTE y una Ordenanza

Por último, se puede dar el caso en el que el CTE sea de aplicación para demandas de acs bajas (viviendas unifamiliares) mientras que la ordenanza se aplique para demandas más altas (configuraciones multifamiliares). Esta situación se da, concretamente, en el municipio de San Martín de la Vega, como se expone a continuación en el ejemplo práctico.

Tabla 5.9

Comparativa de los valores mínimos exigidos por la ordenanza de San Martín de la Vega y el CTE				
	Ordenanza de San Martín de la Vega		CTE	
	Unifamiliares	Multifamiliares	Unifamiliares	Multifamiliares
Zona climática	IV	IV	IV	IV
N.º de personas	4	96	4	96
Demanda acs/persona (litros/día · persona)	35	35	30	22
Demanda acs/día (litros/día)	140	3.360	120	2.112
Temperatura acumulación acs (°C)	45	45	60	60
Demanda energética anual (kWh)	2.059	49.414	2.527	44.473
Porcentaje cobertura mínima exigida anual	60	60	60	60
<b>Contribución de energía solar mínima exigida anual (kWh)</b>	<b>1.236</b>	<b>29.649</b>	<b>1.517</b>	<b>26.684</b>
<b>N.º de captadores requeridos</b>	<b>1</b>	<b>22</b>	<b>2</b>	<b>20</b>
Vol. acumulación agua caliente sanitaria (litros)	150	3.600	200	3.600

Como se muestra en la tabla 5.9, el porcentaje de cobertura mínima exigida es el mismo en ambas normativas (60 %), siendo la combinación de la demanda por persona y la temperatura de acumulación, los parámetros que establecen el nivel de exigencia y la consiguiente aplicación del CTE para viviendas unifamiliares y la ordenanza municipal para el tipo de configuración multifamiliar empleado en estos ejemplos prácticos.



## 6. Ayudas para el fomento de la energía solar térmica y otras energías renovables en la Comunidad de Madrid

### 6.1 Programa de subvenciones

Desde 1998, la Comunidad de Madrid, a través de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, cuenta con una línea de ayudas para proyectos de energías renovables, regulada y convocada anualmente a través de las correspondientes Órdenes del Consejero de Economía e Innovación Tecnológica.

Los resultados de este programa en los últimos años se muestran en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.1**

Programa de subvenciones para el fomento de las energías renovables			
Año	Proyectos subvencionados	Inversión (euros)	Subvención (euros)
2002	249	7.785.315	4.281.834
2003	234	7.457.274	3.960.203
2004	233	12.287.036	5.460.905
2005	149	12.979.930	4.614.752
2006	52	3.689.431	1.358.841

Desde 2006, este programa se desarrolla en colaboración con el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, que aporta una parte de los fondos correspondientes a través de convenios de colaboración que se suscriben a tal efecto.

Los aspectos más relevantes de este programa son los siguientes:

#### 6.1.1 Objeto

Concesión de ayudas para promover actuaciones de utilización de fuentes de energía renovables en el ámbito territorial de la Comunidad de Madrid, incentivando el autoabastecimiento energético y la protección del medio ambiente.

### 6.1.2 Beneficiarios

- Corporaciones locales
- Otras entidades públicas
- Instituciones sin ánimo de lucro
- Comunidades de propietarios
- Empresas, salvo para instalaciones de producción de energía eléctrica en Régimen Especial
- Personas físicas, salvo para instalaciones de producción de energía eléctrica en Régimen Especial

### 6.1.3 Actuaciones subvencionables y cuantía de las ayudas

#### A) Energías renovables.

- Solar térmica (excepto piscinas privadas, instalaciones obligatorias por ordenanzas municipales o instalaciones de superficie inferior a 10 m<sup>2</sup>, salvo que tengan carácter demostrativo): 250 €/m<sup>2</sup> para refrigeración y 175 €/m<sup>2</sup> para el resto.
- Solar fotovoltaica (sistemas aislados o sistemas conectados a red de más de 5 kWp, o de potencia inferior que tengan carácter demostrativo, salvo que sean obligatorios por ordenanzas municipales): 1,8 €/Wp sistemas conectados a red, 2,5 €/Wp aislados con acumulación y 1,9 €/Wp sin acumulación.
- Eólica (hasta 50 kW): 30 % de la inversión subvencionable.
- Biomasa y residuos: 30 %.
- Hidráulica (instalaciones nuevas o rehabilitación, hasta 10 MW): 30 %
- Geotérmica: 40 %.
- Instalaciones mixtas: cuantía proporcional

#### B) Proyectos de investigación, desarrollo y demostración: 40 % de la inversión subvencionable.

#### C) Estudios, consultorías, actividades divulgativas y actuaciones de carácter general. (Ayuntamientos e instituciones sin ánimo de lucro): 40 % de la inversión subvencionable.

Tienen prioridad las instalaciones de energía solar térmica, fotovoltaica aislada y biomasa térmica.



### **6.1.4 Cuantía máxima de las ayudas**

70 % de la inversión en todos los casos, y 200.000 € para personas físicas, 200.000 € en tres años para empresas, 300.000 € para resto de beneficiarios.

### **6.1.5 Período de realización de la inversión**

Desde el 15 de octubre del año anterior a la convocatoria hasta el 15 de octubre del año correspondiente.

### **6.1.6 Plazo de presentación de solicitudes**

Dos meses a partir de su publicación en el BOCM (Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid).

## **6.2 Línea de apoyo financiero a proyectos de energías renovables**

### **6.2.1 Beneficiarios**

- Pequeñas y medianas empresas.
- Empresarios autónomos.
- Particulares que vendan la energía producida, convirtiéndose en empresarios autónomos.

### **6.2.2 Actuaciones subvencionables**

- Instalaciones de energía solar fotovoltaica conectada a red (más de 5 kWp)
- Otras instalaciones de aprovechamiento de energías renovables para producción de energía eléctrica en Régimen Especial.

### **6.2.3 Cuantía de las ayudas**

- Dos puntos de interés de las operaciones financieras, que se realizan a Euribor + 0,5.
- Comisiones de apertura, aval y estudio.

### **6.2.4 Gestión**

A través de Avalmadrid, S.G.R. c/ Jorge Juan, 30, 28001 Madrid - Tfnos. 902.400.209 - 91.577.72.70  
avalmadrid@avalmadrid.es - www.avalmadrid.es



## 7. Glosario

**Circuito primario:** circuito del que forman parte los captadores, las tuberías que los unen y un intercambiador de calor para transferir la energía térmica.

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

**Fluido caloportador o de trabajo:** es el fluido encargado de recoger y transportar la energía captada por los captadores en el absorbedor.

**Absorbedor:** componente de un captador solar cuya función es absorber la radiación solar y transferirla en forma de calor al fluido caloportador.

**Instalación por termosifón:** instalación en la que el fluido caloportador circula por convección en lugar de ser impulsado por bombas.

**Irradiancia:** potencia de radiación solar que llega a la Tierra (por unidad de superficie) en  $W/m^2$ .

**Radiación solar:** conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.

**Insolación:** es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual).

**Constante solar:** es la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera en un plano perpendicular a los rayos. Los resultados de su medición por satélites indican un valor de  $1.367 W/m^2$ .

**Poder Calorífico Superior (PCS):** es la cantidad de energía liberada en la combustión completa de una unidad de gas natural considerando que condensa el vapor de agua que contienen los productos de dicha combustión.

**Poder Calorífico Inferior (PCI):** es la cantidad de energía liberada en la combustión completa de una unidad de gas natural, cuando el vapor de agua no condensa y se mantiene en estado gaseoso junto con el resto de los productos de la combustión.



## 8. Acrónimos y abreviaturas

<b>EST:</b>	Energía Solar Térmica	<b>I:</b>	Intensidad de la radiación solar incidente en el plano del captador ( $W/m^2$ )
<b>ACS:</b>	Agua Caliente Sanitaria	<b>d:</b>	Distancia de separación entre obstáculo y captador (m)
<b>GLP:</b>	Gases Licuados de Petróleo	<b>d':</b>	Distancia mínima entre la parte superior de una batería o fila de captadores y la parte inferior de la siguiente (m)
<b>RITE:</b>	Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios	<b>h:</b>	Altura del obstáculo (m)
<b>CTE:</b>	Código Técnico de la Edificación	<b>L:</b>	Longitud del captador (m)
<b>IDAE:</b>	Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía	<b><math>\beta</math>:</b>	Ángulo de inclinación del captador
<b>CENSOLAR:</b>	Centro de Estudios de la Energía Solar	<b>cos:</b>	Coseno de un ángulo
<b>FEDER:</b>	Fondo Europeo de Desarrollo Regional	<b><math>H_a</math>:</b>	Altura del acumulador (m)
<b>H:</b>	Radiación solar global media diaria anual ( $kWh/m^2$ )	<b><math>T_1</math>:</b>	Temperatura sonda caliente (unidades de temperatura)
<b><math>^{\circ}C</math>:</b>	Grado Centígrado (escala Celsius)	<b><math>T_2</math>:</b>	Temperatura sonda fría (unidades de temperatura)
<b>K:</b>	Grado Kelvin	<b><math>CO_2</math>:</b>	Dióxido de carbono
<b>PCS:</b>	Poder Calorífico Superior	<b><math>CH_4</math>:</b>	Metano
<b>PCI:</b>	Poder Calorífico Inferior	<b><math>N_2O</math>:</b>	Óxido nitroso
<b><math>\eta</math>:</b>	Rendimiento del captador	<b>HFC:</b>	Compuestos hidrofluorocarbonados
<b><math>Q_u</math>:</b>	Calor útil aportado al fluido caloportador	<b>PFC:</b>	Compuestos perfluorocarbonados
<b><math>Q_r</math>:</b>	Energía solar incidente	<b><math>SF_6</math>:</b>	Hexafluoruro de azufre
<b><math>F_R(\tau\alpha)_n</math>:</b>	Factor de eficiencia óptica	<b>PER:</b>	Plan de Energías Renovables
<b><math>F_R U_L</math>:</b>	Coeficiente global de pérdidas ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>PFER:</b>	Plan de Fomento de Energías Renovables
<b><math>T_e</math>:</b>	Temperatura de entrada del fluido caloportador al captador (K)		
<b><math>T_{AMB}</math>:</b>	Temperatura ambiente exterior (K)		

## 9. Unidades

I) Unidades de temperatura			
Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
Temperatura	grado centígrado	°C	K = °C + 273,15
	grado Kelvin	K	

II) Unidades de presión			
Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
Presión	atmósfera	atm	1 atm = 1,01325 bar
	bar	bar	

III) Unidades de energía			
Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
Energía	megajulio	MJ	1 MJ = 0,2778 kWh 1 kWh = 860 kcal
	kilowatio hora	kWh (1.000 Wh)	
	kilocalorías	kcal (1.000 cal)	

IV) Unidades de potencia (energía / tiempo)			
Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
Potencia	Julio/segundo	J/s	$1 \frac{J}{s} = 1 W$ 1 kW = 860 kcal/h
	kilowatio	kW (1.000 W)	
	kilocalorías/hora	kcal/h (1.000 cal/h)	



## 10. Bibliografía

- **Solar-Gas.** 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. Dirección de Tecnología y Medio Ambiente. Grupo Gas Natural, 2004
- **Energía solar térmica y gas natural en edificios.** Ficha pedagógica c2. Fundación Gas Natural
- **Las ventajas ambientales de la energía solar térmica combinada con gas natural en edificios.** Hoja informativa. Fundación Gas Natural
- **Gas natural y energía solar.** Una combinación brillante. Montserrat Beltrán, 2004
- **La energía solar y el gas.** Sedigas, 2004
- **Guía de la Energía Solar.** Dirección General de Industria, Energía y Minas, 2006
- **Sistemas Solares Térmicos.** Diseño e Instalación. Censolar-Solapaxis, 2005
- **Energía Solar Térmica en la Comunidad de Madrid.** Dirección General de Industria, Energía y Minas, 2003
- **Energía Solar Térmica. Manual del Instalador.** Ente Regional de la Energía de Castilla y León, 2003
- **Energía Solar Térmica y Fotovoltaica: Guía del Usuario.** Ente Regional de la Energía de Castilla y León, 2003
- **El Sol puede ser suyo.** Respuesta a todas las preguntas clave sobre instalaciones de Energía Solar Térmica. IDAE, 2005
- **Guía Práctica de la Energía.** Consumo eficiente y responsable. IDAE, 2004
- **Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.** Naciones Unidas, 1992
- **El Código Técnico de la Edificación.** Ministerio de Vivienda, 2006
- **Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010 (PFER).** Ministerio de Industria y Energía - IDAE, 1999
- **Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER).** Ministerio de Industria, Turismo y Comercio - IDAE, 2005

- **Plan Energético de la Comunidad de Madrid 2004-2012.** Dirección General de Industria, Energía y Minas, 2005.
- **Ordenanza Municipal sobre captación de energía solar para usos térmicos.** Ayuntamiento de Madrid, 2003
- **Ordenanza Municipal sobre captación de energía solar para usos térmicos y fotovoltaicos.** Ayuntamiento de Hoyo de Manzanares, 2005
- **Ordenanza Municipal sobre captación solar para usos térmicos y producción de electricidad fotovoltaica.** Ayuntamiento de San Fernando de Henares, 2005
- **Ordenanza Municipal sobre captación de energía solar para usos térmicos y fotovoltaicos.** Ayuntamiento de Rivas-Vaciamadrid, 2005
- **Ordenanza Municipal sobre la captación y aprovechamiento de energía solar térmica en los edificios.** Ayuntamiento de San Martín de la Vega
- **Ordenanza Municipal sobre energía solar para producir agua caliente sanitaria en el municipio de Soto del Real.** Ayuntamiento de Soto del Real, 2006
- **Ordenanza Municipal sobre la captación de energía solar para usos térmicos.** Ayuntamiento de Navalcarnero, 2006
- **Ordenanza Municipal sobre energía solar para producir agua caliente sanitaria en el municipio de El Molar.** Ayuntamiento de El Molar, 2004
- **Ordenanza Municipal número 34 reguladora de la captación solar para usos térmicos.** Ayuntamiento de Torrejón de Velasco, 2004
- **Ordenanza Municipal sobre captación de energía solar para usos térmicos.** Ayuntamiento de San Sebastián de los Reyes, 2004
- **Ordenanza General para la Protección del Medio Ambiente del Municipio de Getafe.** Ayuntamiento de Getafe, 2004
- **Ordenanza Municipal de urbanización y edificación bioclimática.** Ayuntamiento de Tres Cantos, 2004



[www.fundaciongasnatural.org](http://www.fundaciongasnatural.org)



Fundación de  
la Energía de  
la Comunidad  
de Madrid



Dirección General de Industria,  
Energía y Minas  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA  
E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA  
**Comunidad de Madrid**