

# **LA ENERGÍA SOLAR**

**Aplicaciones prácticas**

La energía solar. Aplicaciones prácticas  
Colectivo

© 2009 PROGNSA (Promotora General de Estudios, S.A.)  
Parque Industrial PISA, c/ Comercio, 12, 41927 Mairena del Aljarafe, Sevilla (España)  
☎ 954 186 200 Fax: 954 186 111 Email: progensa@progensa.com

Quinta edición, 2009

Reservados todos los derechos

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su préstamo, alquiler, o cualquier otra forma de cesión de uso del ejemplar, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna otra forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del *Copyright*.

Impreso en España - Printed in Spain  
Artes Gráficas Gala, S.L.  
ISBN: 978-84-95693-50-1  
Depósito Legal: M. 12.558 - 2009

# Índice

<i>Prólogo</i> .....	7
<b>1 La energía solar</b> .....	13
Antecedentes .....	13
Fundamentos .....	18
La energía .....	18
Energía radiante .....	19
Energía térmica .....	20
<b>2 El Sol y la Tierra</b> .....	23
Datos numéricos .....	23
Posición de la Tierra con respecto al Sol .....	24
El clima .....	27
Los fotones .....	28
El flujo energético .....	29
Radiación directa y difusa .....	31
Energía incidente y energía aprovechable .....	36
<b>3 Formas de aprovechamiento de la energía solar</b> .....	37
¿Macrocentrales o pequeñas instalaciones dispersas? .....	38
El problema de la acumulación de la energía .....	40
Calor solar .....	43
Tipos de captadores .....	46
Aplicaciones idóneas .....	49

Electricidad solar .....	58
Aplicaciones idóneas .....	83
<b>4 Instalaciones fototérmicas .....</b>	<b>87</b>
Obtención de agua caliente sanitaria .....	87
Dimensionado de una instalación de A.C.S. ....	89
Climatización de piscinas .....	97
<b>5 Instalaciones fotovoltaicas .....</b>	<b>103</b>
Electrificación de viviendas .....	103
<b>6 La práctica de la energía solar .....</b>	<b>129</b>
Tendencias para los próximos años .....	131
Normativa de aplicación .....	137
Direcciones útiles .....	139
<b>APÉNDICE. Información de interés .....</b>	<b>141</b>
<i>Glosario</i> .....	141
<i>Equivalencias entre diversas unidades</i> .....	144
<i>Datos meteorológicos</i> .....	145
<i>Bibliografía</i> .....	146





## PRÓLOGO

Los especialistas en cuestiones energéticas ya comienzan a reconocer a la energía solar como «la energía del siglo XXI». Sin embargo, tal denominación podría provocar cierta confusión, ya que podría inducir a suponer que la energía solar es cosa del futuro —quizás de la segunda mitad del siglo— y que en la actualidad todavía no pasa de ser poco más que una simple curiosidad, una moda oportunista provocada por los incentivos gubernamentales, o el mero capricho de algunas personas, un tanto extravagantes, a quienes les gusta colocar unos extraños artilugios en los tejados de sus viviendas.

Conviene dejar bien claro que el que opinase de esa forma estaría completamente equivocado, pues ya desde la primera década del siglo, la energía solar, principalmente para producir agua caliente y electricidad, está compitiendo ventajosamente frente a otras alternativas con más riesgo, más contaminantes o, simplemente, más caras.

Si bien es verdad que, debido a la tremenda inercia que provoca el hábito adquirido del uso de tecnologías energéticas hasta ahora dominantes, por una parte, y quizás a fuertes intereses macroeconómicos por otra, todavía pasarán algunos años hasta que la energía solar se abra camino por sí misma de forma definitiva, podemos afirmar que, probablemente, antes de concluir la primera mitad del siglo, si la sociedad es lo suficientemente sensata, y sus rectores lo bastante inteligentes para optar por la opción más razonable, la energía solar será la primera fuente de abastecimiento energético.

Se han escrito numerosos libros sobre energía solar, y en casi todos ellos se repiten los habituales tópicos. Aunque esto es inevitable si se desea efectuar una exposición más o menos sistemática, en esta breve obra hemos procurado en lo posible eludir lo ya suficientemente conocido, así como lo puramente especulativo o teórico, huyendo de conceptos todavía sin avalar experimentalmente, aunque tratando de exponer las tendencias para los próximos años.

Este libro no trata de la historia de las aplicaciones de la energía solar a través del tiempo, tema ya suficientemente desarrollado por varios autores, ni tampoco pretende hacer una revisión teórica de los posibles proyectos (muchos de ellos irrealizables en la práctica) que existen sobre variadas formas de utilizar la energía solar, mediante complejos y sofisticados dispositivos.

Tampoco se pretende una descripción pormenorizada de los diferentes aspectos de la tecnología solar, ya que no es ésta una obra estrictamente técnica, sino de divulgación. Aun así, trata de exponer de forma sencilla pero rigurosa, asequible a todos, qué es la energía solar y cómo se puede aprovechar de la forma más eficaz posible, presentando una información de primera mano, basada en años de experiencia práctica, que sin duda apreciarán aquellas personas que se sientan atraídas por esta forma limpia y no contaminante de la energía. En este sentido, el libro persigue despertar curiosidad en el lector.

La obra muestra, de forma concisa y breve, las técnicas del uso de la energía solar desde un punto de vista práctico, aprovechando la tecnología existente y disponible en la actualidad, pero también intentando predecir el rumbo que dicha tecnología tomará en las próximas décadas.

También se desea ofrecer una visión clara y realista de lo que los autores consideran como la forma más razonable de satisfacer una buena parte de las necesidades energéticas de los seres humanos: hacer uso de la energía solar a pequeña escala. Esto significa captación y utilización de la radiación por individuos, grupos o pequeñas colectividades, *allí donde ésta incide*, huyendo de las sofisticaciones innecesarias que conlleva la construcción de grandes centrales solares (de dudosa rentabilidad a escala social), en las cuales se concentra la energía incidente para, posteriormente, ser redistribuida a través de la red eléctrica convencional. Tampoco serán considerados los procesos electroquímicos, de compleja tecnología, que emplean energía solar como fuente energética para producir hidrógeno u otras sustancias.

En resumen, este libro versará sobre aquellos métodos y aplicaciones que los autores estiman más interesantes para ser conocidos y

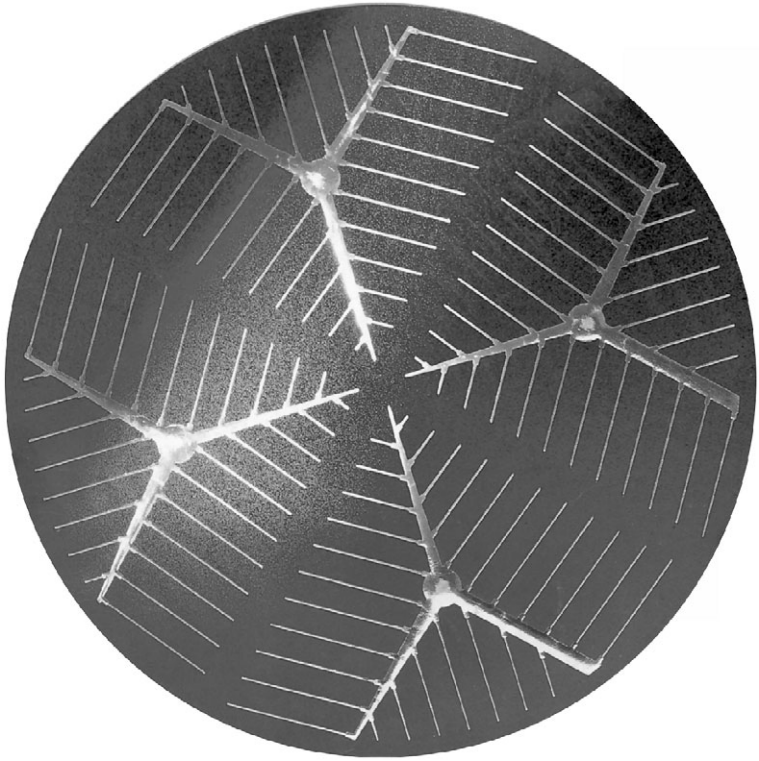


divulgados, por ser los que tienen mayores posibilidades de desarrollo en un futuro inmediato, fundamentalmente las aplicaciones domésticas e industriales de la energía solar, en su doble vertiente, térmica y fotovoltaica.

Esperamos y deseamos vivamente que esta breve obra contribuya a fomentar en las jóvenes generaciones el deseo de servirse de la energía natural del Sol, contribuyendo así a construir un mundo más ecológico para nuestros hijos y nietos.

*El equipo de autores del Gabinete de Estudios de CENSOLAR*







# 1

## LA ENERGÍA SOLAR

### **Antecedentes**

Cuando, según las leyendas, durante el asedio a la ciudad de Siracusa (212 a.C.), Arquímedes logra quemar varias naves romanas concentrando sobre ellas la luz del Sol mediante espejos, probablemente este sabio ya conocía bien el enorme potencial destructivo de sus rayos.

Muchos siglos después, el gran Leonardo da Vinci diseñó también un gran espejo parabólico concentrador, proyecto que, como otros muchos, dejó inacabado.

Prácticamente en todas las épocas de la historia, desde la más remota antigüedad hasta nuestros días, se han desarrollado ingenios capaces de aprovechar de una u otra forma la energía solar, con desigual fortuna.

Quizás haya sido en la Arquitectura donde se han logrado los mejores resultados, floreciendo durante el siglo XIX en toda Europa casas y edificios acristalados y convenientemente orientados para lograr un óptimo aprovechamiento de la radiación natural, consiguiendo así un elevado confort interior, especialmente cuando los días invernales eran fríos pero soleados.

Con la irrupción a gran escala de los combustibles fósiles, que generaban una energía barata fácilmente transportable y, posteriormente, con la implantación de la electricidad a nivel mundial, la humanidad conoció una época de derroche y despreocupación en cuanto a los inconvenientes de un consumo de energía constantemente creciente, cuyas nefastas consecuencias son bien conocidas.

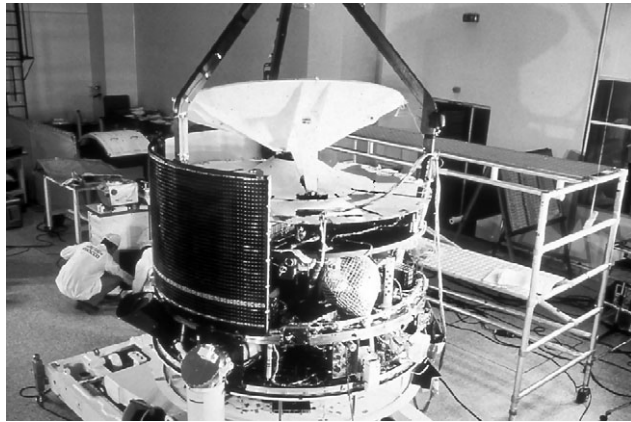


*Fig. 1.1. El aprovechamiento pasivo de la energía solar, mediante dobles fachadas acristaladas y correctamente orientadas, es una solución arquitectónica que debería ser utilizada más ampliamente. La vivienda de la fotografía logra un excelente rendimiento energético mediante elementos puramente constructivos: materiales aislantes y grandes superficies translúcidas.*

No fue hasta la década de los setenta, en la que los problemas derivados del abastecimiento y del aumento del precio del petróleo por una parte, y una todavía muy débil pero incipiente conciencia ecológica por otra, cuando se empezó a considerar de forma un tanto seria la opción solar como una alternativa, al menos parcial.

Las primeras aplicaciones que, tanto las sociedades desarrolladas como las que se encontraban (y se encuentran) en niveles económicos más bajos, aceptaron más rápidamente, fueron las de obtención de agua caliente mediante captadores solares planos, de sencillo diseño, para uso doméstico.

Paralelamente, los módulos fotovoltaicos capaces de, sin parte móvil alguna, convertir la luz solar directamente en electricidad útil, carísimos dispositivos que se empleaban al principio casi exclusivamente en satélites artificiales, comenzaron a producirse en mayor escala, consiguiéndose así un abaratamiento progresivo del coste del vatio de potencia eléctrica obtenido, lo que permitió solucionar el problema de miles de viviendas que, por encontrarse en zonas aisladas, carecían de luz eléctrica.

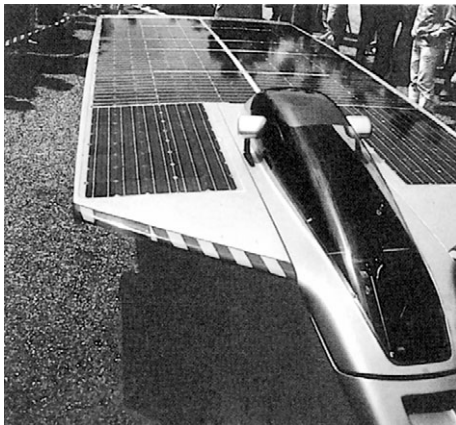


*Fig. 1.2. Las células fotovoltaicas son un elemento imprescindible en todos los vehículos espaciales.*

El estancamiento de los precios de los combustibles convencionales y los intereses de las grandes compañías que monopolizan la producción y el consumo de energía, han contribuido posiblemente a frenar el desarrollo de la tecnología destinada a facilitar el aprovechamiento de la energía solar a nivel popular. Su utilización ha sido hasta la fecha tímidamente fomentada por los gobiernos e instituciones estatales, con resultados no óptimos, quizás porque, al mismo tiempo, debería haberse iniciado una política de educación en cuanto a moderación del consumo energético, incompatible con lo que hasta ahora era la tendencia generalizada.



*Fig. 1.3. La energía eólica también proviene de la energía solar. Foto: Conjunto de aerogeneradores produciendo energía impulsados por el viento (Tehachapi Pass, California, USA).*



*Fig. 1.4. Automóvil solar de la firma Daimler-Benz.*



Y así se inició el nuevo milenio, época en que las gravísimas consecuencias de la contaminación, a todos los niveles, unidas al deseo de un autocontrol de la energía que se consume, han hecho que se manifieste un creciente deseo de utilizar energías limpias y renovables, entre las cuales la energía solar ocupa un destacado lugar.

La realidad es que casi todas las formas de energía que conocemos proceden directa o indirectamente de la energía solar.

En efecto, pues con escasas excepciones, como la de la energía debida a los procesos de fisión nuclear que continuamente ocurren en la masa interna de la Tierra, o la producida por el movimiento de las grandes masas de agua en los océanos (debido a la interacción gravitatoria con el Sol y la Luna), las formas de energía que conocemos tienen su origen primario en la energía radiante que llega a nuestro planeta.

Así, la energía del viento (energía *eólica*), causada por la diferencia de presión que—motivada a su vez por la diferencia de temperatura de las masas de aire—tiene su origen en la absorción de la energía solar y la conversión de ésta en energía térmica a medida que los rayos solares van atravesando las capas de aire.

La energía potencial, tanto de los combustibles fósiles como de la madera o de los residuos vegetales, proviene de la energía transmitida por el Sol cuando se originaron y crecieron las formas vegetales primitivas.

Los intentos de aprovechamiento de la energía solar de forma directa, utilizando la tecnología actualmente disponible, tratan de emular lo que la Naturaleza realiza desde hace millones de años: convertir la energía electromagnética irradiada por el Sol en otras formas de energía.

## Fundamentos

### *La energía*

La definición abstracta de energía, como una magnitud física derivada, se aleja, al menos en apariencia, del significado que a este concepto se le suele dar a veces en la vida cotidiana.

Sin pretender una rigurosa descripción de dicho término, que nos llevaría inevitablemente a un formulismo matemático —que, quizás, en vez de aclarar, desorientaría un tanto al lector—, y suponiendo que éste conoce el significado físico del trabajo (como magnitud asociada a una fuerza y a un movimiento), nos conformamos con apuntar aquí que la energía es una magnitud que mide la capacidad que, en un momento determinado, posee un ente físico para producir trabajo, esto es, para hacer posible que entren en juego unas fuerzas, las cuales, al desplazar los puntos sobre los que actúan, puedan realizar un trabajo físico.

Esta capacidad o propiedad del ente existe sin que necesariamente se tenga que llegar a producir realmente el trabajo. Nos basta conocer que, cuantitativamente, el valor de la energía del ente en cuestión es el trabajo que *podría* desarrollar. Por tanto, las unidades en que se mide la energía son las mismas en que se mide el trabajo.

Todos los entes del universo físico poseen, en menor o mayor grado, una cierta capacidad de trabajo y, por consiguiente, poseen también energía.

Una característica fundamental de la energía es que no se puede crear, ni tampoco destruir.

Los cuerpos pueden poseer energía en razón de múltiples causas, como, por ejemplo, en razón de la velocidad con que se mueven con respecto a otros cuerpos, en razón de su posición, o, simplemente, en razón de la cantidad de masa que poseen.

Al interaccionar unos cuerpos con otros, pueden variar una o varias de las magnitudes que determinan la cantidad de energía de éstos. Sin

embargo, considerando el conjunto de todos los cuerpos capaces de interactuar entre sí, esto es, aislándolos totalmente con respecto a otros conjuntos de cuerpos, es un hecho avalado por la experiencia que la suma de todas sus energías siempre permanece constante. Esto es lo que se conoce como *Principio de Conservación de la Energía*, cuyas consecuencias e implicaciones son de enorme trascendencia.

Para nosotros, nos bastará saber que los cuerpos pueden transferirse entre sí cantidades de energía de diversas formas, sin que tenga que existir necesariamente también transferencia de materia, contacto entre ellos, o tan siquiera proximidad.

Conviene concebir a la energía no como una especie de fluido que se trasvasa de un cuerpo a otro, sino como un valor numérico del nivel de capacidad que un cuerpo tiene, en un determinado instante, para realizar trabajo. Si por alguna causa dicho nivel disminuye, el nivel de otro u otros cuerpos aumenta en la misma cuantía, y viceversa.

### ***Energía radiante***

Existen entes físicos que carecen de materia. Tal es el caso de la radiación electromagnética, la cual podríamos describir de forma simplificada como una perturbación que puede afectar a zonas más o menos extensas del espacio físico que habitamos, variando continuamente y de forma oscilante sus características (de ahí el nombre de *ondas* electromagnéticas).

Estas ondas electromagnéticas también poseen energía, como lo demuestra el hecho de poder ejercer diversas acciones sobre cuerpos que se encuentran en su zona de influencia.

El origen de dichas ondas está asociado a las cargas eléctricas de las partículas subatómicas, estando presentes, con menor o mayor intensidad, prácticamente en todas partes. En estos momentos, este libro y el propio lector del mismo están siendo sometidos a un continuo bombardeo de radiación electromagnética, probablemente procedente de millones de fuentes distintas, unas de origen natural y otras, la

mayoría, artificialmente creadas por el hombre, como consecuencia del uso generalizado de dispositivos eléctricos.

Afortunadamente, los efectos de esta lluvia invisible de ondas son, en la mayor parte de los casos, debilísimos, tanto que solamente son detectables con ayuda de instrumentos de extraordinaria sensibilidad. Pero otras veces, por el contrario, las ondas electromagnéticas se hacen patentes de forma tan manifiesta, que toda la vida que conocemos se vería notablemente alterada si sus efectos se modificaran. Por ejemplo, el ojo se sirve de dichas ondas para recibir información de las características de los objetos.

Cualquier objeto caliente constituye una fuente de radiación electromagnética y, por tanto, de energía radiante. Un radiador de calefacción, una hoguera o una estrella son ejemplos de fuentes de energía radiante. La radiación originada, al incidir sobre los cuerpos que se interponen en su camino, cede su energía, la cual se transforma en energía térmica del cuerpo en cuestión.

### *Energía térmica*

La energía térmica o calorífica, vulgarmente conocida con el nombre de *calor*, es una forma particular de la energía. Está relacionada con el movimiento, más o menos caótico, de las partículas que componen los cuerpos materiales.

Para evaluar la cantidad de energía térmica que un cuerpo puede ser capaz de transferir a otro, se introduce el concepto de *temperatura*, que es una magnitud asociada a cada estado de un cuerpo tal que la igualdad de ésta para dos cuerpos es condición necesaria y suficiente para que entre ellos no se produzca de forma natural trasvase de energía térmica.

El calor se manifiesta, pues, únicamente cuando existe una diferencia de temperatura entre dos cuerpos, es decir, una diferencia de su «nivel térmico».

Una característica especialmente importante de la energía térmica es que, de forma natural, las restantes formas de energía tienden, más tarde o más temprano, a convertirse en ella. Así, la energía radiante se transforma en energía térmica de los cuerpos sobre los que incide. Este fenómeno, de importancia trascendental en el tema que nos ocupa, se conjuga con el hecho de que también se produce a la inversa (aunque no con igual tendencia), es decir, los cuerpos son capaces de perder energía térmica por radiación y ésta se transforma en energía radiante electromagnética. Muchas veces se produce un equilibrio entre estos dos fenómenos de sentidos opuestos, que de forma permanente se dan en todos los lugares del universo que habitamos.

Consideremos la siguiente situación, común en la vida cotidiana: Cuando estamos escribiendo bajo la luz de una bombilla, la energía radiante que ésta desprende (transformada a partir de la energía eléctrica) incide sobre el bolígrafo y el papel, calentándolos. Éstos, a su vez, aunque en grado mucho menor (debido a que alcanzan menor temperatura) irradian energía hacia el espacio que los rodea.

Llega un momento en que, si las condiciones son estables (la distancia de la bombilla es constante), se establece un equilibrio entre la energía que el papel o el bolígrafo ganan y la que pierden, permaneciendo constante la temperatura de dichos objetos.



## 2

# EL SOL Y LA TIERRA

Las estrellas son unos potentísimos focos emisores de energía radiante. Sin embargo, dada la enorme distancia a la que se encuentran y, puesto que la radiación que desprenden se va atenuando al repartirse progresivamente en una superficie esférica más y más grande a medida que se propaga por el espacio, los efectos que producen en la Tierra son muy pequeños.

No obstante, una de ellas, el Sol, por su proximidad, es capaz de hacer llegar hasta nosotros tal cantidad de energía radiante, que ha establecido las condiciones físicas que reinan en el planeta desde su formación, incluidas las que definen lo que conocemos como *vida*.

A nosotros nos interesan los aspectos cuantitativos de la energía del Sol, sin entrar en una descripción profunda de las transformaciones físico-químicas que ésta sufre una vez incide sobre la superficie terrestre.

### Datos numéricos

El Sol es una estrella bastante corriente, con la única particularidad de que solamente se encuentra a una distancia de unos 150 millones de kilómetros de la Tierra. La radiación que emite tarda algo más de 8 minutos en alcanzar nuestro planeta, es decir, a razón de unos 300 000 km/s.

Su diámetro es de cerca de 1 400 000 km y su masa equivale a la de unos 300 000 planetas iguales a la Tierra.

Como todas las estrellas, el Sol es un gigantesco horno nuclear en el que la masa se convierte en energía radiante continuamente,

calculándose en más de 5000 millones de años el tiempo que pasará hasta que quede completamente extinguido.

De esa enorme cantidad de energía radiante, solamente una pequeñísima fracción alcanza nuestro planeta, aunque representa una cantidad muy grande en comparación con la energía que necesitamos para mantener nuestra civilización tecnológica. El problema no es la cantidad total de energía disponible, sino las dificultades para su aprovechamiento, dado que ésta se dispersa, repartiéndose por toda la superficie de la tierra y los océanos. En promedio, la cantidad de energía que llega a nuestra atmósfera exterior corresponde a una potencia de 1,4 kW por cada m<sup>2</sup>, cantidad que se reduce a alrededor de 1 kW cuando atraviesa la atmósfera y llega al suelo.

La temperatura efectiva de la superficie del Sol es de unos 5600 °C. Este dato es importante porque las características de la radiación que emite un cuerpo son función de la temperatura de la superficie del mismo. La temperatura de 5600 °C es superior a la temperatura normalmente alcanzable en los procesos industriales habituales que el hombre puede producir artificialmente. De ahí que las características de la radiación solar sean sensiblemente diferentes de las de otras fuentes de radiación artificiales.

La radiación solar está formada por una mezcla de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias. Algunas de ellas (aquellas cuya «longitud de onda» está comprendida entre 0,4 μm y 0,7 μm) pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como *luz visible*. Otras, aunque no son visibles, hacen notar igualmente sus efectos, al ceder a los cuerpos la energía que transportan.

### **Posición de la Tierra con respecto al Sol**

Incluso más importante que la cantidad absoluta de energía recibida es la inclinación con que las ondas de radiación (es decir, los rayos del Sol) inciden sobre una superficie, ya que esto hará que la energía se reparta en un área más o menos extensa, disminuyendo o aumentando su intensidad.



Debido a la inclinación del eje de rotación de la Tierra con respecto al plano de su órbita alrededor del Sol y a su forma esférica, un mismo punto de la superficie terrestre recibe los rayos con una inclinación diferente, según la época del año, y por tanto, la energía efectiva que incide en un metro cuadrado de superficie horizontal varía considerablemente.

En invierno los rayos de sol inciden con un ángulo pequeño respecto a la horizontal, lo contrario que en verano, en que el ángulo es mucho mayor, llegando a alcanzar la perpendicular en las zonas cercanas al ecuador y en los momentos centrales del día. Por esa razón, la energía total incidente es mucho mayor en verano que en invierno y, si consideramos la energía incidente en un determinado período de tiempo —por ejemplo, una hora—, también es mucho mayor en las horas centrales del día (alrededor del mediodía) que en las horas cercanas al amanecer o a la puesta de sol.

Aunque todos sabemos que es la Tierra la que gira alrededor del Sol y no al revés, a efectos prácticos todavía resulta útil, y conduce a los mismos resultados, suponer que es el Sol el que gira alrededor de nuestro planeta, describiendo una órbita aproximadamente circular (en realidad describe una elipse muy poco pronunciada).

Con este modelo ficticio, el Sol se comporta como una luminaria que se eleva todos los días desde el Este hacia el Oeste, describiendo en el cielo un arco más o menos amplio, según la época del año.

En primavera y verano el arco de la trayectoria solar es más grande, el Sol se eleva más sobre el horizonte y permanece más tiempo brillando en el cielo. Por el contrario, en invierno los puntos del horizonte por donde sale y se oculta están más próximos entre sí, la trayectoria es más corta y menos elevada, y el tiempo (duración del día solar) que transcurre entre el amanecer y la puesta de sol es mucho menor.

Lógicamente, cuanto mayor es la duración del día solar, más cantidad de energía se podrá recoger.

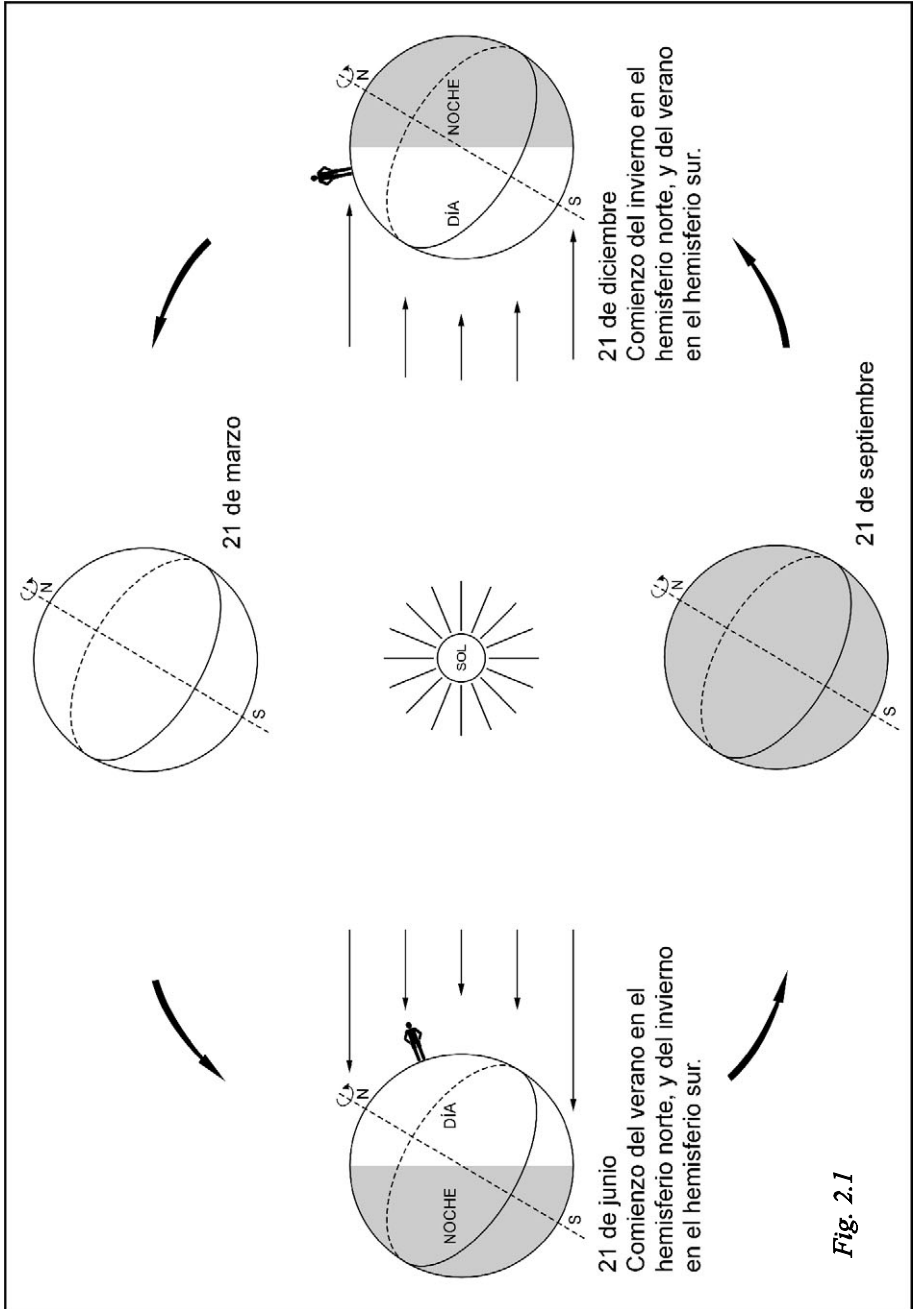


Fig. 2.1

↳ *Fig. 2.1. Dibujo explicativo del movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol. La inclinación del eje de rotación de la Tierra hace que los rayos solares no incidan con igual ángulo a lo largo del año en un determinado lugar y en el mismo momento del día. Observando la figurita que representa a una persona de pie situada en un lugar cuya latitud aproximada es de unos 50° Norte, puede verse cómo los rayos, al mediodía de junio, inciden sobre su cabeza con bastante perpendicularidad, mientras que en diciembre lo hacen con un ángulo mucho menor. Lo contrario sucedería si la persona estuviese en el hemisferio sur. La inclinación de los rayos solares es un factor determinante de la cantidad de energía solar incidente.*

Además, otro factor incluso más importante que el de la duración del día, es el hecho de que cuanto menos elevada sea la trayectoria solar, con menor ángulo incidirán los rayos con respecto al suelo horizontal y, según se ha dicho, la intensidad será menor, al tener que repartirse la energía en un área mayor.

### **El clima**

Otro factor que determina la menor o mayor cantidad de energía que llega a la superficie es el grado de nubosidad de la zona. Las nubes absorben la mayor parte de la energía solar, reflejándola en su cara superior y devolviéndola al espacio. En un típico día cubierto, la energía que logra atravesar la capa de nubes es solamente una pequeña fracción de la que llegaría a la superficie si el cielo estuviese despejado, siendo por lo general insuficiente para que los sistemas de aprovechamiento de energía solar (con la posible excepción de los que se basan en el efecto fotovoltaico) puedan ser operativos.

Las condiciones climáticas de una región determinada son, pues, el factor más importante a la hora de evaluar las posibilidades prácticas de una instalación solar. Si el clima es de nubosidad abundante, las posibilidades de conseguir rentabilizar el sistema serán escasas.

También la temperatura media del aire y la velocidad del viento influyen, aunque en menor cuantía que la nubosidad, sobre todo en los

captadores planos destinados a calentar agua, pues si dicha temperatura es demasiado baja o el viento predominante es fuerte, el captador tenderá a perder rápidamente el calor producido por la radiación solar, dificultándose su transmisión al agua que deseamos calentar.

Las regiones con escasa nubosidad y no demasiado frías constituyen la zona ideal en la que, con la tecnología actual, es posible sacar el máximo rendimiento de los sistemas usuales de aprovechamiento térmico de la energía solar. No obstante, también es posible aprovechar razonablemente la escasa energía que se puede recoger en regiones de altas latitudes y muy bajas temperaturas.

### Los fotones

La Teoría Cuántica aplicada a la radiación electromagnética y en particular a la radiación electromagnética solar, explica que dicha radiación se configura de una forma peculiar, pudiéndose tratar en una primera visión muy simplificada, como un conjunto formado por un elevadísimo número de «agrupamientos» energéticos discretos denominados *fotones*, que constituyen las unidades naturales de transporte de energía.

Así, los rayos de luz serían una especie de «lluvia» de fotones, cada uno de ellos transportando una cantidad minúscula de energía, pero dado el enorme número de fotones que en cada segundo atraviesan una sección o área determinada, el resultado neto es un transporte de energía considerable.

Los fotones únicamente se diferencian entre sí por el valor de su *longitud de onda*, o de su *frecuencia*, definida como el cociente entre su velocidad (la velocidad de la luz) y dicha longitud de onda.

La mayor o menor intensidad del flujo de fotones, es decir, el número de éstos que atraviesa la unidad de área perpendicular a la dirección de su desplazamiento en la unidad de tiempo, definirá la intensidad de la radiación solar.

Si todos los fotones tuviesen una misma longitud de onda, la energía total podría ser fácilmente calculada sin más que multiplicar la energía unitaria de cada fotón (la cual, según la Teoría Cuántica, es simplemente el producto de una cantidad constante—llamada Constante de Planck—por la frecuencia del fotón) por el número de ellos. La realidad es más compleja, pues la luz que emite el Sol está formada por una mezcla muy desigual de fotones de diferentes longitudes de onda.

En un mismo rayo de sol hay fotones cuya longitud de onda es —por citar algunas cifras— de media micra, de una micra, de 1,2 micras, de 1,5 micras, etc.

Afortunadamente, la proporción relativa de los fotones según su longitud de onda es siempre aproximadamente la misma, al menos antes de penetrar en la atmósfera terrestre, en la cual una serie de fenómenos pueden alterar dicha proporción, aunque se sigue conservando un perfil más o menos definido.

La distribución relativa de las frecuencias (o de las longitudes de onda) del conjunto de los fotones que integran la radiación solar es lo que se conoce como *espectro solar*.

Solamente algunos de los fotones —aquellos cuya longitud de onda está comprendida entre 0,3 y 3 milésimas de milímetro— son susceptibles de ser detectados por el ojo humano, formando lo que llamamos «luz visible».

### **El flujo energético**

Cada fotón individual posee una cantidad de energía pequeñísima, pero al considerar la suma de las energías de todos los fotones que inciden, por ejemplo, en un minuto sobre una cierta superficie, como la del tejado de una casa, se obtiene una cantidad de energía de cierta consideración, dado el elevadísimo número de fotones que, como se ha dicho, hay en un haz de radiación solar.

A las capas más exteriores de la atmósfera llega energía solar de forma aproximadamente constante, ya que a esa altura no existen nubes ni obstáculos que puedan atenuarla. Con ligeras variaciones según la época del año, debido a que la distancia entre la Tierra y el Sol no es siempre la misma, el valor de lo que se conoce con el nombre de *Constante Solar* es de unos 1,35 kW de potencia por cada metro cuadrado de superficie perpendicular a los rayos. Esto quiere decir que en un segundo llegan a la estratosfera unos 1350 julios/m<sup>2</sup> de energía.

Al suelo, la potencia radiante que llega, aun en días favorables (cielo totalmente libre de nubes y con aire limpio), no suele superar los 1000 W/m<sup>2</sup>, siempre medida sobre una superficie perpendicular a la trayectoria de los rayos. Esto quiere decir que el efecto atenuante de la atmósfera, que absorbe y desvía muchos de los fotones incidentes, es considerable.

La cantidad de energía que la radiación solar aporta no es realmente demasiado impresionante en términos relativos, si se la compara con la generada con otros dispositivos utilizados habitualmente. Por ejemplo, una pequeña placa o calentador eléctrico para calefacción de 1 kW de potencia produce la misma energía, en igual período de tiempo, que la máxima radiación solar que pudiera obtenerse en un día en que el Sol brille alto, sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup> más o menos perpendicular a estos rayos. Teniendo en cuenta que los rayos de Sol inciden con un cierto ángulo, variable a lo largo del día desde que éste sale hasta que se pone, se puede calcular que la energía total incidente en un día completo de verano no suele superar, en latitudes medias, los 8 kilovatios-hora (en invierno es mucho menor). La energía eléctrica equivalente representaría un valor económico de aproximadamente un dólar, a los precios actuales.

No obstante, y a pesar de su moderado valor, la energía solar puede ser de gran utilidad si se aprovecha debidamente, como se verá más adelante.

Adicionalmente, si los rayos tienen que atravesar la capa de aire atmosférico, cuanto menos perpendicular lo hagan más largo será el

camino y mayor será la masa de aire que hayan de superar para llegar al suelo, atenuándose su intensidad por efecto de la absorción.

Todos estos factores son los principales responsables de que la energía solar recogida a lo largo de un día de finales de otoño o principios de invierno sea mucho menor que en un día de finales de primavera o principios de verano, aun cuando en ambos casos no existiese nubosidad alguna.

Si, finalmente, a esto se añade que la nubosidad es mayor en invierno, fácilmente se comprende la escasa cantidad de energía útil que, como media, podemos esperar aprovechar en los meses más desfavorables del año (en el hemisferio norte, noviembre, diciembre y enero).

### **Radiación directa y difusa**

Una buena parte de los fotones que finalmente alcanzan el suelo han sufrido desviaciones de su trayectoria original (una línea recta desde el Sol) al interactuar con los átomos presentes en el aire.

El efecto global de estas dispersiones que los rayos sufren es el de aparentar que la radiación, además de provenir directamente del disco solar, lo hace de forma más o menos homogénea desde todos los puntos de la bóveda celeste.

La radiación que proviene directamente del Sol y que llega hasta nosotros sin sufrir desviaciones se denomina *directa*, y toda la demás, *difusa*, pues ésta última se difunde por todo el hemisferio celeste, aparentando que es éste quien la irradia.

Si no existiese aire, evidentemente toda la radiación sería directa y si mirásemos el cielo hacia un lugar diferente al ocupado por el Sol, nuestro ojo no recibiría radiación alguna (el cielo se observaría de color negro). Tampoco podríamos, por ejemplo, leer un libro con luz natural, a no ser que el propio libro estuviese expuesto directamente a la luz del Sol.

Las nubes difunden la radiación solar más fuertemente que el aire seco, por lo que en un día nublado toda la radiación que podemos obtener será radiación difusa. En un típico día despejado la radiación directa es varias veces superior a la difusa.

## EUROPA

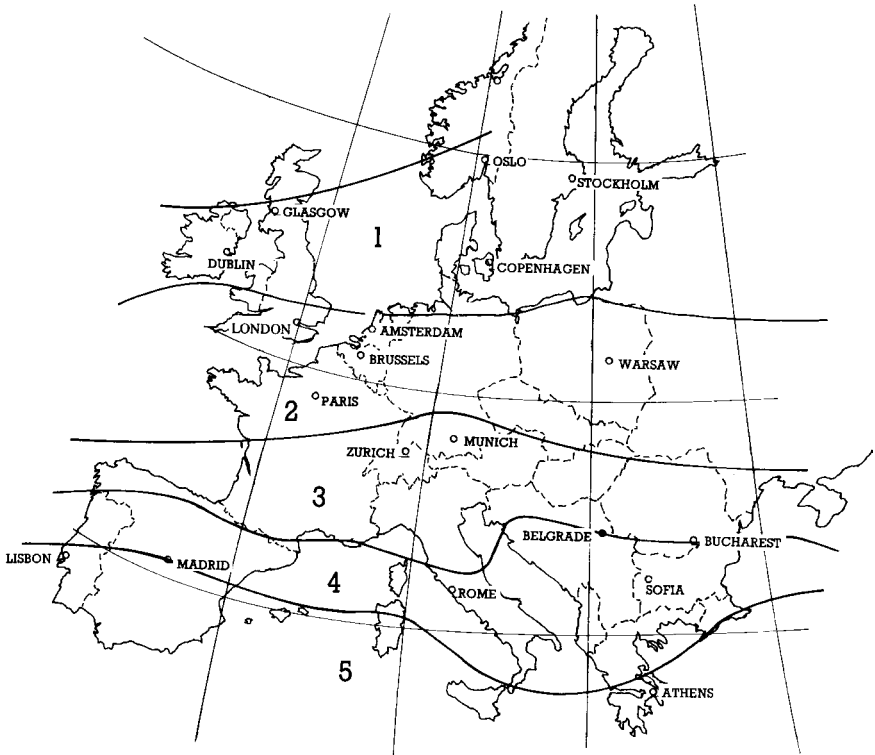


Fig. 2.2

*Figs. 2.2, 2.3 y 2.4. Mapas de la energía solar media incidente en varias zonas del mundo. Las líneas unen los puntos en los que dicha energía es igual. Los valores numéricos expresan  $kW \cdot h$  de energía al día por cada metro cuadrado de superficie horizontal.*



## AMÉRICA DEL NORTE

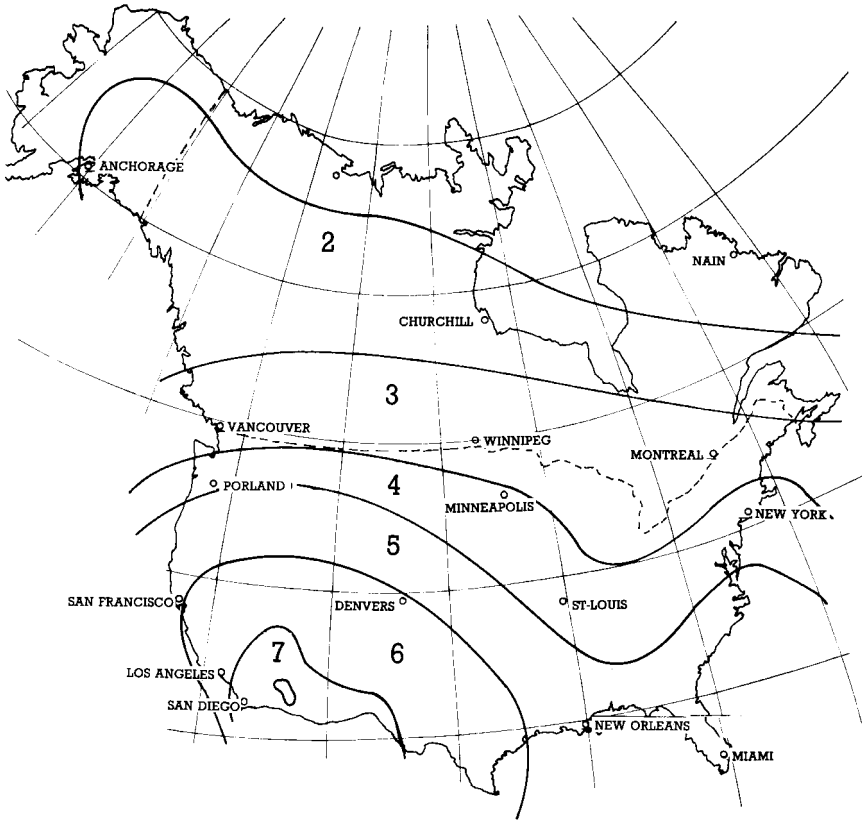


Fig. 2.3

# AMÉRICA LATINA

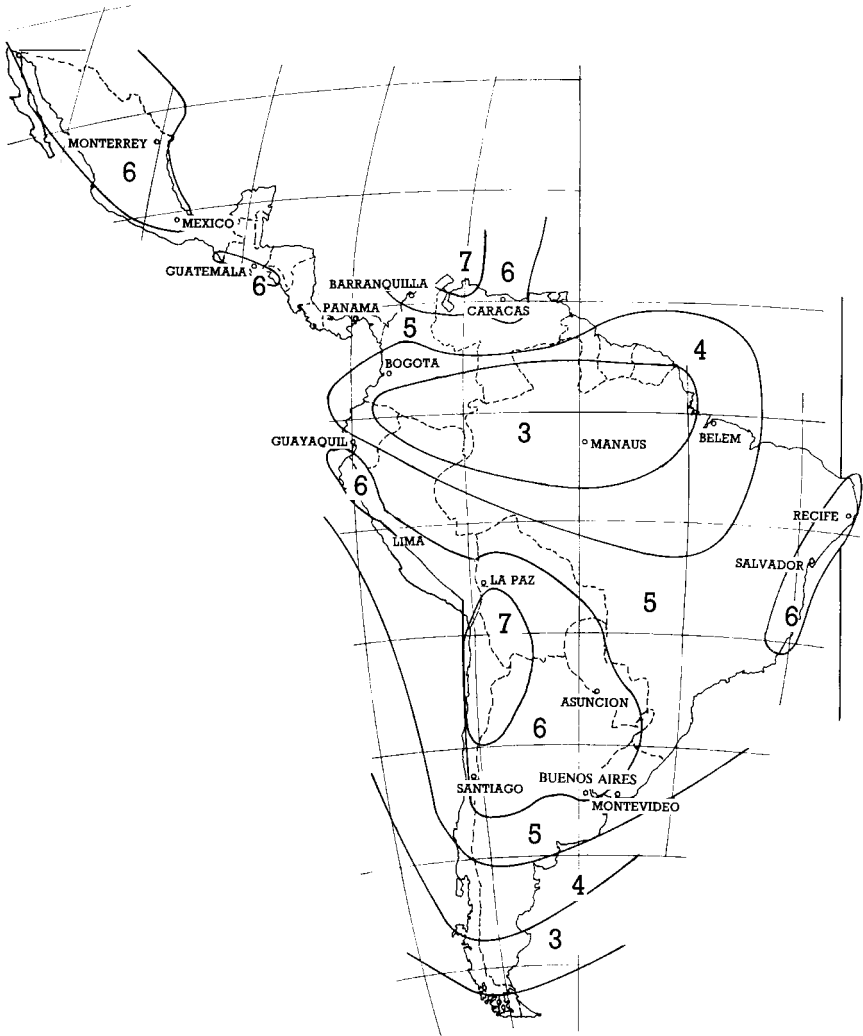
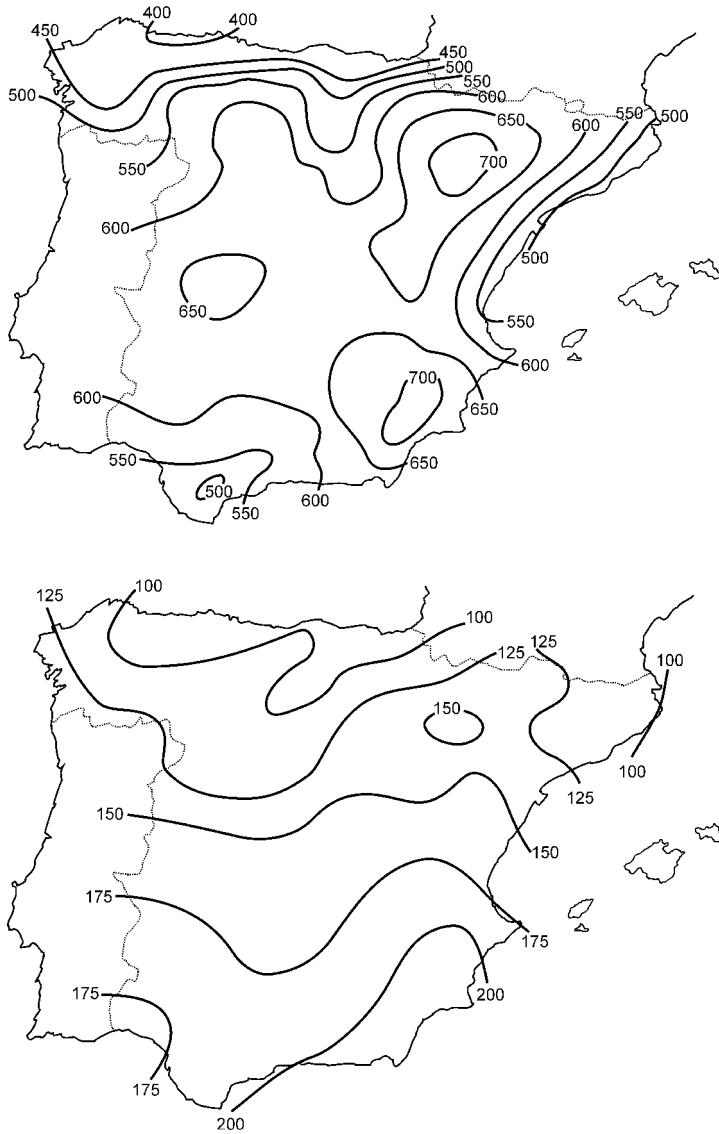


Fig. 2.4



**Fig. 2.5. Mapas de radiación. Energía solar que se recibe, como media, en un día del mes de julio (mapa superior) y de diciembre (mapa inferior), expresada en calorías en un centímetro cuadrado de suelo horizontal. Obsérvese la gran diferencia entre los valores correspondientes a uno y otro mes.**

## Energía incidente y energía aprovechable

Tanto la radiación directa como la difusa son útiles para producir energía.

Sin embargo, no toda la energía radiante que llega hasta nosotros es susceptible de ser aprovechada ya que, como ocurre con muchos aparatos que necesitan para comenzar a funcionar un estímulo superior a un determinado valor, los dispositivos de captación solares funcionan únicamente a partir de un valor mínimo de radiación. Toda energía que incida bajo un cierto valor mínimo será inútil a efectos de aprovechamiento práctico, ya que los sensores encargados de poner en marcha el sistema solar no detectarán un valor suficiente para lograr hacer trabajar al sistema con la mínima eficiencia requerida.

Por ejemplo, durante los primeros momentos de la mañana o los últimos de la tarde, la energía incidente es muy baja, no alcanzándose el *valor umbral* mínimo para poder ser aprovechada por un fluido térmico, a través de un absorbedor solar. Lo mismo ocurre en momentos de elevada nubosidad: algo de energía siempre llega al suelo (por eso, aunque el día esté muy nublado podemos ver en las calles sin recurrir al alumbrado artificial), pero con una intensidad insuficiente para, con la actual tecnología, ser capaz de aportar energía útil. Por ejemplo, aunque teóricamente una intensidad de radiación de  $100 \text{ W/m}^2$  incidiendo durante 6 horas aportaría la misma cantidad de energía que una intensidad de  $600 \text{ W/m}^2$  durante una hora, en realidad en el primer caso la energía neta aprovechable por un captador térmico sería nula.

## 3

# FORMAS DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

Dejando aparte algunos procedimientos especiales —la mayoría de ellos todavía en fase de investigación— como aquellos que utilizan la energía solar para producir sustancias químicas diversas, los esfuerzos de la incipiente industria solar se concretan en la conversión de la radiación incidente en dos formas finales de energía, ambas de suma utilidad para nosotros: el calor y la electricidad.

En el primer caso se habla de la *conversión solar térmica*, que emplea *captadores térmicos*, en los que un fluido (generalmente un líquido) recoge el calor que los rayos solares producen en el captador.

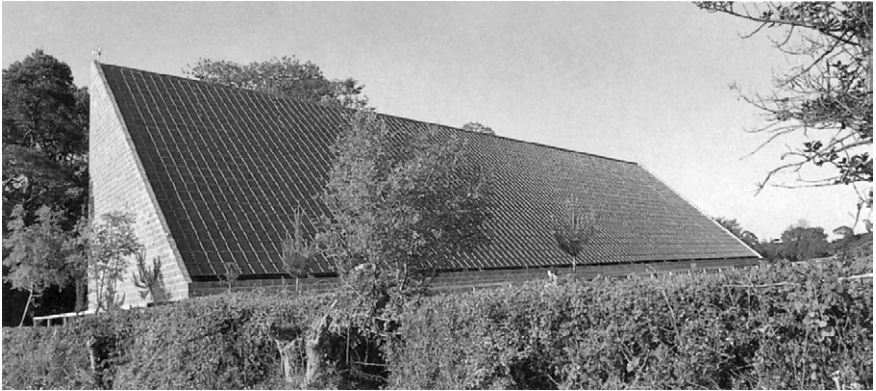
La *conversión solar eléctrica* puede lograrse fundamentalmente por medio de dos procedimientos totalmente distintos entre sí, tanto por su tecnología como por su campo de aplicación.

El primero de ellos se basa en el *efecto fotovoltaico*, cuyos fundamentos teóricos están en la física cuántica y que, como su nombre intenta sugerir, se trata de un fenómeno por el que los fotones, incidiendo sobre determinados materiales y en condiciones apropiadas, pueden generar una diferencia de potencial o voltaje susceptible de mantener una corriente eléctrica, la cual puede ser recogida y aprovechada.

La segunda forma de producir electricidad a partir de la energía solar se basa en un proceso termodinámico, y consiste en la utilización de generadores eléctricos de tecnología convencional, similares a los usados en una central térmica o una central nuclear, con la diferencia de que la energía térmica necesaria para impulsar al fluido a través de los álabes de la turbina que mueve al generador es producida a su vez

por la energía solar, recogida y concentrada convenientemente a fin de poder alcanzar las altas temperaturas que el proceso requiere.

Se comprende que este segundo procedimiento, por su mayor complejidad tecnológica, no es apropiado para su realización a pequeña escala, requiriendo inversiones considerables y la construcción de plantas solares extensas, conocidas como *plantas termosolares*.



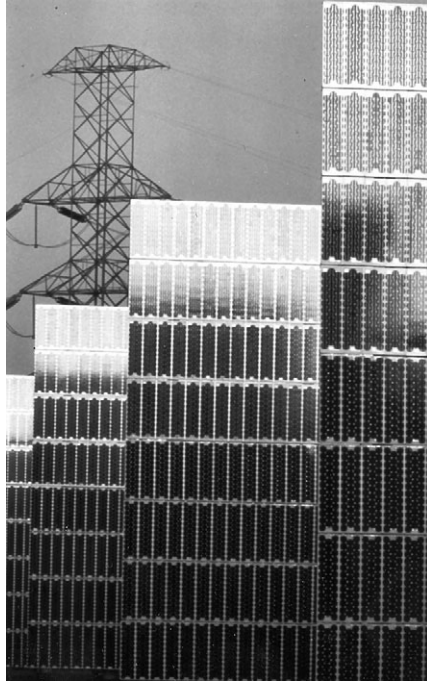
*Fig. 3.1. El elevado número de módulos dispuestos en esta construcción, situada en la isla de Fota (Irlanda), permite obtener una potencia de 50 kilovatios.*

### **¿Macrocentrales o pequeñas instalaciones dispersas?**

Existe en la actualidad una gran polémica en la definición de lo que será el camino más adecuado a seguir respecto a la conversión solar eléctrica.

Por una parte, los organismos estatales e internacionales, respaldados por las grandes compañías eléctricas, abogan por la construcción de grandes centrales solares en las que, mediante cientos o miles de

*heliostatos*, se concentre la radiación solar sobre un receptor central y, por medio de un proceso termodinámico, se genere electricidad en forma de corriente alterna, que es canalizada y distribuida a través de una red eléctrica convencional, llegando a los puntos de consumo de la misma forma que la electricidad que actualmente consumimos.



*Fig. 3.2. Vista parcial de una gran planta fotovoltaica. Al fondo se observa una de las grandes torres para el transporte de la energía eléctrica producida.*

Sin embargo, muchos científicos, organizaciones ecologistas y usuarios en general, defienden el concepto de *energía solar no centralizada*, generándose y consumiéndose en el mismo lugar mediante paneles solares basados en el efecto fotovoltaico.

Frente al teórico menor coste que, según los defensores del sistema centralizado tiene éste, lo cierto es que la distribución de la energía hace desaparecer uno de los principales atractivos que la energía solar posee de forma natural, dada su naturaleza dispersa, y es que llega «sin intermediarios» al usuario, proporcionando a éste autonomía e independencia frente a los intereses económicos de las empresas energéticas.

### **El problema de la acumulación de la energía**

Desafortunadamente, muchas veces la energía solar está disponible cuando no la consumimos y, por el contrario, no lo está cuando la necesitamos.

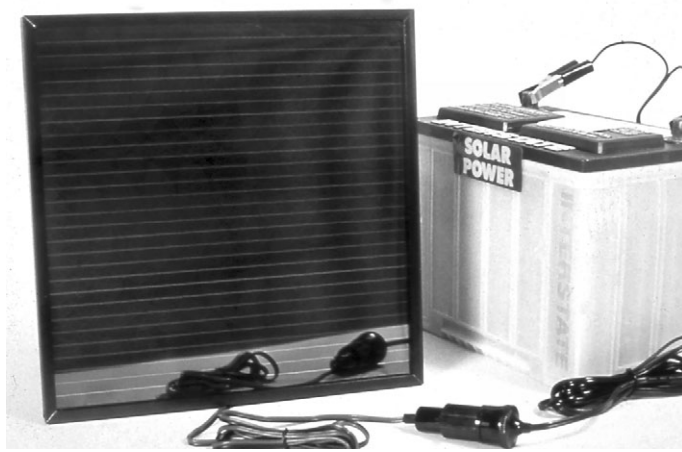
La energía eléctrica distribuida a través de la red general siempre «está ahí», esperando el momento en que hagamos uso de ella. No es preciso almacenarla físicamente, como se hace con el agua o los alimentos.

Sin embargo, el Sol únicamente derrama sus rayos durante algunas horas al día, y no ciertamente todos los días del año, y nosotros necesitamos energía prácticamente durante las 24 horas del día y los 365 días del año. Se precisa disponer de sistemas efectivos de acumulación para el almacenamiento y posterior utilización de la energía.

En lo referente a la energía térmica el problema está bastante bien resuelto a corto plazo. El agua caliente para uso doméstico puede almacenarse en depósitos convenientemente aislados durante uno o dos días, permitiendo así usar la energía solar «almacenada» del día anterior.

No existen, por el contrario, sistemas de acumulación lo suficientemente grandes y eficientes como para permitir acumular el calor sobrante en el verano y poder utilizarlo para calefacción en invierno, lo cual sería extraordinariamente provechoso.





*Fig. 3.3. Pequeño módulo, suficiente para recargar lentamente una batería y compensar la pérdida por autodescarga.*

Desde hace casi un par de siglos se conoce la capacidad de ciertos materiales y disoluciones para absorber y conservar energía eléctrica, mediante diversos procesos electroquímicos. Los *acumuladores eléctricos*, como las baterías de nuestros automóviles, son universalmente utilizados como la forma más práctica de conservar y suministrar energía eléctrica en cualquier lugar.

Los acumuladores eléctricos producen corriente continua, es decir, la misma que generan los módulos fotovoltaicos (en realidad la corriente alterna es una forma artificial de corriente eléctrica, creada con el casi exclusivo fin de favorecer su distribución a través de grandes redes), por lo que resultan apropiados para ser alimentados por dichos módulos durante el día, pudiendo suministrar la energía almacenada durante las horas sin sol para, por ejemplo, proveer de luz eléctrica a una vivienda.

El mayor defecto que tienen los acumuladores eléctricos es su escasa capacidad de almacenar energía en relación a su peso y precio. Por ejemplo, la cantidad máxima de energía que puede almacenar una típica

batería de automóvil de 60 amperios-hora no llega siquiera a 1 kW·h. Un solo litro de gasolina puede producir diez veces más energía a un coste mucho menor.

Los últimos modelos de acumuladores son algo más eficientes y menos voluminosos y pesados pero, aun así, no son competitivos para manejar grandes cantidades de energía. Deben ser utilizados únicamente en las aplicaciones que requieren pequeñas cantidades de la misma, habiendo de ser recargados con frecuencia.



*Fig. 3.4. Sala de baterías de una gran instalación.*

Incluso con el grave inconveniente anteriormente expuesto, los acumuladores eléctricos son insustituibles en gran parte de las aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar. En realidad, el desarrollo futuro de la industria fotovoltaica para aplicaciones autónomas está tan ligado a la fabricación con costo moderado de acumuladores más ligeros y eficientes (como, por ejemplo, los de litio-ión), que algunos analistas creen que dicho factor es incluso más importante que el desarrollo de mejores módulos.

Lo cierto es que, tanto los módulos como los acumuladores eléctricos son todavía demasiado caros en relación a la cantidad de energía que son capaces de tratar, lo que restringe su campo de aplicación.

### **Calor solar**

La conversión térmica de la energía solar constituye la aplicación más simple, ya que no requiere necesariamente tecnología sofisticada ni costosos materiales.

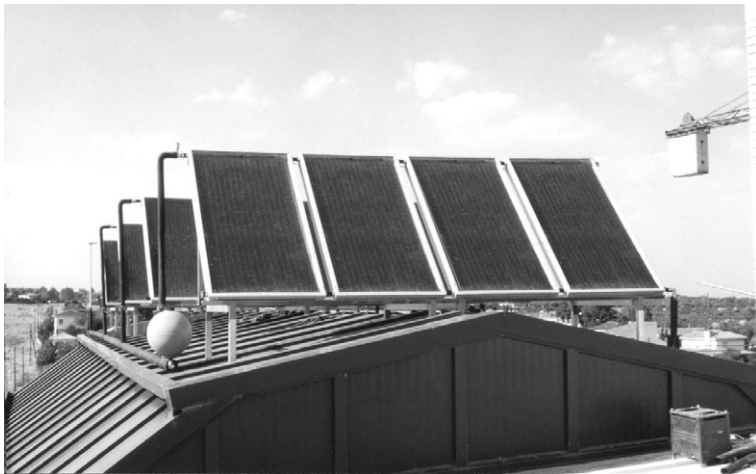
En realidad, lo que hace cualquier captador solar térmico es sencillamente algo tan habitual como dejarse calentar por el sol y transmitir la energía térmica a un medio capaz de trasladarla, a su vez, hasta el lugar en que interese acumularla.

El captador solar, aunque simple en cuanto a su concepción, requiere poseer unas características excepcionales, en cuanto a cualidades tales como durabilidad, hermeticidad e inalterabilidad, que lo diferencian de otros productos.

El fracaso a corto o medio plazo de muchas marcas de captadores, que han demostrado ser incapaces de soportar el paso de unos pocos años manteniendo un rendimiento razonable, demuestra la existencia de un error de partida, causante al menos en parte de un innecesario descrédito de las instalaciones solares, que se produjo a lo largo de la década de los ochenta, y es el de subestimar los efectos combinados del sol, del agua y de los agentes meteorológicos sobre los materiales convencionales.

En efecto, el sol es uno de los factores más terriblemente devastadores para muchos materiales y objetos que se encuentran permanentemente bajo su acción directa.

Combinada con los agentes atmosféricos y la acción química de las sustancias presentes en el aire, principalmente en el aire húmedo, la radiación solar deteriora y degrada muchos de los componentes habitualmente presentes en productos destinados a ser utilizados en interiores, protegidos de la luz solar.



*Fig. 3.5. Típica disposición de captadores planos. Éstos son los más utilizados para la producción de agua caliente.*

El vidrio, la cerámica y ciertas aleaciones metálicas son ejemplos de materiales casi inalterables por el sol, que pueden resistir su acción ininterrumpida durante muchos años, pero por el contrario, las pinturas, los plásticos, ciertos metales y los adhesivos industriales, que tienen un excelente comportamiento en la mayor parte de las aplicaciones, sufren una inevitable degradación si son expuestos a la intemperie.

Si por los efectos de la exposición al sol estos obligan a restaurar o sustituir los muebles y otros objetos con relativa frecuencia, no sería práctico permitir que esto también ocurriera con los captadores, ya que los costes de mantenimiento harían que la instalación no resultara rentable.

La primera cualidad que hay que exigir a un captador solar es su inalterabilidad durante muchos años —veinte como mínimo— sin pérdida sensible de sus propiedades y rendimiento.

Esta exigencia tiene prioridad respecto a otras, como puede ser la obtención de un rendimiento (capacidad de aprovechamiento de la energía solar incidente) algo mayor, que a menudo sirve, erróneamente, como única referencia a la hora de elegir una determinada marca o modelo.

Casi todos los captadores planos del mercado actual difieren en cuanto a su rendimiento en menos de un 10 % con respecto al valor medio de todos ellos, pero no se puede decir lo mismo en cuanto a su expectativa de vida útil.

Para lograr una durabilidad que permita al usuario despreocuparse casi totalmente de ellos, los captadores deben estar fabricados partiendo de materiales de óptima calidad, adecuados para las condiciones que van a soportar, y haber observado escrupulosamente todas las recomendaciones de los laboratorios de investigación y ensayo.

El más mínimo error o el más leve descuido en el diseño de absorbedores, o de la unión de éstos con la carcasa, o en la tolerancia de medidas, pueden arruinar completamente un proyecto de fabricación aparentemente bueno.

Hay que tener en cuenta que un captador va a estar sometido, además de a una potencial corrosión, a continuos cambios de temperatura que provocarán variaciones en sus tres dimensiones por efecto de la dilatación y contracción, así como la aparición de tensiones que pueden ser peligrosas. Cada soldadura o cada tornillo ha de poder soportar estas tensiones sin el menor problema.

Como consecuencia de la calidad obligada en el proceso del diseño y fabricación de un captador, el producto final no resulta ciertamente barato, pero sí será rentable, habida cuenta de que cumplirá satisfactoriamente su misión durante muchos años.

### *Tipos de captadores*

Los captadores solares se suelen clasificar dividiéndolos en dos grandes grupos, según utilicen la radiación solar con la misma intensidad con que ésta naturalmente incide, o aumentándola mediante la concentración previa de los rayos solares. Se habla pues de captadores *sin concentración* o *con concentración*.

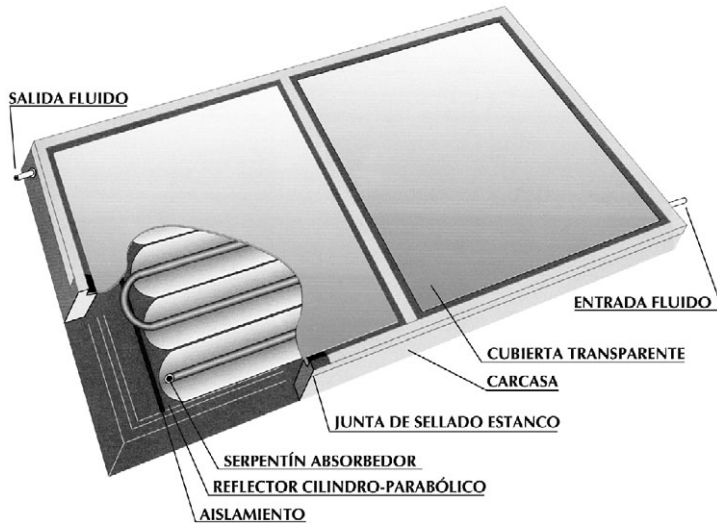
Los segundos, más caros, debido a los materiales que incorporan y a las mínimas tolerancias permitidas en cuanto a su geometría, solamente se utilizan cuando se requieren obtener temperaturas relativamente altas, a partir de 90 °C, prácticamente imposibles de mantener si no se recurre a intensificar la luz solar incidente.

Aunque existen diseños de captadores de concentración estáticos, normalmente, y dado que la concentración se logra reflejando la radiación directa para hacerla incidir sobre un elemento absorbedor de superficie menor que el área de recepción de los rayos, los captadores de concentración requieren una orientación permanente hacia la posición del Sol, y por tanto, deben estar dotados de un mecanismo de movimiento automático preciso, ya que de otro modo se perderá la capacidad de enfoque y concentración. Esto encarece el captador y requiere un mantenimiento relativamente importante, razón por la cual este tipo de captadores no se utiliza en pequeñas instalaciones.

El grupo más amplio lo forman los captadores que no producen concentración, pudiéndose subdividir en función de varios criterios, como el tipo o naturaleza del absorbedor, la forma geométrica, etc.

Nosotros clasificaremos a los captadores sin concentración en función del rango de temperaturas de trabajo, que determina a su vez la aplicación concreta idónea para cada tipo.

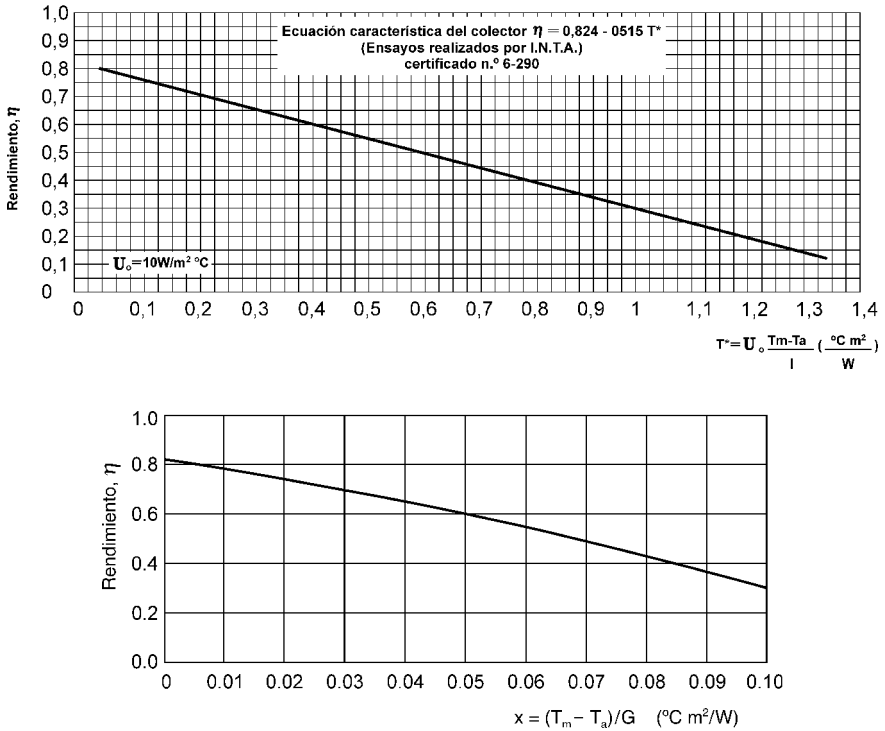
Primeramente, mencionemos los captadores sin cubierta, en los que el elemento absorbedor es el propio cuerpo del captador, y suele ser de material plástico o de caucho. Son recomendables para aquellas aplicaciones en que la temperatura exigida no sea mayor de 35 °C, como por ejemplo el calentamiento de las piscinas.



*Fig. 3.6. Captador solar capaz de lograr un buen rendimiento incluso a temperaturas superiores a 60 °C, mediante unos reflectores cilindro-parabólicos ubicados bajo el serpentín absorbedor. (Cortesía de DISOL).*

El simple hecho de dotar a los captadores de una cubierta transparente, lo que requiere la existencia de una carcasa rígida, aumenta la eficiencia de la conversión térmica de la energía solar, fundamentalmente por dos razones:

En primer lugar, por el conocido «efecto invernadero» provocado por la cubierta, que impide que la radiación reemitida por el absorbedor cuando se calienta se pierda en el exterior y, en segundo lugar, por la protección que ésta da al absorbedor, aislándolo del medio ambiente y evitando que el viento pueda robarle el calor que la radiación solar aporta.



*Fig. 3.7. Gráficos normalizados que expresan el rendimiento de un determinado captador solar térmico en función de la temperatura y la intensidad radiante, según los ensayos llevados a cabo en dos laboratorios distintos, utilizando en el primer caso una ecuación lineal y en el segundo una ecuación de segundo grado según la norma EN 12975-2.*

Existe una gama más o menos variada de captadores con cubierta, aptos para una temperatura de trabajo que oscila entre los 30 °C y los 90 °C. El absorbedor debe ser metálico o de vidrio, ya que las temperaturas alcanzadas no son apropiadas para la mayoría de los demás materiales, y a menudo está recubierto de sustancias especiales para lograr una mayor eficiencia. Normalmente el absorbedor es una placa plana (de ahí el nombre de *captador plano* o *de placa plana*), aunque puede ser también un conjunto de elementos tubulares. En algunos modelos de captadores,



denominados *de vacío*, el absorbedor está formado por unos tubos de vidrio de los que se ha extraído el aire para evitar pérdidas caloríficas por conducción y convección, dentro de los cuales existen otros elementos absorbedores que calientan un líquido especialmente concebido para este fin. Este tipo de captadores de vacío es el único capaz de proporcionar, sin concentración, temperaturas relativamente elevadas (80 °C o más), aptas para determinados procesos industriales y para la calefacción mediante radiadores convencionales.

Los captadores de vacío son todavía dispositivos caros y delicados, y aunque es probable que con el tiempo su uso se generalice, por el momento su campo de aplicación es limitado. Para los casos en los que se requiere agua caliente a temperatura entre 40 °C y 70 °C, que constituyen la inmensa mayoría de las aplicaciones domésticas y del sector hotelero, hospitalario y otros servicios, los captadores planos normales son los que mejor consiguen el trinomio calidad-eficiencia-precio. Por otra parte, estos captadores están bastante experimentados, los fabricantes ofrecen largos períodos de garantía y su mantenimiento es mínimo, razón por la que suelen ser preferidos por los usuarios.

### *Aplicaciones idóneas*

Una de las claves del éxito de la utilización de la energía solar consiste precisamente en la elección de la aplicación adecuada, con la tecnología adecuada y en el lugar o zona adecuados. Por el contrario, la falta de información entre usuarios o la escasa profesionalidad de algunos instaladores, han llegado a intentar obtener de la energía solar aquello que sobrepasa sus limitaciones, conduciendo inevitablemente la mayoría de las veces al fracaso.

La experiencia obtenida durante las tres últimas décadas, evaluando y observando el comportamiento de instalaciones de energía solar de todo tipo, nos ha permitido enumerar de forma bastante precisa aquellas aplicaciones concretas en las que es recomendable y práctico hacer intervenir a la energía solar, bien como energía única, o bien

apoyada por algún tipo de energía convencional, así como desaconsejar, al menos por el momento, su utilización en otras aplicaciones.

Comenzaremos por la conversión térmica a baja temperatura, cuya aplicación más idónea es, sin duda alguna, la obtención de agua caliente para diversos usos.

El agua caliente consumida en usos higiénicos y sanitarios, tanto a nivel doméstico (vivienda unifamiliar o plurifamiliar), como para otras colectividades (hoteles, hospitales, residencias, instalaciones deportivas, etc.), puede ser obtenida en una gran proporción mediante un sistema de captadores planos.



*Fig. 3.8. Instalación térmica con un total de 252 captadores y 20 000 litros de acumulación.*

Únicamente en regiones de muy abundante nubosidad y escaso soleamiento puede no ser rentable la inversión en una instalación solar para agua caliente sanitaria. En cualquier otro caso, la inversión se amortiza merced a la autonomía que proporciona y al ahorro de energía convencional.

Dependiendo fundamentalmente de las condiciones ambientales, pero también de otros factores, como el perfil del consumo, normalmente la aportación de la energía solar viene a suponer entre un 40 % y un 80 % de las necesidades energéticas totales.

Aunque, aumentando el número de captadores y el volumen del acumulador, pueden obtenerse mayores porcentajes, no es rentable hacerlo, pues a partir de un cierto valor, un pequeño aumento en la aportación solar requiere un aumento de la inversión, no justificado por el mayor ahorro que se puede esperar obtener. Así pues, existe un punto óptimo, o más propiamente, un intervalo óptimo, en el que el ahorro es considerable y la inversión razonable, de forma que en pocos años pueda ser amortizada. Aun así, y puesto que el precio de las energías convencionales que se supone van a ser sustituidas por la energía solar no es actualmente muy alto, los cálculos estrictamente económicos nos llevan a periodos de amortización que pueden parecer elevados (típicamente entre 5 y 10 años), por lo que la decisión de efectuar una instalación solar para agua caliente sanitaria debe apoyarse, además, en otras consideraciones no menos importantes: autonomía energética y respeto ecológico.



*Fig. 3.9. Por lo general, media docena de captadores de unos 2 m<sup>2</sup> cada uno son suficientes para proveer de abundante agua caliente a una vivienda unifamiliar de tamaño grande.*

El porcentaje de energía necesaria para calentar el agua que no logra ser satisfecho por la energía solar —que corresponde al agua consumida en los períodos de nubosidad— debe ser aportado por alguna fuente de energía convencional (electricidad, gas, combustible líquido, etc.), integrada en la propia instalación solar o independiente de ella.

No obstante, es admisible, e incluso recomendable, prescindir totalmente de la energía auxiliar en determinados casos, entre los que citaremos:

- En las instalaciones para agua caliente doméstica en zonas de climas muy benignos (por ejemplo: Canarias, Costa del Sol, etc.) en los que la nubosidad es escasa y la temperatura del agua de red relativamente suave.
- En instalaciones para proporcionar agua caliente en edificios públicos o de oficinas, destinada exclusivamente al aseo de los empleados y a la limpieza.

Un control efectuado en un edificio de Madrid, sede de una empresa en la que trabajan diariamente trescientos cincuenta empleados, demuestra que más del 90 % del agua caliente es empleada en el lavado de manos, por lo que no resulta demasiado incómodo el que durante determinados días del año el agua no alcance los 35 °C habituales, o incluso esté totalmente fría.

Una típica instalación para agua caliente doméstica en una vivienda unifamiliar situada en un clima medio puede reducir a una tercera parte el importe del recibo de energía auxiliar por el calentamiento del agua, lo que sin duda alguna constituye un buen estímulo para el usuario.

En los edificios plurifamiliares la rentabilidad deberá ser mayor, pues siempre es más económica una instalación centralizada, dotada de uno o dos grandes acumuladores, que muchas instalaciones individuales. Sin embargo, problemas de espacio y de adaptación a la arquitectura existente hacen difícil en muchos casos la adecuación de una instalación solar a un edificio ya construido, siendo fundamental que el

arquitecto considere en la fase de proyecto de la construcción al menos la posibilidad futura de ubicar un sistema de energía solar.



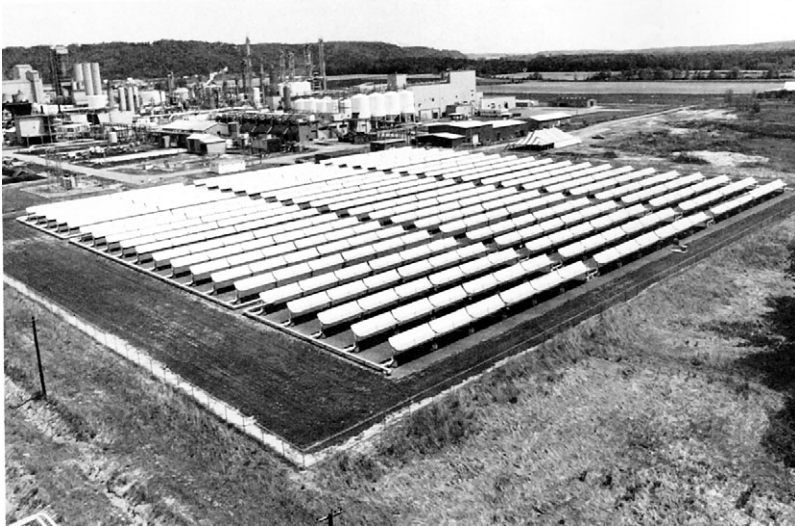
*Fig. 3.10. Instalación de captadores planos, que suministra agua caliente a todos los servicios de un polideportivo.*

Los colegios, residencias, hoteles, complejos deportivos, etc. constituyen otro campo de aplicación excelente de la energía solar térmica, dada la considerable cantidad de agua caliente que necesitan. Al ahorro obtenido, se añade el indudable valor didáctico que estas instalaciones poseen y la favorable impresión que producen en el público en general.

Otro extenso campo de aplicación de la conversión térmica de la energía solar son los procesos industriales en los que se necesita agua caliente en abundancia.

Dependiendo de la temperatura requerida, ésta puede ser obtenida mediante los captadores solares exclusivamente o con ayuda de una energía convencional, a la que la energía solar sustituiría al menos parcialmente y que pasaría a actuar como energía auxiliar.

En las lavanderías, donde se suelen gastar diariamente varios miles de litros de agua caliente, el precalentamiento solar supone un ahorro considerable, siendo éste uno de los casos en los que hemos observado amortizaciones más rápidas.



*Fig. 3.11. Conjunto formado por 360 reflectores cilindro-parabólicos, que totalizan una superficie de 4680 m<sup>2</sup>. El fluido que circula a través de los tubos absorbedores, situados a lo largo de la línea focal de cada reflector, se calienta por efecto de la radiación solar concentrada, y es usado a su vez para producir vapor, el cual se transporta hasta la planta industrial que se observa tras el campo de captadores. (U.S. Steel Chemical Plant, Ohio, USA).*

Existen multitud de procesos industriales en los sectores químicos, de alimentación, tratamiento de residuos, etc., en los que se precisa agua a distintas temperaturas. En el rango entre los 60 °C y 80 °C encuentran una aplicación idónea los captadores de vacío, que son los únicos que, sin concentración, pueden alcanzar y mantener estas temperaturas.

Una instalación de captadores de concentración no se justifica, a menos que se necesite un volumen mensual de agua muy caliente (o de algún otro fluido) superior a unos 500 m<sup>3</sup>.

En el medio rural y agrícola la energía solar térmica puede tener incluso mayor interés que en el medio urbano, debido a que la disponibilidad de energía convencional suele resultar más problemática que en la ciudad. Además, en las granjas no existen dificultades de espacio, por lo que una instalación solar no resulta incómoda en ningún caso, pudiendo proporcionar una autonomía considerable.

La climatización de las piscinas, bien sean para mero disfrute o para uso terapéutico, constituye posiblemente la aplicación más rentable, dada la gran cantidad de energía convencional que requiere el mantenimiento de una temperatura agradable (entre 26 °C y 30 °C), excepto en los meses tradicionalmente calurosos. Además, cada vez en más países, la legislación prohíbe gastar energía convencional para calentar piscinas privadas de uso meramente deportivo o recreativo.

Para la climatización de las piscinas no se recomienda utilizar captadores con cubierta, dada la baja temperatura que se necesita obtener, sino captadores de plástico o goma sin ningún tipo de cubierta ni carcasa, lo que abarata considerablemente el metro cuadrado instalado. Aunque la superficie de captadores necesaria es bastante alta (según la zona climática y el período de utilización de la piscina, puede oscilar entre el 50 % y el 150 % de la propia área de la piscina), se puede lograr una considerable reducción del número de captadores instalados utilizando una *manta solar*, formada por un material aislante, para recubrir la piscina por la noche, evitando las pérdidas de calor.

Muchos potenciales clientes que se dirigen a un instalador o especialista en energía solar preguntan si sería posible ahorrar en la calefacción de sus viviendas haciendo uso de captadores solares.

Es preciso responder a esta posible y frecuente pregunta de forma categórica, conforme a las limitaciones propias de la actual tecnología de conversión solar térmica, y evitar así crear falsas expectativas.

Las dificultades para conseguir acumulaciones térmicas superiores a las 48 horas y la necesidad de disponer de calefacción durante todos los días fríos, sin excepción, que precisamente suelen coincidir con los periodos de menor soleamiento, hacen que únicamente recomendemos este tipo de instalaciones en casos muy determinados, entre los que citaremos:

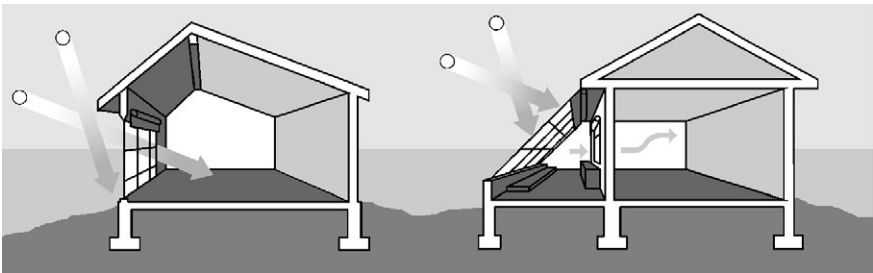
- Residencias y establecimientos hoteleros de zonas con un elevado número de horas de sol en invierno, aunque con temperaturas bajas. Un típico ejemplo podría ser la zona de Sierra Nevada (Granada).
- Edificios con un alto grado de aislamiento térmico, donde no existan problemas de espacio para la ubicación de los captadores y con facilidad para el mantenimiento y control de la instalación (por ejemplo: industrias, centros de enseñanza, etc.), siempre que estén situados en regiones frías pero soleadas.
- Proyectos de construcción en los que esté previsto un gran sistema de energía solar para otros usos (agua caliente, climatización de piscinas, etc.), en los que, sin existir problemas de espacio, pueda ampliarse con relativa facilidad para cubrir parcialmente las necesidades de calefacción.
- Cuando se proyecte o ya exista un sistema de calefacción mediante *suelo radiante* con una energía convencional puede resultar interesante interconectar dicho sistema con otro solar. La instalación solar, además de proporcionar el agua caliente necesaria para el consumo, podría ahorrar una apreciable cantidad de energía, al aprovechar el calor sobrante para



mantener el circuito del suelo radiante a la temperatura requerida. Como éste es el único sistema de calefacción que requiere temperaturas del fluido caloportador de solamente unos cuarenta grados centígrados, resulta perfecto para combinarlo con captadores solares planos, los cuales a esa temperatura ofrecen un excelente rendimiento.

Posiblemente el sistema de calefacción por suelo radiante se extienda progresivamente en edificios y viviendas de nueva construcción, posibilitando también la utilización paralela de la energía solar.

Fuera de estos casos concretos, la mejor forma de ahorrar en calefacción aprovechando la energía solar es hacer uso de la llamada *energía solar pasiva*, es decir, aquella que penetra de forma natural por ventanas y cristales convenientemente orientados, y evitando al máximo la pérdida de calor, extremando el aislamiento y tomando todas las medidas posibles (doble ventana o al menos doble vidrio, carpintería exterior no metálica, aislamiento de cubiertas, etc.).



*Fig. 3.12. Una simple modificación en el diseño de una vivienda puede mejorar considerablemente el aprovechamiento solar pasivo de la misma. El proyecto de la derecha aprovecha mejor la energía solar incidente de forma natural, siendo más adecuado para climas fríos.*

Por último, y ya para terminar con la enumeración de las aplicaciones térmicas de la energía solar que son o pueden ser a corto plazo interesantes, quizás se deba mencionar las que utilizan *captadores de aire* en vez de captadores de líquido. Dichos captadores son mucho más económicos que los de líquido y presentan menos problemas, ya que no hay que preocuparse de las fugas o de la posible congelación.

Se han utilizado con cierto éxito en procesos de secado agrícola o industrial, donde se precisan grandes volúmenes de aire sobrecalentado (por ejemplo, en los procesos del secado de tabaco o de la madera). Sin embargo, y dado que la obtención de grandes volúmenes de aire requiere también un gran número de captadores, parece ser que la solución más lógica sería la construcción de cámaras de secado que en sí mismas sean verdaderos captadores, esto es, que aprovechen la energía solar pasiva, al igual que lo hacen muchos edificios convenientemente orientados y acristalados.

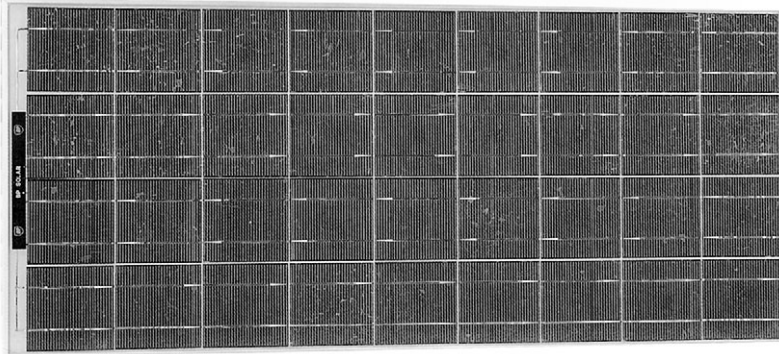
### Electricidad solar

En el año 1954 la firma estadounidense Bell Laboratories produjo los primeros *módulos fotovoltaicos*.

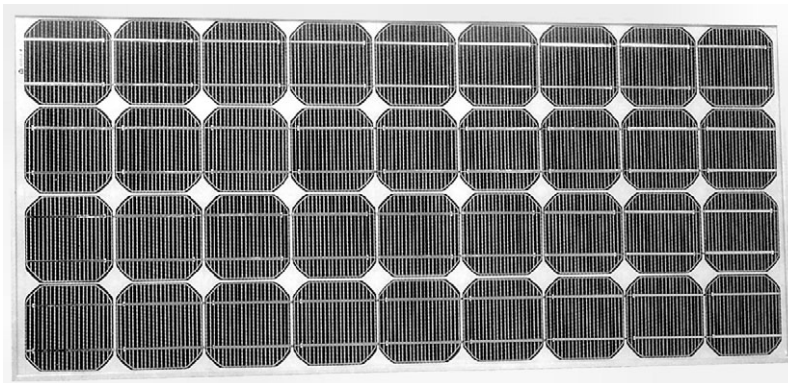
Estos dispositivos, formados por un conjunto de *células fotovoltaicas* fabricadas a partir de ciertos materiales semiconductores, en su mayor parte silicio, aprovechan el fenómeno conocido en física como *efecto fotovoltaico*, cuyas consecuencias son realmente impresionantes.

El módulo fotovoltaico es un rectángulo plano sin parte móvil alguna y de construcción muy simple, ya que prácticamente no consta nada más que de células fotovoltaicas convenientemente interconectadas, capaz de suministrar de forma ininterrumpida y permanente, sin sufrir desgaste ni apenas envejecimiento, una diferencia de potencial o voltaje, con el único requisito de ser expuesto a la radiación electromagnética comprendida entre ciertas longitudes de onda, en particular a la luz solar.

Esta diferencia de potencial permite mantener una corriente eléctrica continua, cuya intensidad es proporcional al área total de las células que forman el módulo solar y a la propia intensidad de la radiación incidente sobre éste.

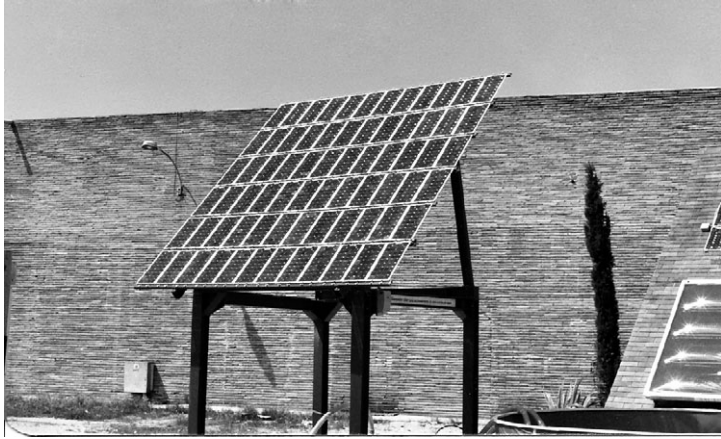


*Fig. 3.13. Módulo formado por 36 células cuadradas de silicio policristalino, capaz de suministrar una potencia de 70 vatios, con una intensidad de 4,35 amperios. Sus dimensiones son  $120 \times 53 \times 3,8$  centímetros y pesa unos 7,5 kg. Puede funcionar aceptablemente en un rango de temperaturas desde  $55^\circ\text{C}$  bajo cero hasta  $90^\circ\text{C}$ . (Cortesía de BP Solar España, S.A.).*



*Fig. 3.14. Este módulo, con 36 células de silicio monocristalino conectadas en serie, proporciona una potencia máxima de 55 vatios. (Cortesía de BP Solar España, S.A.).*

Las ventajas de esta forma limpia, silenciosa y gratuita de producción de electricidad son evidentes si se la compara con otros procedimientos tradicionales, por ejemplo con los generadores accionados por ruidosos motores, que consumen combustible y contaminan.

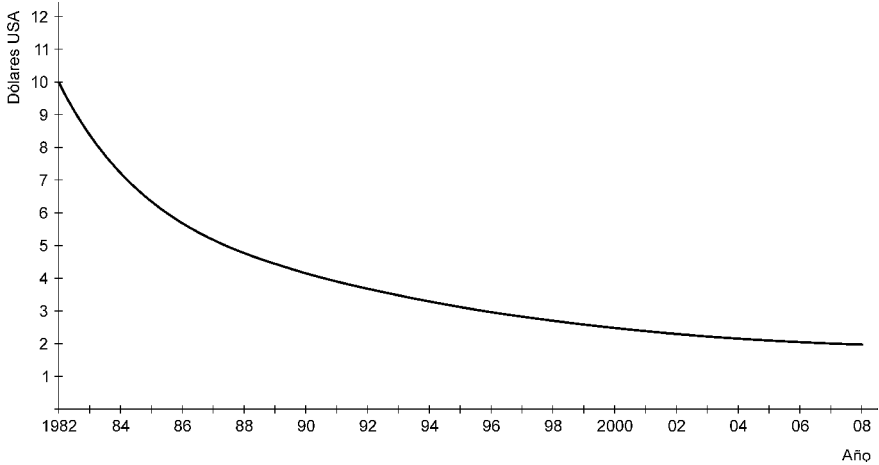


*Fig. 3.15. Conjunto formado por 72 módulos fotovoltaicos.*

Generalmente, en función del número de células y de las características de las mismas, un módulo fotovoltaico produce una corriente de bajo voltaje (6, 12, 24 ó 48 voltios), pero se puede obtener cualquier valor deseado combinando adecuadamente varios módulos.

Es preciso mencionar que existen dos aspectos negativos en relación con la utilización de módulos fotovoltaicos.

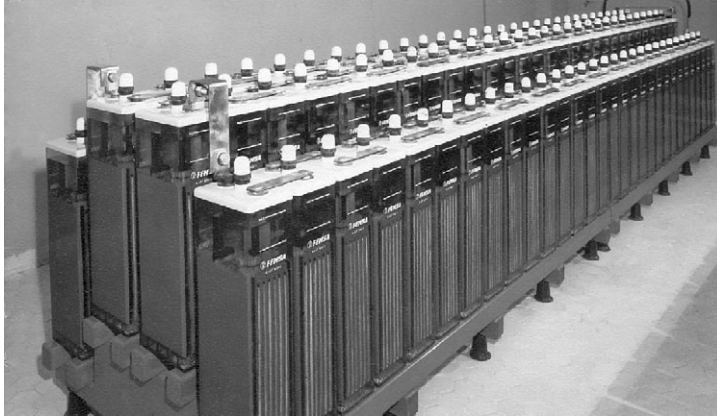
El primero de ellos es su elevado precio. A pesar de la considerable reducción del coste por vatio de potencia generada, tendencia que parece seguir manteniéndose, siendo en la actualidad (año 2009) de alrededor de 2 dólares, la inversión inicial necesaria para obtener una potencia semejante a la producida por un equipo electrogenerador de motor es considerablemente mayor.



*Fig. 3.16. Evolución del precio medio, en dólares USA, del vatio de potencia de un módulo fotovoltaico de calidad estándar. Los precios están referidos a los ofertados por los fabricantes para pedidos al por mayor. El precio final de venta en el mercado minorista es considerablemente superior. Por ejemplo, en 2009 un particular puede adquirir un módulo de 60 vatios por unos 300 dólares.*

El segundo inconveniente es que, excepto en instalaciones de conexión a red, es necesario contar con una pesada batería de acumuladores para almacenar la energía generada durante las horas de sol, a fin de asegurar una autonomía suficiente, de varios días (a veces de varias semanas, según la aplicación concreta). El coste de los acumuladores de calidad es también bastante elevado, y además precisan siempre de un cierto grado de mantenimiento, así como una ubicación apropiada, no siempre disponible.

La vida esperada de los módulos fotovoltaicos es teóricamente ilimitada —en la práctica se suele asignar un tiempo de vida de 30 años—, pero la de los acumuladores no lo es. Suele oscilar entre los 5 y los 15 años, dependiendo no solamente de los tipos o modelos concretos, sino de las condiciones de trabajo a que están sometidos, que son distintas de unas instalaciones a otras, lo que obliga a realizar una segunda inversión a medio plazo.



*Fig. 3.17. Batería de acumuladores estacionarios, con una gran capacidad de almacenamiento.*

Desde hace aproximadamente una década, han comenzado a instalarse módulos fotovoltaicos en viviendas e industrias que ya disponen de energía eléctrica proveniente de la red general. En este caso, se elimina totalmente la necesidad de utilizar acumuladores, ya que la propia red suministrará la energía eléctrica necesaria cuando los módulos no puedan hacerlo.

La idea es que la energía fotovoltaica sustituya a la de la red en la mayor proporción posible, cuando la intensidad de radiación sea suficiente.

Si la potencia consumida en un instante dado no sobrepasa a la potencia suministrada por los módulos, toda la energía consumida será solar, y no habrá necesidad de gastar energía de red (que es la que hay que pagar). Si la demanda es tal que la energía solar no es suficiente para satisfacerla totalmente, se recurrirá a la red para extraer la cantidad de energía que falte. En las horas nocturnas o períodos sin sol, lógicamente todo el consumo será satisfecho por la red, al igual que en cualquier sistema convencional.

Lo verdaderamente interesante de este sistema es la posibilidad de que, siempre que los módulos estén produciendo más energía que la

que en ese momento se esté consumiendo, la energía sobrante puede ser inyectada a la red, para ser distribuida a través de la misma.

En muchos países, entre ellos España, se obliga a que la totalidad de la energía generada por una instalación conectada a la red sea vertida íntegramente a ésta, puesto que existe una prima a la producción de energía fotovoltaica y resulta mucho más ventajoso para el propietario de la instalación vender su producción íntegra a la Compañía de Electricidad que consumirla.

Este tipo de instalaciones, llamadas *de conexión a red*, requieren un dispositivo o interfase módulos-red, que es un inversor de características especiales, pues debe ser capaz, no solamente de convertir la corriente continua generada por los módulos en corriente alterna de frecuencia y voltaje idénticas a las de la red, sino de cumplir un conjunto de funciones de control y seguridad, así como responder sin fallos ante cualquier fluctuación de la corriente.

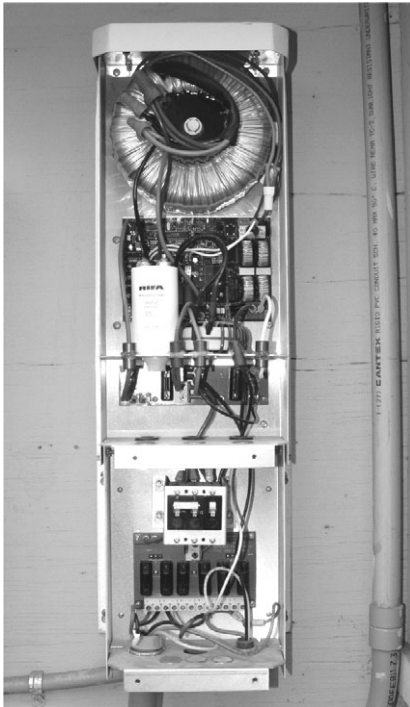


*Fig. 3.18. Aspecto exterior de un convertidor para conexión a red, capaz de recibir hasta un máximo de 4500 W de potencia procedente de los módulos.*

La elevada fiabilidad exigida a los inversores (más propiamente, *onduladores*) de red hacen que su precio sea considerable, lo que constituye un obstáculo para la difusión de este tipo de instalaciones.

Además, si se desea vender energía eléctrica a la red, será también necesario instalar un contador especial, de doble sentido, o bien dos contadores independientes, y establecer un acuerdo con la Compañía Eléctrica que, en este caso, actúa al mismo tiempo como cliente y proveedor del usuario, al igual que éste.

El progresivo abaratamiento de los módulos y los demás dispositivos necesarios, hacen posible predecir que en un futuro cercano, cualquiera podrá sacar buena rentabilidad de la superficie de su tejado o azotea, instalando módulos solares en el número que desee. Antes que esto sea posible, habrá que regular de forma más precisa las relaciones entre las Compañías Eléctricas y los usuarios-suministradores y, posiblemente, habrá que modificar normativas técnicas y legales, actualmente complejas y en muchos casos ambiguas.



*Fig. 3.19. Inversor de red, abierto para mostrar su interior.*

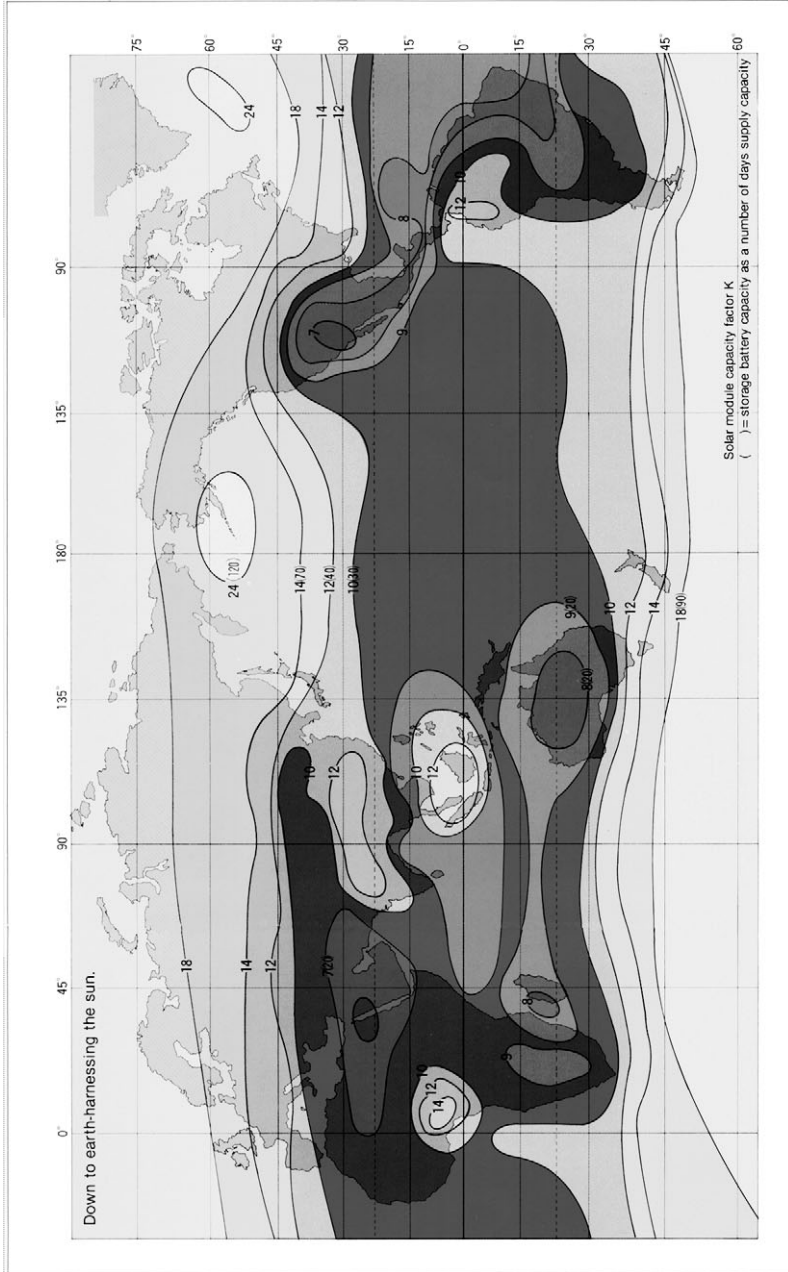




*Fig. 3.20. La atmósfera, la humedad, el polvo y, sobre todo, las nubes hacen que la energía solar neta que llega al suelo sea sólo una parte de la teóricamente posible.*



*Fig. 3.21. Integración de la energía solar en una vivienda rural.*



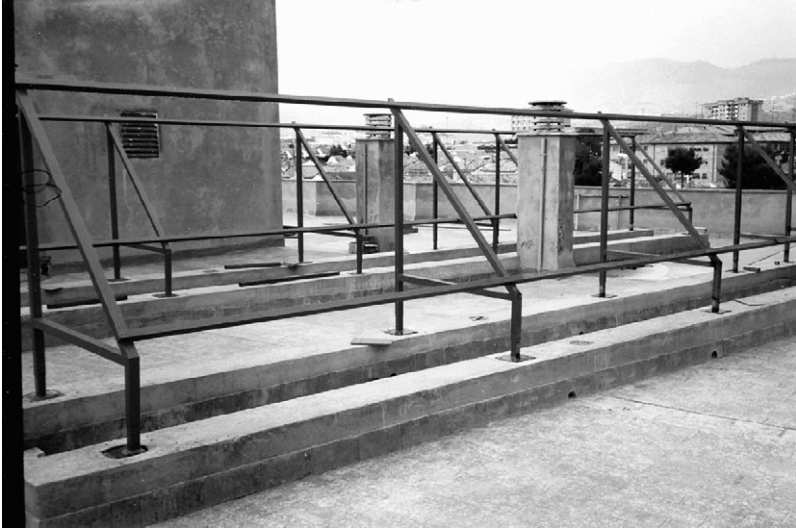
↩ Fig. 3.22. Mapa que representa las diferentes zonas del mundo en función de la cantidad de energía solar que reciben. Las cifras expresan el número de módulos necesarios para cubrir unas determinadas necesidades energéticas. Dicho número es, lógicamente, mayor cuanto menor sea la incidencia solar de la zona. La cifra entre paréntesis representa la capacidad relativa de la batería de acumuladores necesaria para asegurar un cierto periodo de autonomía de consumo, en el supuesto de instalaciones fotovoltaicas. Los valores son orientativos y no tienen validez a efectos de cálculo.



Fig. 3.23. Captador solar de diseño avanzado, en el que la energía térmica es transportada por una mezcla de agua y alcohol, gracias a un «efecto géiser». (Cortesía de Sage Advance Corporation).



*Fig. 3.24. Absorbedor (arriba) y captador solar completo (abajo). (Cortesía de Rand Energy Systems).*



*Fig. 3.25. Estructura metálica en fase de preparación para recibir los captadores. El ángulo de inclinación ha de ser el adecuado a la latitud del lugar y a los usos que va a tener la energía térmica captada.*



*Fig. 3.26. Instalación clásica, en cubierta de edificio, de captadores planos para producción de agua caliente.*



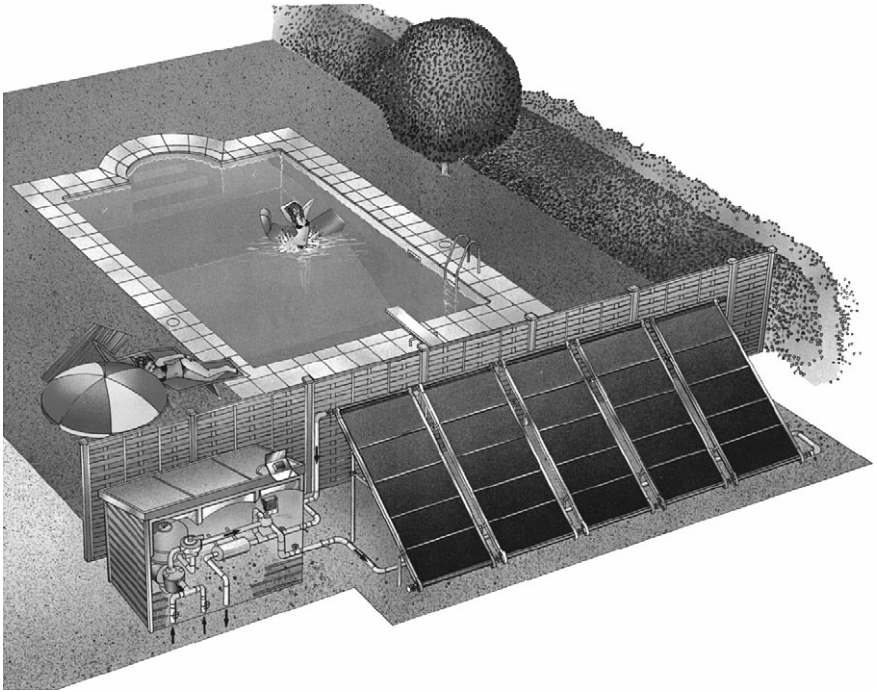
*Fig. 3.27. Captador con absorbedor de aluminio y tubo de cobre, y corte transversal mostrando el detalle de la unión del tubo y la placa absorbadora.*



*Fig. 3.28. Los captadores solares térmicos, si se disponen de forma conveniente sobre los tejados, no resultan de ningún modo antiestéticos, como puede comprobarse en la foto.*



*Fig. 3.29. El mejor momento de acometer el montaje de una instalación solar es durante la fase final de la construcción de la vivienda.*



*Fig. 3.30. Dibujo de una instalación para calentamiento de piscinas, en el que se muestran los diversos accesorios.*



*Fig. 3.31. Captadores solares de polipropileno negro. (Cortesía de Europea de Técnicas Ambientales, S.L.).*





*Fig. 3.32. Las piscinas unifamiliares de pequeño tamaño son ideales para ser caldeadas mediante captadores solares, ya que éstos pueden disponerse en un rincón del jardín, a modo de cobertizo, proporcionando también una agradable zona de sombra.*



*Fig. 3.33. Una vivienda alimentada con energía solar. Los captadores de la parte superior, casi horizontales, proporcionan agua caliente y calefacción, y los módulos fotovoltaicos (inclinados), electricidad.*



*Fig. 3.34. Los captadores planos se adaptan bastante bien a las cubiertas inclinadas de muchas construcciones en zonas de montaña, e incluso sirven de protección y aislante térmico del edificio.*



*Fig. 3.35. Diversas disposiciones de captadores térmicos instalados en viviendas unifamiliares.*



*Fig. 3.36. Instalación que suministra agua caliente a un pequeño establecimiento comercial y a dos plantas situadas en el mismo edificio.*



*Fig. 3.37. Conjunto de captadores planos instalados en el suelo, que proveen de agua caliente a una pequeña industria rural.*



**Fig. 3.38.** *Proceso del montaje de captadores flexibles, que se presentan en rollos de gran longitud y son más económicos que los captadores con cubierta.*



**Fig. 3.39.** *En esta fotografía puede compararse la superficie total que ocupan los captadores necesarios para mantener templada el agua de una piscina al aire libre, con la propia área de ésta.*



*Fig. 3.40. Concentrador solar con motor termodinámico, capaz de producir una potencia eléctrica neta de 1380 W utilizando una superficie especular de 6 m<sup>2</sup>.*



*Fig. 3.41. Cocina solar de fabricación artesanal.*



*Fig. 3.42. Pequeño captador-acumulador solar de 135 litros de capacidad, ideal para terrazas o jardines.*





*Fig. 3.43. Planta fotovoltaica capaz de generar una gran potencia. Los módulos son de células redondas, cada vez menos utilizadas.*

Los dos inconvenientes anteriormente citados, hacen que hoy día los sistemas autónomos de generación de electricidad por medio de módulos solares fotovoltaicos todavía no puedan competir en igualdad de condiciones en aquellos lugares donde ya llega la red de distribución eléctrica convencional, pues en estos casos, y por una cuota mensual relativamente moderada, puede obtenerse toda la potencia necesaria para los consumos habituales, pagando la energía realmente consumida.

Por el contrario, en aquellos lugares apartados de la red de distribución una cierta distancia (por ejemplo, medio kilómetro o más), la inversión necesaria para efectuar las obras que permitan la conexión con dicha red, puede ser bastante mayor que la precisa para disponer de un completo sistema fotovoltaico, con la ventaja, caso de elegir esta última opción, de que no existirá recibo alguno de consumo eléctrico durante toda la vida del sistema. Por lo tanto, es en estos supuestos donde se hace patente la competitividad de la electricidad fotovoltaica.



*Fig. 3.44. La energía fotovoltaica constituye la solución idónea para la electrificación básica de las viviendas en países poco desarrollados.*



*Fig. 3.45. Una de las aplicaciones de la electricidad fotovoltaica de más rápida extensión: la señalización de autopistas y carreteras.*

En cualquier caso, parece más lógico limitar todo lo posible la potencia eléctrica necesaria, aun a costa de suprimir o reducir ciertas comodidades, que efectuar instalaciones excesivamente grandes, ya que los costes, tanto iniciales como de mantenimiento, también crecerían.

### *Aplicaciones idóneas*

Por lo general, una instalación solar fotovoltaica autónoma será viable cuando se cumpla alguno de los siguientes supuestos:

- No existe red de distribución eléctrica general en las cercanías del lugar donde se necesita electricidad, siendo los costes del tendido de una línea al efecto de bastante consideración.

Teniendo en cuenta que, en función de las características del terreno por donde se pretenda proyectar la línea y de otros factores, el coste de un tendido eléctrico puede superar fácilmente los 50 dólares/metro, la inversión total necesaria para grandes distancias puede resultar prohibitiva.

- Las necesidades de electricidad se limitan a aspectos básicos (iluminación, extracción de agua, etc.), no requiriéndose mucha potencia.

No resulta viable en ningún caso recurrir a la electricidad solar para satisfacer consumos elevados, como el de algunos electrodomésticos que generan calor por efecto Joule (por ejemplo, lavadoras o lavavajillas automáticos), ni mucho menos para alimentar radiadores de calefacción eléctrica convencional.

- Se requiere una completa autonomía, con total independencia de la red de distribución general, a fin de cubrirse ante posibles fallos en el suministro. Éste sería el caso de instalaciones de telecomunicación, en las que el coste es un factor secundario frente a la seguridad de disposición de energía en cualquier circunstancia.

Hasta la fecha, y dejando aparte las instalaciones de conexión a red, el mayor campo de aplicación de la electricidad solar ha sido la denominada «electrificación primaria» de núcleos y viviendas rurales a los que no llega la red general.

En estos casos, la opción solar se decanta como la solución idónea para cubrir satisfactoriamente las necesidades de iluminación y otros usos esenciales de millones de viviendas en todo el mundo, especialmente en países poco desarrollados, aunque también en los países desarrollados constituye una alternativa excelente, económica y práctica.

Para satisfacer las necesidades básicas de una familia de tipo medio, en cuanto a disponibilidad de electricidad para iluminación, pequeños electrodomésticos y otros usos puntuales (como la extracción de agua mediante bombas eléctricas), no se requiere una potencia grande, bastando por lo general con un número de módulos de 50 ó 60 vatios comprendido entre 4 y 10, y una batería de acumuladores compactos de características adecuadas.

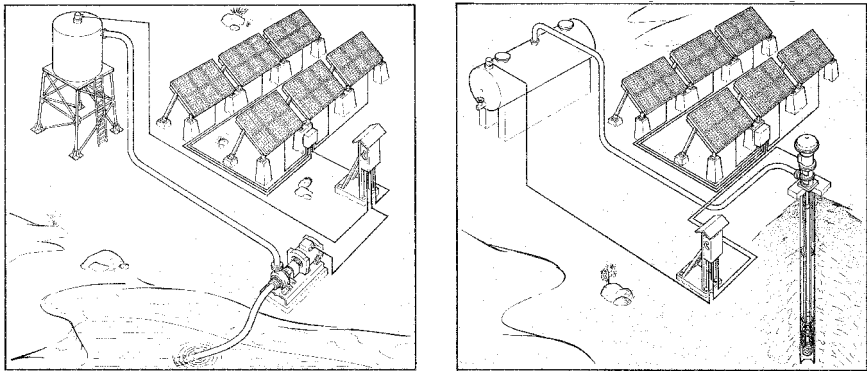
Aunque una potencia instalada de, digamos 200 W, puede parecer insignificante si la comparamos con la habitualmente contratada con las compañías suministradoras de electricidad de red en las viviendas totalmente electrificadas, es preciso tener en cuenta que si se prescinde de los electrodomésticos que utilizan resistencias para producir calor, y se hace un uso moderado de la energía eléctrica, además de utilizar para la iluminación lámparas de alto rendimiento (nunca bombillas de incandescencia), dicha potencia es suficiente en la mayoría de los casos para una vivienda pequeña en la que habiten tres o cuatro personas.

Como ejemplo típico de utilización de electricidad fotovoltaica, que no requiere necesariamente acumuladores (aunque también pueden utilizarse, simplemente para conseguir una mayor estabilidad de suministro al consumo), citaremos la extracción de agua de pozos para regadíos u otros fines.

Como el agua bombeada puede ser almacenada en depósitos de gran capacidad para ser utilizada con posterioridad cuando sea necesario, o de forma gradual, los módulos pueden ser conectados directamente a las bombas (siempre que éstas hayan sido proyectadas para poder trabajar en esas condiciones).

Durante las horas en que la intensidad solar es suficiente, las bombas extraerán agua continuamente, con un caudal aproximadamente proporcional a la intensidad solar que reciben los módulos. Cuando los depósitos se encuentren completamente llenos, un dispositivo mecánico anulará temporalmente el circuito módulos-bombas, a fin de evitar que éstas sigan funcionando innecesariamente.

El bombeo de agua constituye un recurso fundamental en climas secos o lugares apartados, en los que disponer de agua abundante siempre es problemático.



*Fig. 3.46. Instalación para bombeo de agua. En la de la parte derecha el agua ha de extraerse de un pozo profundo y por eso se utiliza una bomba de eje vertical, especialmente apta para estos casos.*



## 4

# INSTALACIONES FOTOTÉRMICAS

Son aquéllas, como su nombre indica, en que se aprovecha la conversión de la energía de los fotones solares en energía térmica, energía que generalmente es destinada al calentamiento de un fluido.

Vamos a describir brevemente los aspectos más significativos de dos de las más interesantes aplicaciones: la obtención de agua caliente para usos domésticos y la climatización de piscinas.

### **Obtención de agua caliente sanitaria**

En la figura 4.1 puede verse el esquema básico de una típica instalación de agua caliente sanitaria (abreviadamente A.C.S.) destinada a satisfacer las necesidades de una vivienda. En líneas generales, el sistema sería también válido para otros muchos usos industriales, y en general para aquellos supuestos en que se requiera agua a una temperatura comprendida entre los 30 °C y los 70 °C. Estos valores suelen definir los límites inferior y superior respectivamente del rango de aplicación de los captadores solares planos, que tan magníficos resultados han demostrado dar.

Los captadores han de fijarse sobre una estructura apropiada, orientada aproximadamente hacia el ecuador (esto es, hacia el sur si están situados en el hemisferio norte, y hacia el norte si estuviesen en el hemisferio sur).

La inclinación o ángulo con la horizontal con que deben disponerse es de fundamental importancia si se desea optimizar el rendimiento anual de la instalación.

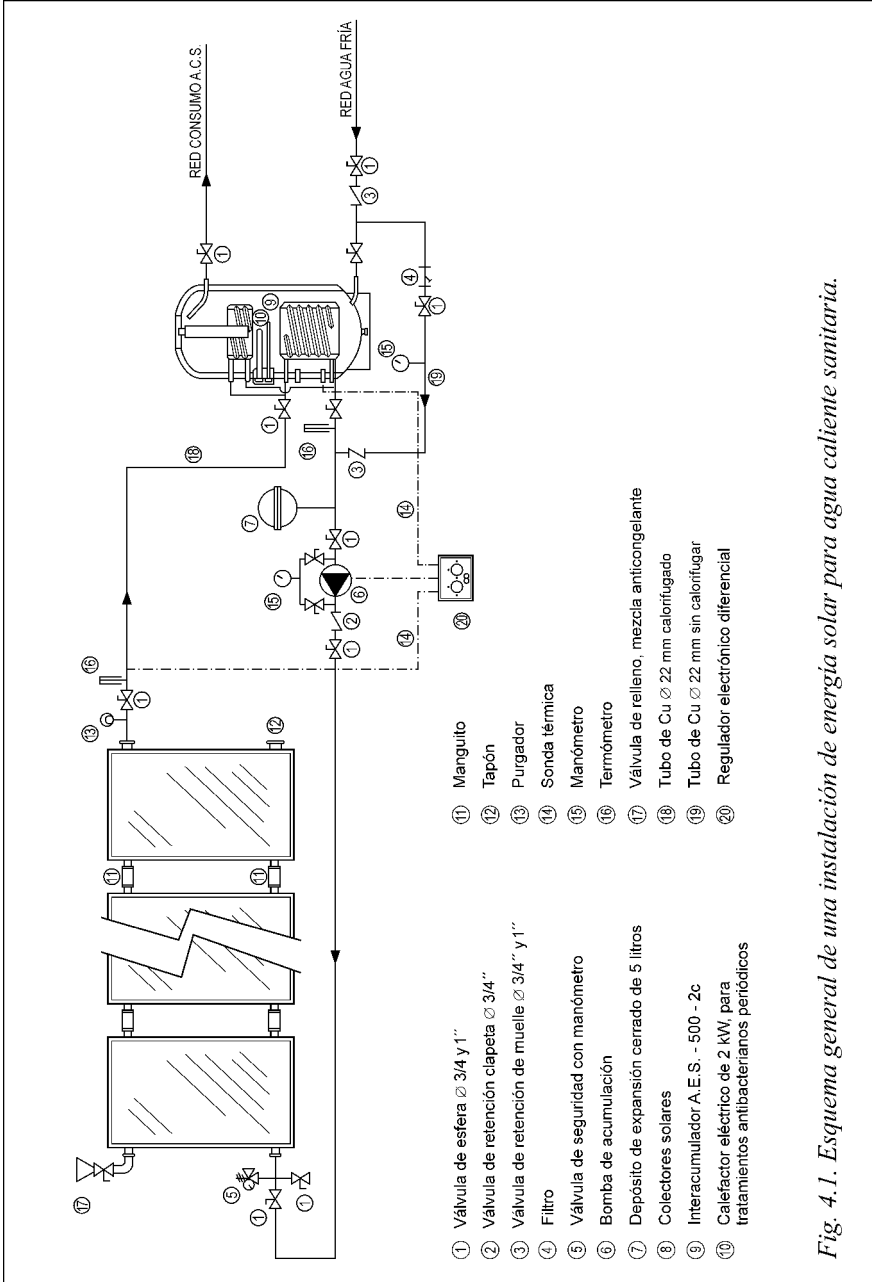


Fig. 4.1. Esquema general de una instalación de energía solar para agua caliente sanitaria.



La experiencia ha demostrado que es aconsejable una inclinación de aproximadamente unos  $10^\circ$  mayor que la latitud del lugar, tolerándose unos márgenes de  $\pm 15^\circ$ , en función de la época del año en que deseemos favorecer la captación. Así, una inclinación mayor favorecería la incidencia de los rayos en los meses invernales, y una menor aumentaría la energía recibida en primavera y verano (lo cual puede ser deseable en el caso de que se pretenda caldear una piscina).

En los lugares relativamente próximos al ecuador, cuya latitud esté comprendida entre  $-25^\circ$  y  $+25^\circ$ , los captadores se suelen instalar prácticamente horizontales, pues se suprime el coste de la estructura que se precisaría si se montasen inclinados.

### **Dimensionado de una instalación A.C.S.**

Lo primero que un futuro propietario de una instalación solar, o incluso un proyectista, debe preguntarse es si dicha instalación resulta, económicamente hablando, viable, esto es, debe tratar de averiguar si va a resultar rentable.

Para ello, debe conocer al menos de forma aproximada cuántos captadores serían necesarios, ya que dicho número va a ser el factor más indicativo (aunque no el único) del coste total.

Sin pretender en todo caso exponer aquí un método de cálculo preciso y específico para cada circunstancia —necesario, por otra parte, para cualquier proyecto de ingeniería solar—, el cual debe ser acometido por especialistas, utilizando los sistemas de cálculo y dimensionado adecuados (\*), sí puede llegarse a obtener una primera aproximación del número de metros cuadrados de captadores que serán necesarios para cubrir los requerimientos de A.C.S. para uso doméstico, admitiendo unos consumos medios normales o habituales (nunca excesivos) en una sociedad desarrollada.

---

(\*) CENSOLAR ha desarrollado un completo método de cálculo de la superficie captadora necesaria en instalaciones de calentamiento de agua y climatización de piscinas (disponible también en forma de software), que está siendo adoptado por las principales empresas y profesionales del sector en muchos países.

El método también supone que, como es lo habitual, se va a trabajar con captadores de placa plana de tipo medio, con absorbedor metálico y una cubierta transparente, y que han sido debidamente certificados por el correspondiente organismo oficial, lo que garantiza una calidad aceptable y un rendimiento superior a un cierto valor mínimo.

Dicho método, de muy sencilla aplicación, se basa en la estimación del denominado *Índice Solar (IS)* propio del lugar donde se vaya a ubicar la instalación, el cual se calcula sin más que sumar los valores parciales correspondientes a cada una de las cuatro entradas de la tabla siguiente:

**Tabla para el cálculo del Índice Solar (IS)**

<b>Tipo de viento predominante en la zona</b>	Fuerte	Moderado	Flojo	Despreciable o nulo
Valor parcial	0	0,5	1	1,5

<b>Soleamiento anual medio</b>	Muy escaso (Abundantes lluvias y mucha nubosidad)	Bastante nubosidad	Nubosidad media o variable	Escasez de nubes	Cielos despejados
Valor parcial	0	2	4	7	12

<b>Temperatura ambiente media</b>	Muy fría	Fría	Media (templada)	Calurosa	Muy calurosa
Valor parcial	0	1	1,5	2	3

<b>Temperatura media del agua de la red general</b>	Fría	Normal	Templada
Valor parcial	0	1	2

Naturalmente, al ser éste un método de simple estimación, muchas veces no se estará seguro si ha de elegirse el valor correspondiente a una casilla o a la adyacente. En estos casos puede optarse por un valor intermedio. Por ejemplo, para un clima típicamente caluroso y de cielos predominantemente despejados, como pudiera ser el de la provincia de Almería, puede adoptarse un valor para el soleamiento de 8 ó 9 (los valores de 11 ó 12 se reservan para condiciones límite, como las que pudieran darse en los desiertos del Sáhara o de Arabia).

Asimismo, para una localidad de montaña, en la que la temperatura del agua de red sea más bien fría, será razonable escoger un valor de 0,5 (entre 0 y 1) para el parámetro correspondiente.

Los valores expresados en la tabla carecen en sí mismos de un equivalente físico concreto y únicamente representan una medida relativa de las condiciones climáticas del lugar o zona, utilizando una escala arbitraria definida por la experiencia. Son pues, valores empíricos, para ser estimados, y no para ser calculados de forma precisa.

La suma de los cuatro valores parciales elegidos en cada una de las líneas de la tabla es lo que denominamos Índice Solar (IS) del lugar.

*Ejemplo:*

Consideremos una localidad como Madrid, que puede calificarse de clima «normal» (calor en verano y frío en invierno, aunque no extremados, y soleamiento suficiente). La experiencia nos conduce a elegir los siguientes valores:

	Valor
Tipo de viento: Flojo	1
Soleamiento: Medio, tendiendo a alto	5,5
Temperatura ambiental: Templada	1,5
Temperatura del agua de red: Normal	1
SUMA (IS) = 9	

Valores típicamente medios para el Índice Solar son 7 y 8, que corresponden a la suma de los valores intermedios de los cuatro índices parciales.

Una zona determinada se considera desfavorable para una instalación solar térmica si su Índice Solar no llega a 5. Si, por el contrario, dicho índice es igual o superior a 10, la zona es excepcionalmente favorable y, en este caso, una instalación resultará, en general, totalmente viable.

La utilidad de la determinación del Índice Solar está también en que, *si dividimos el número 10 entre dicho índice, el resultado da directamente el número de metros cuadrados de captadores que serán necesarios para satisfacer los requerimientos de A.C.S. de una persona*. Basta pues multiplicar por el número de personas que habitan la vivienda para conocer la superficie total que será necesaria instalar y, por tanto, poder evaluar el coste de los captadores.

*Ejemplo:*

¿Cuántos captadores planos de 175 cm de largo y 80 cm de ancho se precisarán para dotar de agua caliente a una vivienda situada en la provincia de Soria en la que habitan los padres y cuatro hijos?

Consultando las condiciones climáticas de Soria, elegimos los siguientes valores:

	Valor
Viento de moderado a flojo	0,75
Soleamiento variable	4
Temperatura ambiente fría	1
Temperatura de red normal	1
SUMA (IS) =	6,75

Y el número de metros cuadrados necesarios por cada persona es:

$$10/6,75 \approx 1,48 \text{ m}^2$$

Como viven 6 personas, se necesitará una superficie total  $S$  de:

$$S = 1,48 \times 6 = 8,88 \text{ m}^2$$

Cada captador tiene un área de  $1,4 \text{ m}^2$  ( $1,75 \times 0,8$ ), por tanto:

$$\text{Número de captadores necesarios} = 8,88/1,4 = 6,34$$

Es decir, seis o siete captadores serán, en principio, suficientes.

Lógicamente, el número de captadores obtenido por este método tan simple puede ser ligeramente modificado, a fin de tener en cuenta alguna otra circunstancia que así lo aconseje, como la mayor o menor limpieza atmosférica, las características temporales del consumo, etc.

En cualquier caso, un proyecto en regla requiere la utilización de un método de cálculo más preciso, en el que se tenga en cuenta la variación a lo largo de los 12 meses del año de todas las magnitudes que realmente intervienen en el proceso de aprovechamiento de la energía (consumo, energía incidente, temperatura ambiente durante las horas de sol y temperatura de red), así como conocer la ecuación del rendimiento del captador, la inclinación y orientación del mismo, etc.



*Fig. 4.2. Instalación casera de cuatro captadores planos, montados en la terraza de una vivienda unifamiliar.*

Conviene aclarar que con el sistema de dimensionado anteriormente expuesto no se pretende lograr que la energía solar cubra el 100 % de las necesidades anuales, lo que sería imposible de conseguir en la práctica, sino alcanzar un porcentaje razonable (normalmente en torno al 70%), pues ésta es la mejor forma de rentabilizar la utilización de la energía solar.

Lo normal es prescindir casi totalmente de la energía de apoyo durante el período desde marzo a octubre (en el hemisferio norte) y procurar utilizarla lo menos posible durante los restantes meses. Aun así, hay que advertir que si se prescinde de instalar otra fuente de energía complementaria a la solar (gas, electricidad, etc.), se habrá de renunciar a disponer de agua caliente durante un cierto número de días al año. Sobredimensionar la superficie captadora y el volumen de acumulación para tener una reserva de agua mayor resulta en general antieconómico.

Una vez se ha determinado el número de captadores que van a ser necesarios es preciso elegir bien el acumulador, el cual ha de ser especialmente diseñado para utilizarse con energía solar, ya que no todos los modelos existentes en el mercado de acumuladores convencionales son aptos.



*Fig. 4.3. El sector hotelero será uno de los más beneficiados de la gratuidad de la energía solar, dado el considerable volumen de agua caliente que se consume en residencias, apartamentos y hoteles.*

Es aconsejable que el volumen total del agua acumulada sea, al menos, igual al volumen medio consumido durante un período de 24 horas.

Para evaluar dicho consumo, es preciso tener en cuenta los hábitos de los ocupantes de la vivienda. Una norma aceptable es calcular a razón de 50 ó 60 litros de agua por persona y día. Así, un acumulador de 300 litros sería adecuado para una vivienda en la que habiten cuatro o cinco personas y, en caso de presentarse un día nublado, permitiría disfrutar del agua caliente acumulada durante el día anterior.

Otro pequeño pero casi imprescindible elemento en toda instalación solar, con excepción de aquellas realizadas con equipos compactos que funcionan por termosifón, es la bomba de circulación. Ésta deberá ser siempre de una marca acreditada, bastando por lo general elegir una entre la gama de las de pequeña potencia.



*Fig. 4.4. Bombas de circulación utilizadas habitualmente en instalaciones térmicas de energía solar, a fin de impulsar el fluido caloportador y hacer que éste circule a través de los captadores.*

Para una instalación unifamiliar bastaría con un electrocirculador de unos 30 vatios de potencia, incrementándose gradualmente ésta a medida que la instalación es mayor.

Si se desea asegurar la continuidad en la disponibilidad de agua caliente durante los períodos sin sol, especialmente en invierno, es preciso disponer de una fuente de energía auxiliar. Las dos opciones más utilizadas son la electricidad y el gas.

El gas resulta más económico, y tiene la ventaja de poderse instalar mediante una simple caldera mural, situada en línea con el acumulador solar para que pueda recibir el agua precalentada procedente de éste.

Durante los días en que la energía solar incidente basta por sí sola para calentar el agua hasta la temperatura deseada, se anula el circuito de la caldera mediante una válvula, manual o automáticamente.

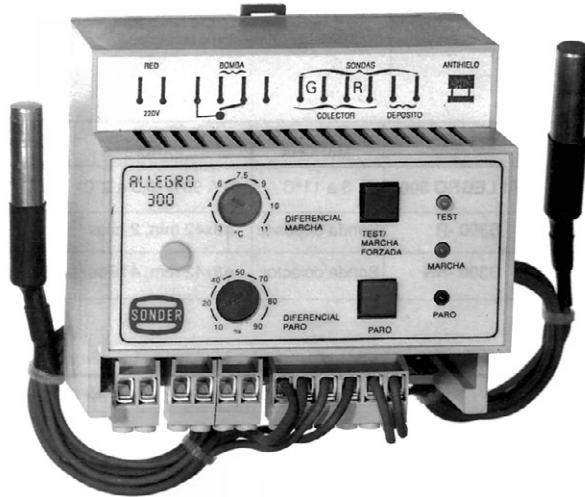
Si se hace uso de la energía auxiliar eléctrica, mediante una resistencia de inmersión que se suele situar en un pequeño acumulador auxiliar en serie con el acumulador solar, ésta debe ser de pequeña potencia para evitar gastar de más.

Es muy importante que, caso de estar dicha resistencia montada en el propio acumulador solar (algunas normativas, como en el caso de España, lo prohíben), ésta se sitúe en el tercio superior del mismo.

En cuanto al resto de los componentes necesarios de la instalación (reguladores, vasos de expansión, controles electrónicos, valvulería, etc.), deberán ser elegidos y montados por un experto, aunque su instalación no es, en sí misma, compleja.

Una alternativa interesante para instalaciones pequeñas es escoger un equipo compacto, que integre la mayoría de los accesorios ya montados de fábrica y convenientemente comprobados. La instalación de estos equipos resulta, por consiguiente, más simple y económica, aunque no siempre puede disponerse del espacio idóneo para su ubicación, debiéndose entonces recurrir a una instalación en la que captadores, acumulador y otros componentes ocupen cada uno un lugar diferente, conforme a las posibilidades del edificio.





*Fig. 4.5. Regulador diferencial electrónico, utilizado para controlar el funcionamiento de la bomba de circulación de una instalación solar térmica. La bomba es activada únicamente en los momentos en que las sondas detectan unas condiciones favorables para el aprovechamiento de la energía solar.*

## **Climatización de piscinas**

El caldeo del agua de las piscinas, bien sea para uso terapéutico o para el mero disfrute, constituye una de las aplicaciones de la energía solar más lógicas, por las claras ventajas de economía y sencillez que presenta frente a otros sistemas que utilizan energías convencionales (por otra parte restringidas en muchos países para ser utilizadas para calentar las piscinas privadas al aire libre).

En regiones de clima templado una piscina al aire libre suele utilizarse únicamente en los meses de verano (de junio a septiembre si se trata del hemisferio norte), aunque en muchos casos el agua únicamente alcanza una temperatura plenamente agradable para el baño (de 26 °C a 30 °C) durante unos pocos días en el período central del estío.

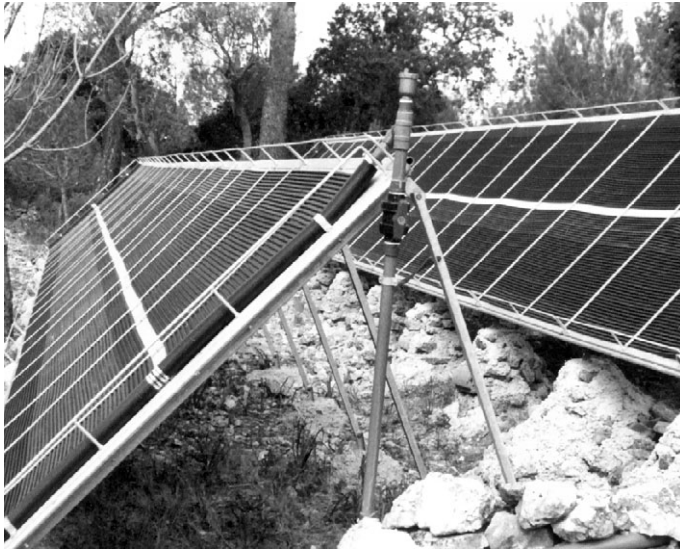
Utilizando captadores solares, la temporada de baños puede ampliarse desde mediados de primavera hasta bien entrado el otoño, ya que si los días son soleados, la temperatura que alcanza el agua será agradable, aun cuando la temperatura ambiente no lo sea tanto.



*Fig. 4.6. Estos captadores de polipropileno calientan el agua de una pequeña piscina unifamiliar, al mismo tiempo que proporcionan una agradable sombra.*

Dado que los captadores que se utilicen para calentar el agua de una piscina, únicamente deberán ser capaces de mantener una temperatura no mayor de  $30^{\circ}\text{C}$ , lo ideal es usar captadores sin cubierta ni carcasa, mucho más económicos que los empleados para calentar agua para usos domésticos. Dichos captadores, normalmente de plástico negro, no servirán para suministrar temperaturas mayores, debido a las altas pérdidas de calor que experimentarían, pero cumplen perfectamente su misión en este caso, y con un buen rendimiento.

Estos captadores sin cubierta reciben directamente el agua de la piscina y la devuelven a la misma tras haber incrementado ligeramente su temperatura, en un par de grados. Al cabo de unos cuantos días de funcionamiento se alcanza la llamada *temperatura de equilibrio* (de 26 °C a 30 °C, según las condiciones climatológicas).

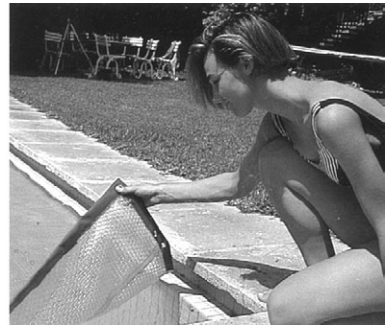


*Fig. 4.7. Captadores flexibles sin cubierta ni carcasa, utilizados para el calentamiento de piscinas.*

A veces ocurre que, durante los días más soleados y calurosos del verano, la temperatura del agua de la piscina, debido exclusivamente a la acción natural del sol, aumenta hasta alcanzar los 30 °C o más, y el baño ya no resulta refrescante. En estos casos se puede hacer trabajar a los captadores durante la noche y así lo que hacen es enfriar el agua de la piscina, irradiando su calor hacia el cielo. Esta ventaja adicional es muy apreciada en piscinas de hoteles e instalaciones turísticas situadas en regiones cálidas, ya que durante el verano pueden alcanzarse temperaturas incómodamente altas.



*Fig. 4.8. Captadores flexibles, una vez instalados.*



*Fig. 4.9. La manta solar constituye un complemento ideal en aquellas instalaciones de calentamiento de piscinas al aire libre mediante captadores solares, ya que evita gran parte de la pérdida de calor de la piscina y permite que el número de captadores necesarios sea menor.*

En regiones no tan cálidas, la acción de los captadores solares puede ser complementada apreciablemente si se cubre la piscina durante las horas en que no es utilizada, y especialmente por la noche, con una *manta térmica*, formada por un plástico alveolar traslucido, que evita una gran proporción de las pérdidas nocturnas del calor de la piscina, que son las más considerables.

El cálculo de la superficie de captadores necesaria requiere conocer las condiciones climáticas del lugar. A modo de orientación, diremos que para climas templados se suele aconsejar una superficie de captadores equivalente al 60 % del área de la propia piscina, reduciéndose aproximadamente a la mitad en el caso de usarse la manta térmica.



## 5

# INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Excepto, como ya se ha dicho, en algunos pocos casos, como por ejemplo en el bombeo de agua para ser almacenada y usada posteriormente, o en los sistemas con conexión a la red convencional, una instalación fotovoltaica requiere siempre una batería de acumuladores, además de todo un conjunto de elementos de regulación y control, imprescindibles para su correcto funcionamiento.

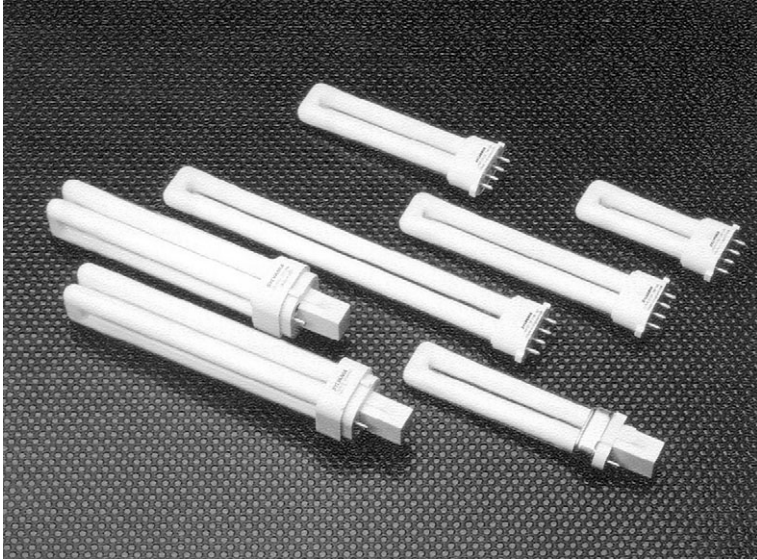
A continuación describiremos brevemente algunos ejemplos de las instalaciones que más se prodigan.

### **Electrificación de viviendas**

Si la red general está lo bastante lejana para que resulte interesante la opción solar, y suponiendo, y esto es muy importante, que los elementos de consumo (para iluminación y otros usos) han sido cuidadosamente elegidos, a fin de que tengan el mayor rendimiento posible, la potencia a instalar no es demasiado elevada.

Lo usual es montar módulos o paneles que producen cada uno entre 40 y 100 vatios de potencia cuando el Sol les ilumina de pleno, condición que no se dan nada más que en determinados momentos de algunos días totalmente claros.

Si midiésemos con instrumentos adecuados la potencia de un módulo bajo unas condiciones de soleamiento determinadas (por ejemplo, con los rayos incidiendo oblicuamente y con el cielo no totalmente claro), veríamos que la potencia que genera es bastante inferior a la nominal indicada por el fabricante.



*Fig. 5.1. Lámparas fluorescentes de alta eficiencia, utilizadas para iluminación de interiores mediante energía solar.*

Para poder calcular (o mejor, estimar) el número de módulos requeridos, primeramente hay que tratar de evaluar el consumo diario medio de la vivienda de la forma más aproximada posible, teniendo en cuenta la potencia real consumida por cada luminaria o aparato, así como el tiempo medio que se supone va a estar funcionando.

Resulta cómodo y habitual expresar las potencias en vatios y los tiempos en horas, de forma que podemos confeccionar una lista de consumos, cuya suma será el consumo total diario, expresado en W·h (vatios-hora).

El consumo así obtenido se incrementará en un 20%, a fin de tener en cuenta tanto las pérdidas energéticas del propio acumulador, como otras pérdidas derivadas del rendimiento de la instalación, que hacen que la energía necesaria sea siempre algo mayor que la inicialmente prevista.

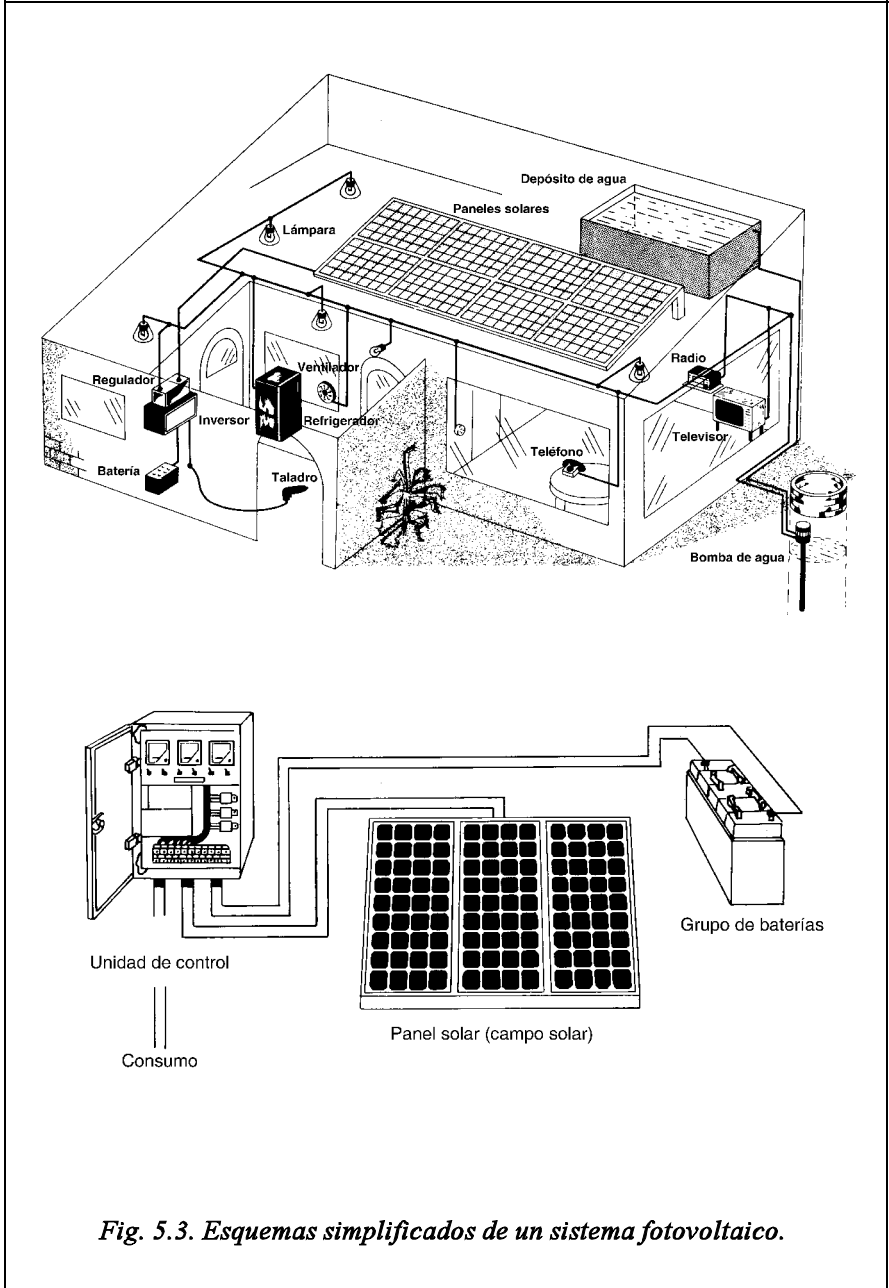


La capacidad total del acumulador se calculará multiplicando el consumo diario anteriormente obtenido por el número de días consecutivos que se prevean que, como máximo, puedan existir con condiciones de soleamiento nulo o despreciable (días de lluvia o totalmente cubiertos). Según el tipo de clima, el número de días con esas características suele oscilar entre 5 y 15, siendo 10 un valor medio razonable.



*Fig. 5.2. Instalación fotovoltaica que alimenta un equipo transmisor de VHF.*

Dividiendo el resultado anterior entre el voltaje del acumulador (normalmente es de 12 V), obtendremos así su capacidad en A·h (amperios-hora), que es la forma normal en el mercado de expresar la capacidad de un acumulador.



*Fig. 5.3. Esquemas simplificados de un sistema fotovoltaico.*

*Ejemplo:*

Una familia habita una casa de campo en la que existen 14 puntos de luz de alumbrado fluorescente de alta eficiencia con una potencia de 20 W cada uno, y otros 5 puntos de luz de 30 W cada uno. Además hay un frigorífico de corriente continua que consume unos 75 W de potencia y un televisor de 50 W.

Se estima que, en promedio, cada punto de luz de 20 W va a permanecer encendido unas 2 horas al día, y cada uno de los puntos de luz de 30 W, unas 3 horas; el televisor, unas 6 horas; y el frigorífico, unas 12 horas.

El consumo total en un día se calculará así:

14 puntos de luz de 20 W durante 2 horas . . . . .	$14 \times 20 \times 2 = 560 \text{ W}\cdot\text{h}$
5 puntos de luz de 30 W durante 3 horas . . . . .	$5 \times 30 \times 3 = 450 \text{ W}\cdot\text{h}$
1 frigorífico de 75 W durante 12 horas . . . . .	$75 \times 12 = 900 \text{ W}\cdot\text{h}$
1 televisor de 50 W durante 6 horas . . . . .	$50 \times 6 = 300 \text{ W}\cdot\text{h}$
	SUMA = 2210 W·h
	20% de aumento = 442 W·h
	CONSUMO TOTAL = 2652 W·h

Dando como buena una autonomía de 10 días, la batería, supuesta de 12 V, deberá tener una capacidad de:

$$(2652 \times 10) / 12 = 2210 \text{ A}\cdot\text{h}$$

La energía total que un determinado módulo puede proporcionar a lo largo del día es directamente proporcional a la energía radiante que recibe, la cual depende a su vez de tres factores: la duración del día, es decir, el tiempo que transcurre entre el amanecer y el ocaso, el mayor o menor ángulo con que el Sol se eleva sobre el horizonte, y la nubosidad.

Con objeto de poder garantizar una suficiente disponibilidad de energía incluso en la época más desfavorable del año, los cálculos de una instalación fotovoltaica suelen estar referidos al período invernal, pues en éste coinciden los factores de mayor consumo, por una parte (se necesitan más horas de luz artificial), y menor aportación de energía solar por otra (los días son más cortos y el Sol está más bajo en invierno).

De acuerdo con lo anterior, y para favorecer lo máximo posible la captación en la época invernal, en la que el Sol está más bajo sobre el horizonte, los paneles se montan con una inclinación aproximadamente igual a la latitud del lugar incrementada en  $15^\circ$ .

Cuanto mayor sea la latitud, los días en invierno son más cortos, y por tanto el Sol dispone de menos tiempo para derramar su energía sobre el módulo. Además, la nubosidad es mayor en invierno y el número de horas reales de sol es pequeño.

En general, podemos deducir que, para latitudes superiores a los  $50^\circ$ , la energía solar será normalmente insuficiente para cubrir totalmente las necesidades de electrificación de una vivienda (incluso moderando el consumo) sin recurrir a la instalación de un elevado número de módulos y una batería de acumuladores sobredimensionada, lo cual resultaría muy caro. A medida que la latitud disminuye, la energía solar disponible aumenta, hasta llegar a un máximo para las zonas ecuatoriales.

Una expresión aproximada para determinar el número de vatios-hora de energía  $E$  que puede aportar a lo largo de un típico día de invierno con escasa nubosidad, un módulo cuya potencia nominal sea de  $P$  vatios e instalado en un lugar cuya latitud sea de  $L$  grados, es:

$$E = (5 - L/15) \times (1 + L/100) \times P$$

Por ejemplo, si la latitud es igual a  $32^\circ$ , es de esperar que cada módulo de 40 W de potencia nominal pueda producir, en un día medio de invierno, una energía igual a:

$$E = (5 - 32/15) \times (1 + 32/100) \times 40 = 2,87 \times 1,32 \times 40 \approx 152 \text{ W}\cdot\text{h}$$

El valor de  $E$  obtenido en la fórmula anterior puede aumentarse hasta en un 25 %, o bien disminuirse en el mismo porcentaje, según sean las condiciones climatológicas predominantes en los meses invernales, especialmente la nubosidad.

En el caso de que la nubosidad sea muy escasa, un valor razonable sería un 20% superior al calculado y si, por el contrario, se trata de un lugar en que los inviernos se caracterizan por muchas lluvias y abundante nubosidad, habremos de disminuir el valor de  $E$  en un 25%.

No se efectúa ninguna corrección, dando por bueno el valor de  $E$  obtenido directamente de la fórmula, cuando el perfil típico del día de invierno corresponde al de un día medio en un clima no demasiado frío, esto es, con una cierta probabilidad de nubosidad y lluvias, no demasiado frecuentes.

Continuando ahora con el ejemplo numérico expuesto anteriormente, en el que habíamos establecido un consumo total de 2652 W·h, podemos calcular fácilmente el número de módulos que serán necesarios, sin más que dividir dicho consumo total diario entre la energía que cada módulo es capaz de producir en un día:

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de módulos} &= \\ &= (\text{Consumo total diario}) / (\text{Energía diaria aportada por cada módulo}) = \\ &= 2652/152 \approx 17 \text{ módulos} \end{aligned}$$

A semejanza de lo que ocurre con las instalaciones de energía solar térmica, el mantenimiento de una instalación fotovoltaica correctamente diseñada y montada, empleando siempre productos y materiales de primera calidad, es mínimo, bastando casi siempre una revisión anual y un control periódico del estado de carga de los acumuladores, elementos que hay que cuidar especialmente, ya que son los componentes más sensibles de la instalación.

El propio usuario, con la ayuda de algunas recomendaciones que los fabricantes e instaladores siempre le deben proporcionar, puede ejercer un mínimo control de la instalación para garantizar su buena conservación, e incluso encargarse de las operaciones de mantenimien-

to más simples, como por ejemplo la limpieza de los módulos y los bornes de la batería, la inspección visual del estado de los conductores y empalmes, y la medición de la densidad del electrolito.

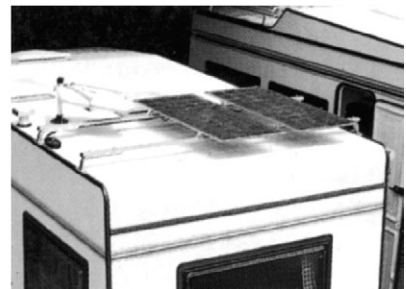
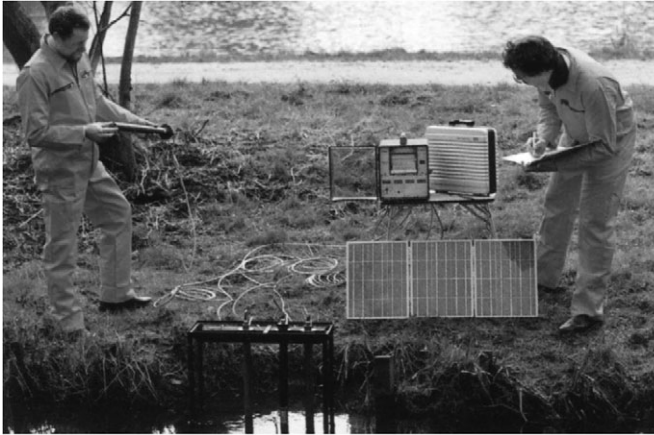
### **Otras aplicaciones**

Cada vez son más las aplicaciones de la electricidad solar, bien en sustitución de otros sistemas ya existentes (como por ejemplo generadores eléctricos de combustible líquido), o como única posibilidad para obtener una alimentación eléctrica continua y fiable en lugares donde otras alternativas encontrarían dificultades.

Como muestra de la variedad de aplicaciones que existen, hemos seleccionado algunas fotografías que mostramos en las siguientes páginas.

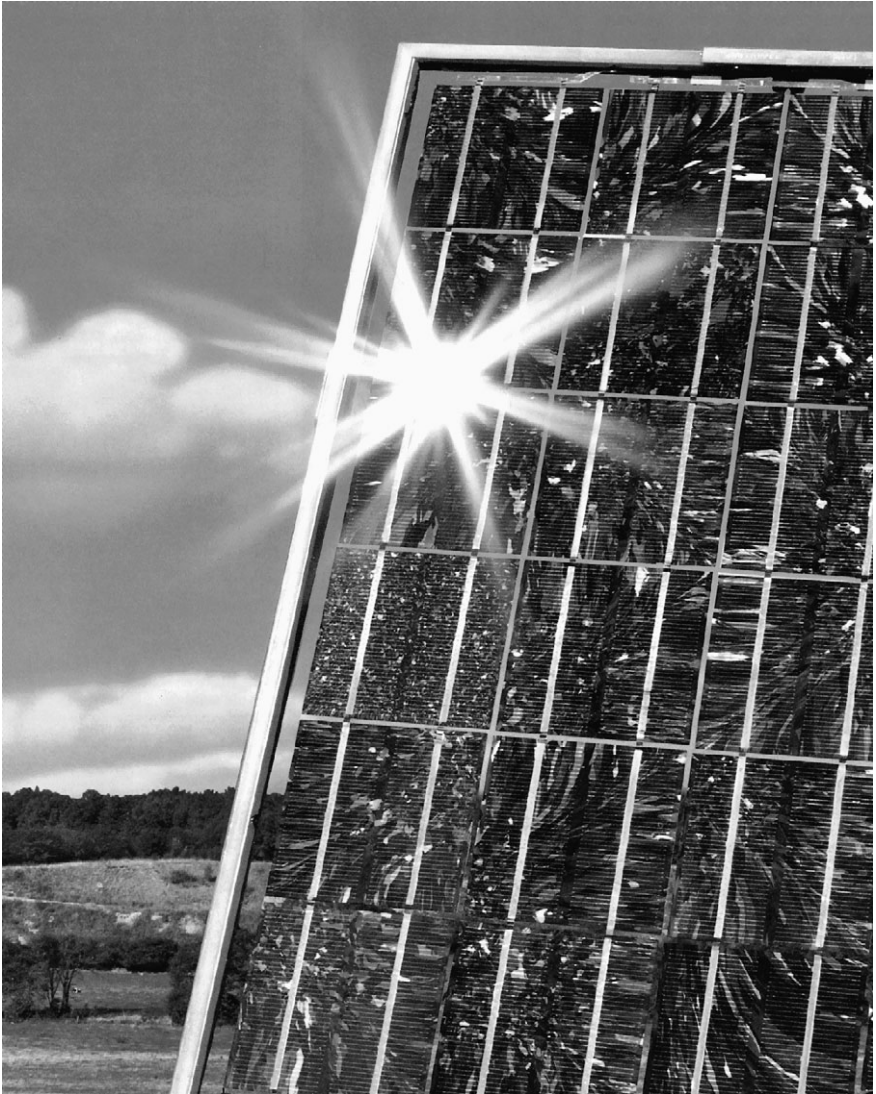


*Fig. 5.4. Módulos fotovoltaicos portátiles para diversas aplicaciones.*

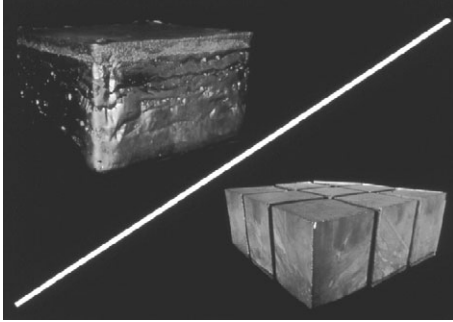


*Fig. 5.5. Módulos fotovoltaicos portátiles para diversas aplicaciones.*

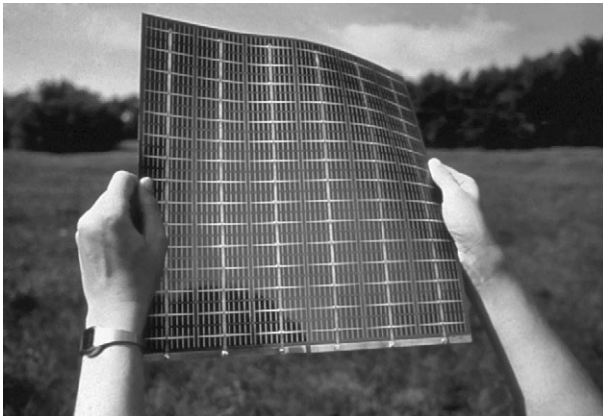




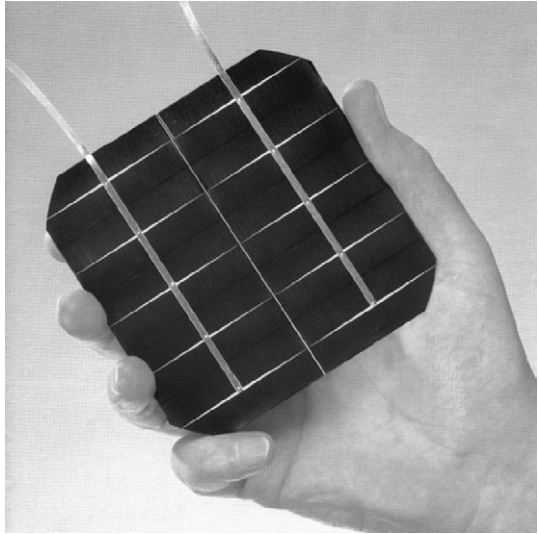
*Fig. 5.6*



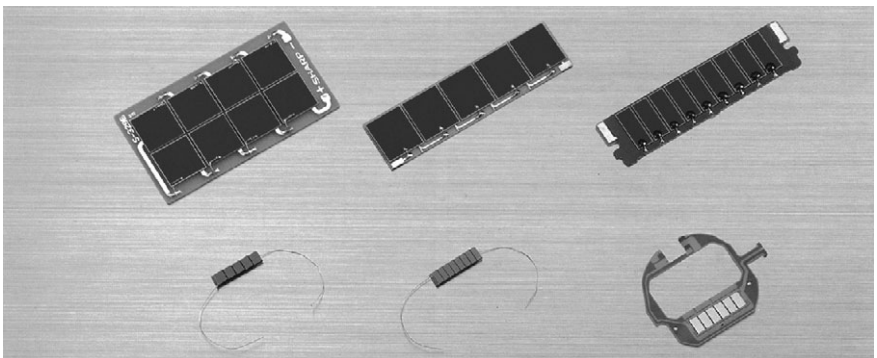
*Fig. 5.7. Bloque de silicio, la materia prima de la mayor parte de las células fotovoltaicas.*



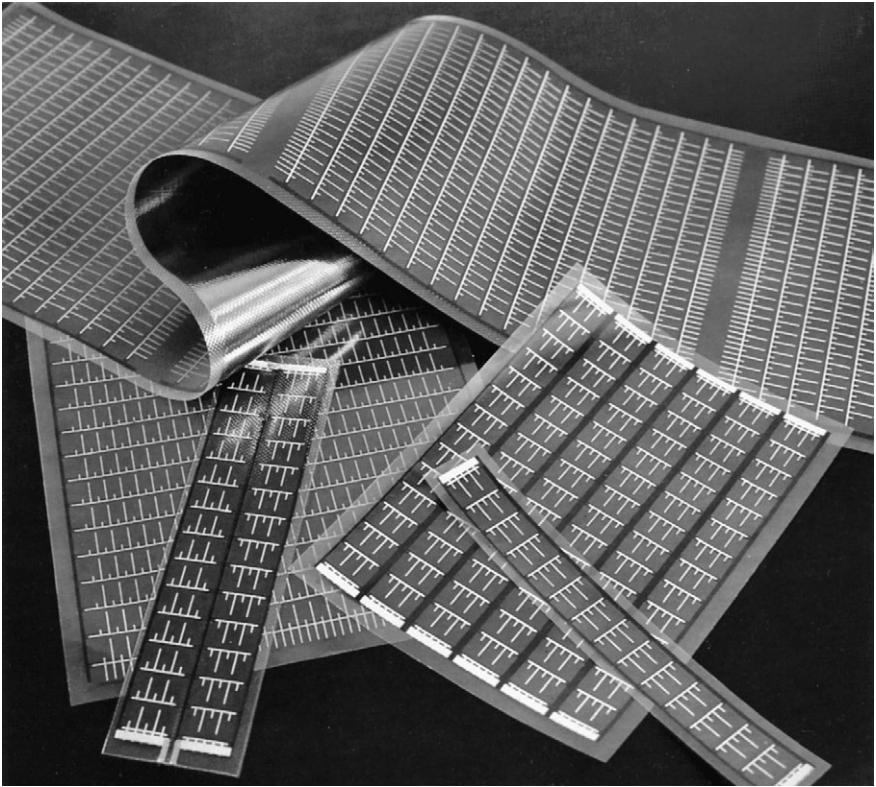
*Fig. 5.8. Módulo fotovoltaico flexible, ideal para equipos portátiles y donde la ligereza sea un factor importante.*



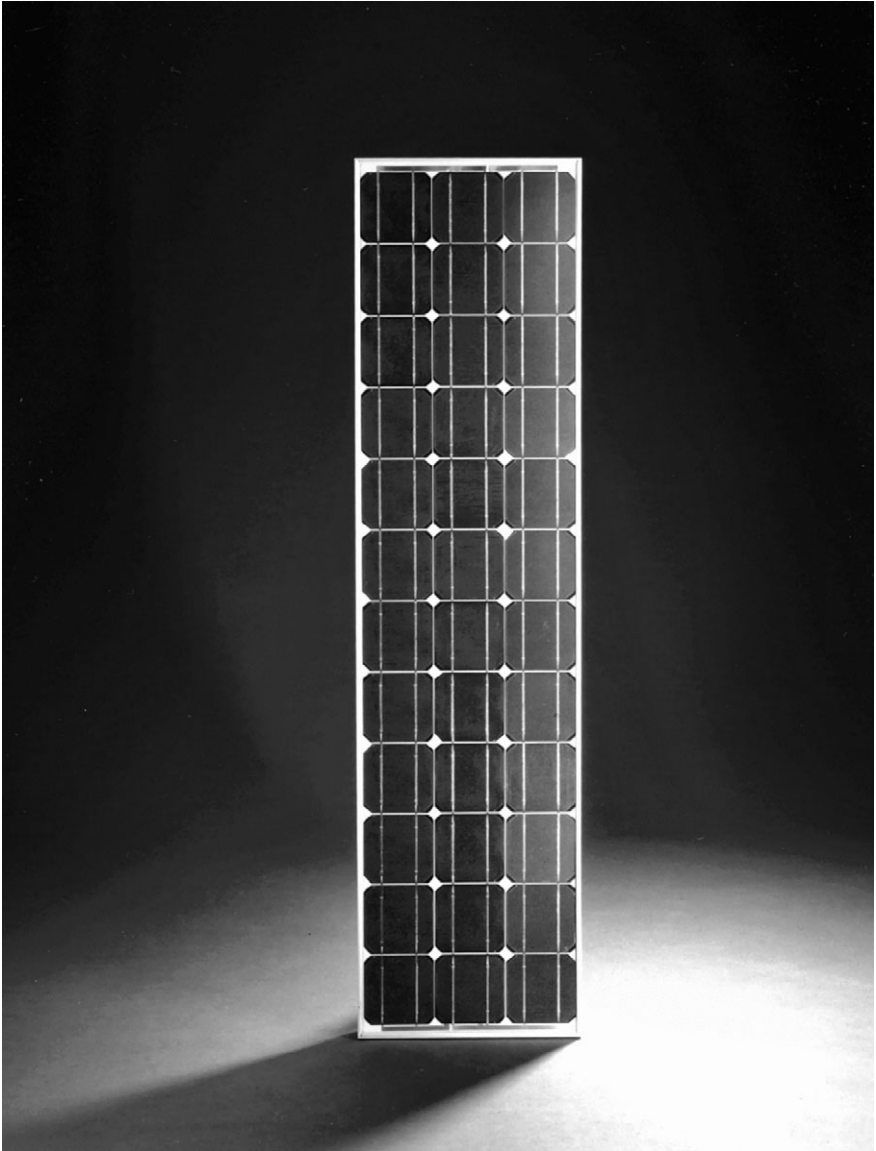
*Fig. 5.9. Célula fotovoltaica fabricada según la nueva tecnología MIS-L.  
(Cortesía de NUKEN, GmbH).*



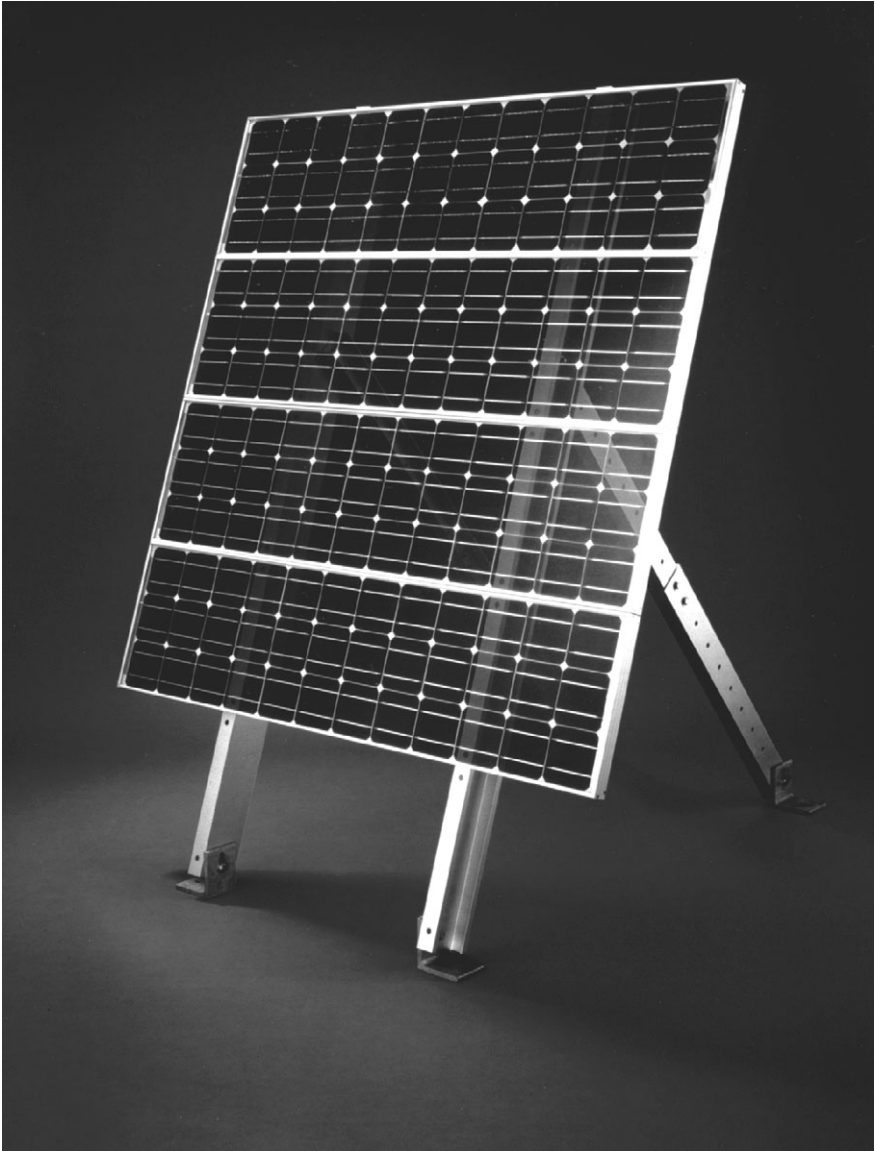
*Fig. 5.10. Pequeños módulos fotovoltaicos utilizados por los fabricantes de una gran variedad de artículos, como calculadoras, relojes, radios, etc.*



*Fig. 5.11. La tecnología de película delgada, que se ha desarrollado muy recientemente, permite la construcción de módulos flexibles. (Cortesía de Iowa Thin Film Technology, Inc.).*



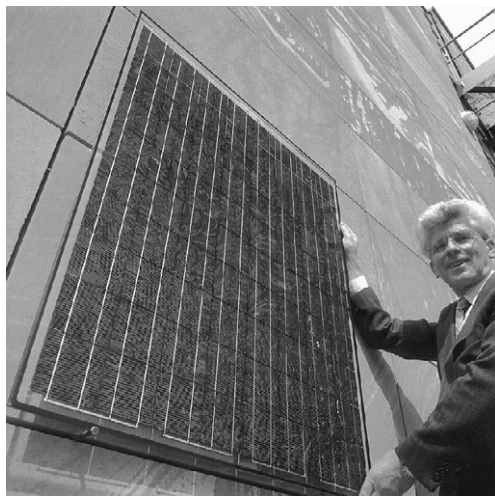
*Fig. 5.12. Módulo de la firma Siemens Solar, con una potencia máxima de 53 W a una intensidad de 3 A.*



*Fig. 5.13. Panel formado por cuatro módulos, capaz de suministrar unos 200 W de potencia. (Cortesía de Siemens Solar GmbH).*



*Fig. 5.14. La alta tecnología empleada en la fabricación de los módulos fotovoltaicos de la fotografía contrasta con la vieja construcción rural en la que han sido instalados.*



*Fig. 5.15. Módulo sin bastidor, en el que la célula se encuentra entre dos láminas de vidrio templado. Es especialmente apto para el recubrimiento de fachadas o cubiertas de edificios. (Cortesía de NUKEN GmbH).*

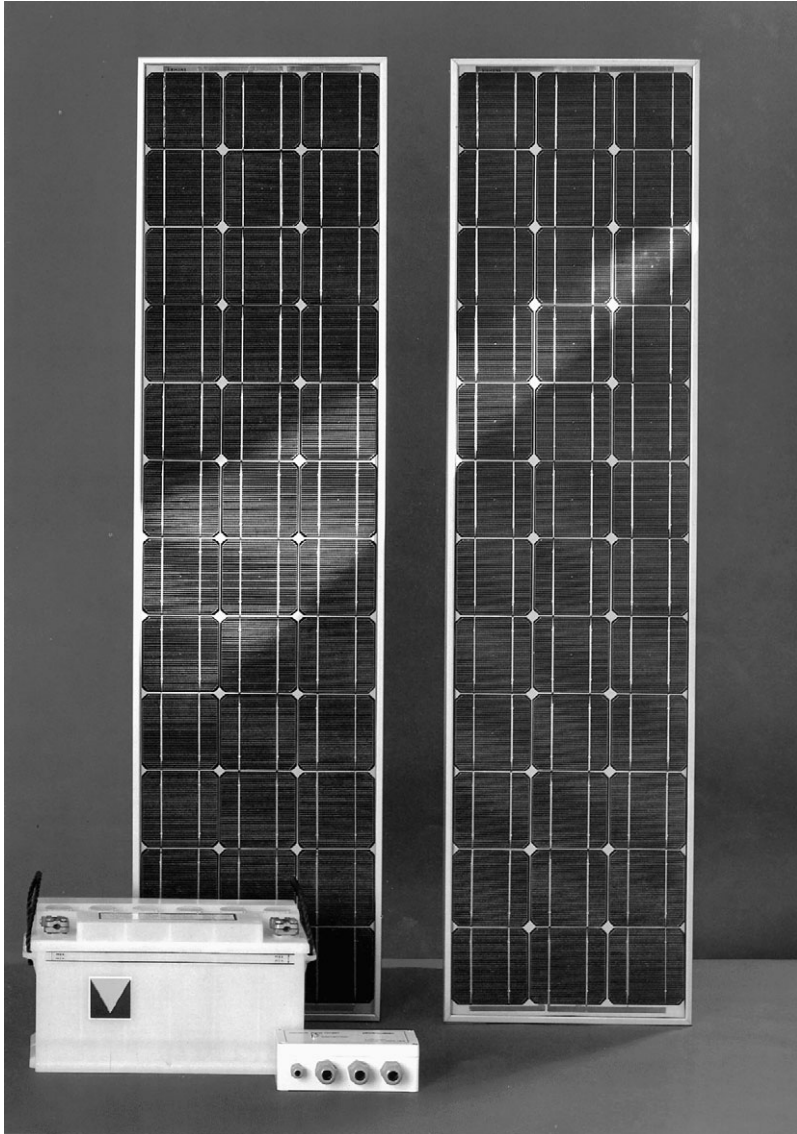


*Fig. 5.16. Viviendas con plena electrificación mediante módulos fotovoltaicos. Obsérvese que éstos ocupan casi toda la superficie disponible en el tejado.*



*Fig. 5.17. Electrificación total mediante módulos fotovoltaicos. Esta opción, que será habitual en una o dos décadas, resulta todavía demasiado cara para una economía media. El sistema que se ve en la fotografía proporciona una media de casi 8000 kW·h al año, suficiente para satisfacer el consumo total de una típica familia de cualquier país desarrollado.*





*Fig. 5.18. Los tres componentes esenciales de una instalación fotovoltaica autónoma: módulos, batería y regulador.*



*Fig. 5.19. Pequeño sistema fotovoltaico con seguimiento solar.*



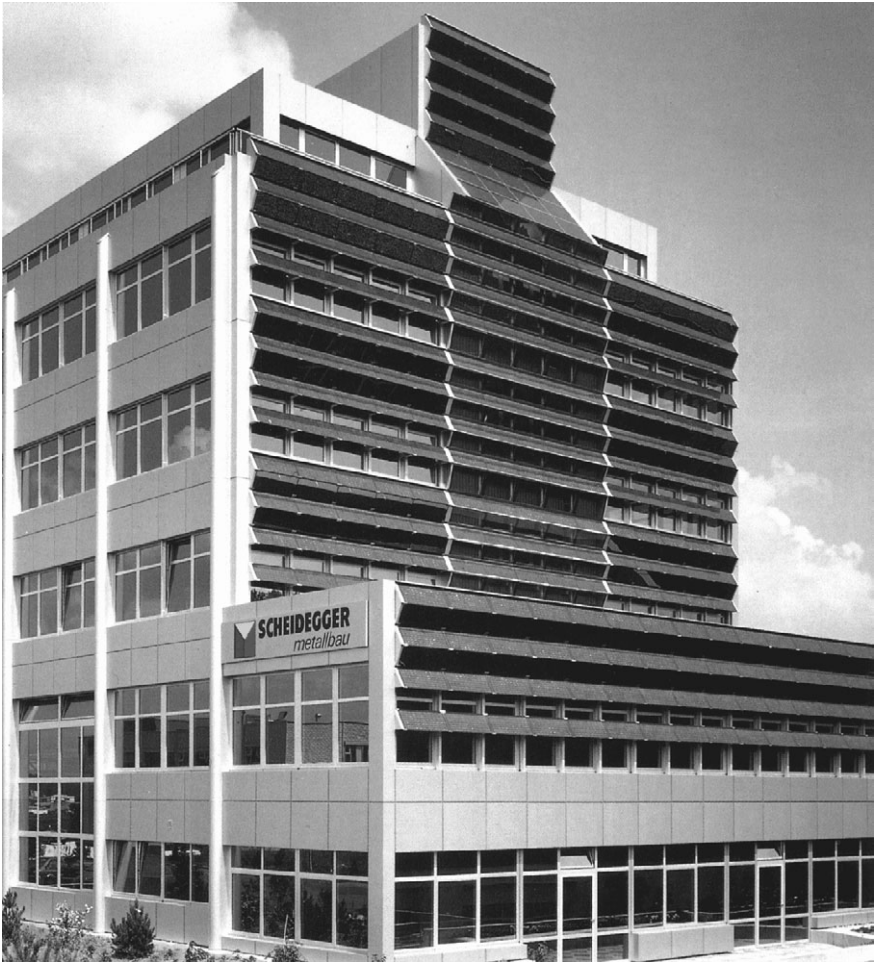
*Fig. 5.20. Instalación de ayuda para la navegación marítima.*



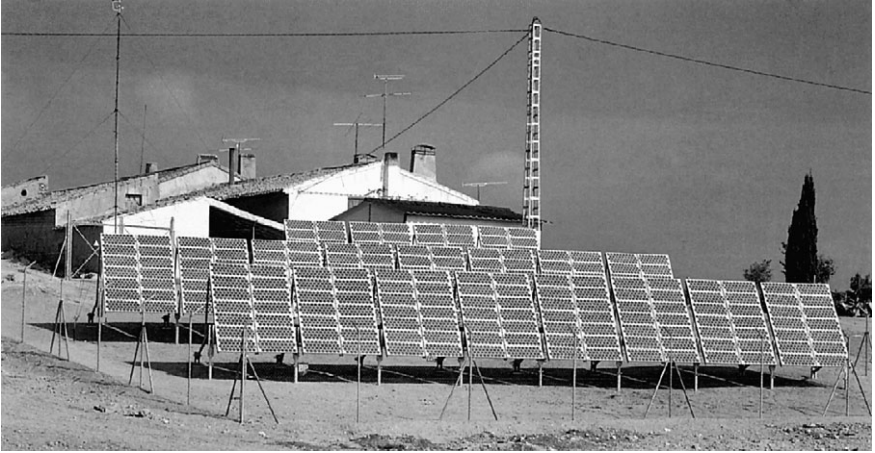
*Fig. 5.21. Tejado con tejas fotovoltaicas. Cada teja es un pequeño módulo, de unos 6 vatios de potencia, que sustituye ventajosamente a la teja tradicional, lográndose una total integración arquitectónica. (Cortesía de Europea de Técnicas Ambientales, S.L.).*



*Fig. 5.22. Los nuevos módulos fotovoltaicos semi-transparentes pueden sustituir en determinados casos a los vidrios de las ventanas.*



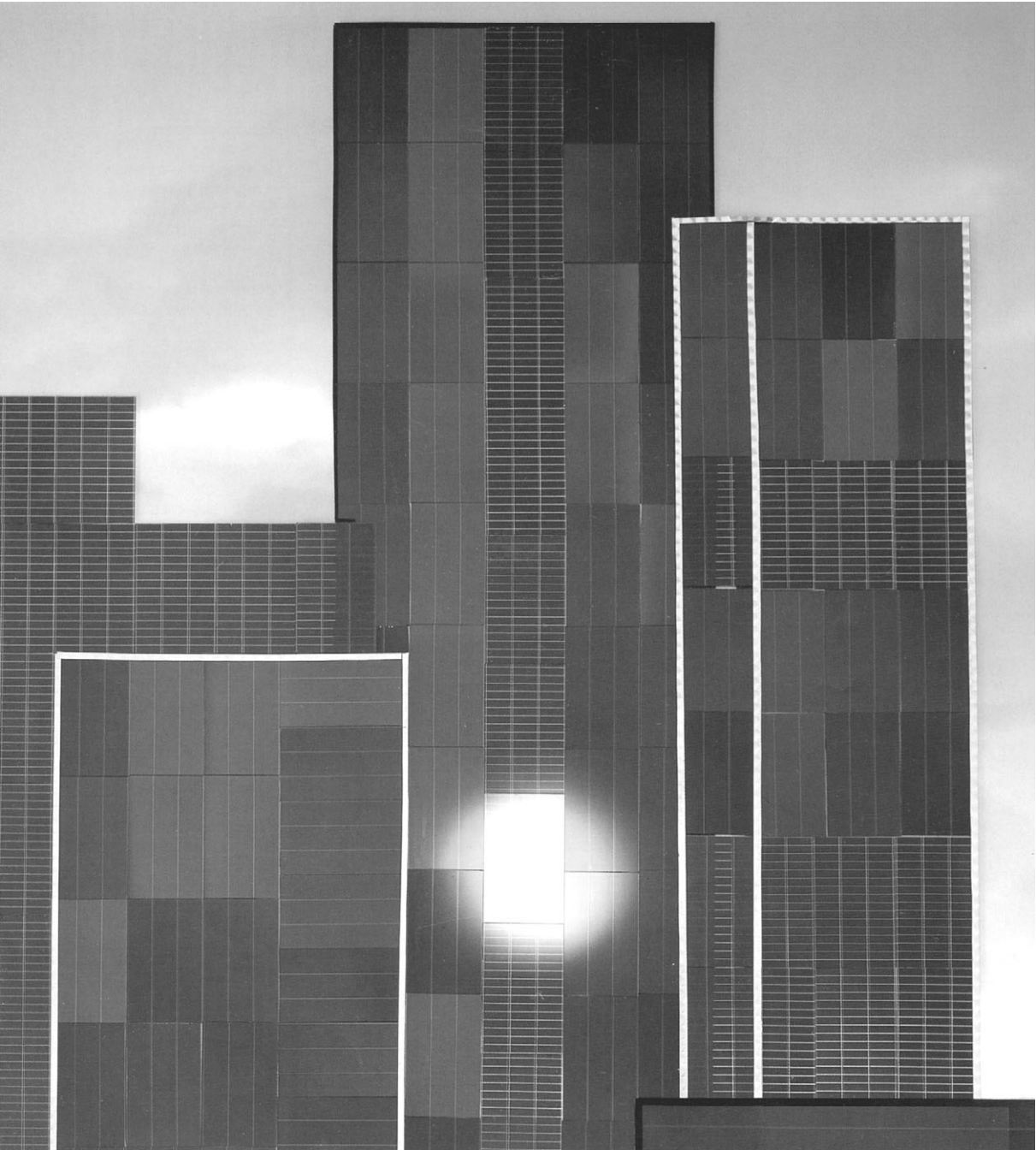
*Fig. 5.23. Modelo para los edificios del siglo XXI: Impresionante aspecto de la fachada de la sede de la empresa SCHEIDEGGER LTD, en Kirchberg (Suiza), cubierta de módulos fotovoltaicos, que no solamente generan electricidad, sino que también aprovechan el calor que la radiación solar produce.*



*Fig. 5.24. Instalación fotovoltaica de mediana potencia, que suministra electricidad a un grupo de viviendas rurales.*



*Fig. 5.25. Alimentación fotovoltaica de un sistema de telecomunicaciones.*



*Fig. 5.26. Módulos de silicio amorfo, de reciente tecnología, aptos para ser integrados en fachadas de vidrio. (Cortesía de Phototronics Solartechnik GmbH).*



*Fig. 5.27. Los módulos fotovoltaicos responden perfectamente, sean cualesquiera las condiciones meteorológicas.*



*Fig. 5.28. Farola fotovoltaica.*



*Fig. 5.29. Cabaña de campo plenamente electrificada mediante módulos fotovoltaicos.*



*Fig. 5.30. La «arquitectura fotovoltaica» está cobrando cada vez más importancia a la hora de diseñar nuevos edificios.*



## 6

# LA PRÁCTICA DE LA ENERGÍA SOLAR

Las razones que asisten a quienes propugnan una progresiva y creciente utilización de la energía solar son tan poderosas que, con toda probabilidad, el uso generalizado de esta forma limpia de energía será práctica habitual en la segunda década del siglo XXI.

Desde el punto de vista del usuario conviene considerar que aparte de los motivos, importantes en sí mismos, de tipo ecológico y de lograr satisfacer una de las aspiraciones inherentes a todo ser humano o colectividad, como es el sentirse autosuficiente, los beneficios económicos que se pueden obtener de una instalación solar constituyen asimismo una buena razón a su favor.

En efecto, pues si las condiciones climáticas del lugar no son extremadamente desfavorables, una instalación solar que suministra agua caliente a un edificio de apartamentos o a un hotel, por mencionar dos ejemplos, se amortiza en pocos años y, puesto que la vida útil de la misma puede cifrarse entre 25 y 35 años, la rentabilidad que se obtiene es muy superior a la de cualquier otra inversión alternativa.

Para instalaciones pequeñas, como las de viviendas unifamiliares, el período de amortización es algo mayor. Aun así, se obtienen tasas de rentabilidad típicamente entre el 8% y el 12%, apreciablemente mayores a las que se podría esperar obtener si el pequeño capital destinado a la inversión en la instalación solar se colocase al interés más favorable posible entre la amplia oferta de las entidades de crédito.

Todavía más, si las políticas económicas estatales tendiesen definitivamente a otorgar a los propietarios de una instalación solar la posibilidad de gozar de créditos subvencionados, al igual que se hace con otros tipos de inversiones que se declaran de interés social,

permitirían que se sufragase el coste financiero con el propio ahorro que la instalación produce año tras año, eliminándose así el mayor obstáculo que existe para que cualquier particular o empresa pueda disfrutar de una instalación solar: la inversión inicial.



*Fig. 6.1. En climas benignos bastan tres o cuatro captadores de tamaño medio para producir toda el agua caliente que se necesita en una vivienda unifamiliar.*

Desde el punto de vista del profesional que pretenda desarrollar una actividad laboral, bien por cuenta propia o trabajando para alguna de las pequeñas empresas locales de diseño e instalación, que proliferan cada vez más, es preciso insistir en la necesidad de extremar el cuidado en todos los aspectos propios del diseño y montaje, ofreciendo la máxima calidad posible.

No hay que olvidar que una instalación solar debe estar concebida y realizada para durar, y el cliente tiene en todo momento que estar respaldado por un servicio técnico eficaz.

A veces, los nuevos profesionales en este campo, proyectistas e instaladores, se quejan de la escasez de instalaciones con suficiente

antigüedad o en las que se hayan recogido experiencias, en cuanto a su comportamiento, en las cuales apoyarse.

El hecho anterior puede ser también la causa por la que, a menudo, los técnicos de especialidades relacionados con la energía o la construcción, como ingenieros de climatización, arquitectos, etc., rehuyen los proyectos en los que interviene la energía solar, por no sentirse seguros acerca del modo en que estas instalaciones van a comportarse con el paso de los años.

A este respecto, nuestra experiencia de más de treinta años en el diseño, cálculo y montaje de instalaciones de todo tipo nos permite asegurar que, si se cumplen las premisas fundamentales de calidad y rigurosidad técnica que deberían ser imperativo de cualquier instalación u obra en general, el resultado será satisfactorio. La práctica totalidad de los problemas surgidos, o los pobres rendimientos, son el resultado de errores o defectos en la ejecución de la instalación, que hubieran podido evitarse si los responsables se hubieran preocupado de conocer las reglas básicas por las que se rigen los sistemas de aprovechamiento de la energía solar.

### **Tendencias para los próximos años**

Para intentar predecir cuáles serán las aplicaciones concretas que más desarrollo experimentarán en los próximos años se precisa, por una parte, haber analizado la evolución experimentada en la pasada década, y por otra, observar el resultado que, en el momento presente, están dando los distintos materiales, productos y sistemas, que van a marcar, en definitiva, el mayor o menor grado de satisfacción del usuario.

Además de influir motivaciones sociales de diversa naturaleza, resulta lógico pensar que las aplicaciones que más se extenderán en un futuro inmediato serán aquellas que hayan ya probado su éxito.

No obstante, no hay que olvidar que un factor fundamental para considerar una determinada opción solar es la climatología propia de

la región. Evidentemente, no sería lógico esperar el mismo grado de implantación, ni los mismos tipos de aplicaciones, en un país como Suecia que en Marruecos, ni tampoco en una nación muy desarrollada, como Japón, que en otra de un nivel de desarrollo menor, como Brasil o Argentina.

En suma, las peculiaridades de cada país y de cada región dentro de un país, además de las condiciones físicas, determinan las posibilidades de un determinado tipo de aplicación de la energía solar.

En líneas generales, si consideramos una zona de clima intermedio, como puede ser España (excluyendo quizás ciertas regiones del norte y del sur con condiciones climáticas algo más extremadas), podemos afirmar que la aplicación de la energía solar —aparte del calentamiento de piscinas— que más tenderá a generalizarse será la producción de agua caliente, tanto para uso doméstico como industrial, ya que no parece razonable malgastar combustibles fósiles, ni mucho menos aún electricidad, si el Sol puede realizar el mismo cometido que éstos de manera tan sencilla y económica.

En aquellos lugares donde los inviernos sean fríos pero con suficientes horas de sol, los sistemas de calefacción solar por suelo radiante se presentan como los más adecuados, ya que admiten varios tipos de energía de apoyo, imprescindible en caso de presentarse días nublados.

Aunque, a nivel de mercado, todavía pasarán algunos años antes de que la oferta comercial sea significativa, merece la pena citar aquí los esfuerzos que se están realizando en el diseño y desarrollo de equipos de enfriamiento de aire que funcionan exclusivamente con energía solar. Si se consiguen fabricar series comerciales de estos equipos con un precio competitivo, ésta podría ser una de las aplicaciones que más rápidamente se extienda, ya que es precisamente en el verano —cuando más energía solar se recibe— cuando también se necesita refrigerar el ambiente, lográndose en la actualidad (de forma no totalmente satisfactoria) mediante acondicionadores de aire de tecnología convencional.



*Fig. 6.2. Este microinversor de red de 100 W de potencia, prácticamente cabe en la palma de la mano, y posibilita convertir un módulo de 24 V en un generador de corriente alterna de 220 V, la cual puede ser inyectada en la red. (Cortesía de NKF KABEL B.V.).*



*Fig. 6.3. Viviendas unifamiliares fotovoltaicas conectadas a la red, una posibilidad que puede transformar radicalmente el concepto tradicional de producción y distribución de la electricidad.*

Más numerosas y variadas que las que se basan en la conversión térmica de la energía solar, son las aplicaciones que utilizan módulos fotovoltaicos. Solamente en España hemos contabilizado más de veinte grupos de aplicaciones distintas y cada año el número de éstas aumenta.

A continuación exponemos una lista de las aplicaciones más relevantes, que hemos ordenado, más o menos, no solamente en función de su importancia cuantitativa en el momento actual, sino también por sus expectativas de crecimiento en los próximos años:

- Electrificación básica de viviendas rurales unifamiliares habitadas de forma permanente.
- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red general, instalados en edificios industriales, de servicios y residenciales.
- Bombeo de agua para regadíos u otros usos.
- Electrificación básica de viviendas aisladas unifamiliares habitadas de forma esporádica (vacaciones, fines de semana, etc.).
- Electrificación de pequeños núcleos rurales (pueblos y aldeas en zonas montañosas o de poca accesibilidad).
- Electrificación de granjas y pequeñas industrias rurales.
- Acoplamiento de módulos fotovoltaicos en viviendas o industrias que ya disponen de servicio eléctrico a través de la red general, complementándose ambos sistemas.
- Desalinización de aguas salobres.
- Electrificación de campamentos, campings y refugios de montaña.
- Electrificación de caravanas y embarcaciones.
- Alimentación de equipos de transmisión y telecomunicación (red de telefonía celular, comunicaciones militares, etc.).
- Iluminación de zonas públicas apartadas (parques, playas, etc.).
- Iluminación móvil de instalaciones temporales (obras, vigilancia, acontecimientos deportivos o culturales, etc.).

- Iluminación de jardines o zonas privadas, sin necesidad de efectuar tendidos de conexión a la red general.
- Alimentación de equipos móviles de radio, transmisores de datos, radioteléfonos, ordenadores portátiles, etc.
- “Pastores eléctricos” (vallas electrificadas) para impedir el paso de animales y ganado.
- Protección catódica de tuberías, depósitos y estructuras diversas.
- Fuentes de alimentación para cargadores de baterías en lugares apartados.
- Señalización de calles, carreteras y viales en general.
- Ventilación de espacios mediante ventiladores de corriente continua.
- Alimentación eléctrica de hospitales de campaña.
- Refrigeración portátil para transporte de medicinas y vacunas.
- Usos militares diversos.



*Fig. 6.4. Dos posibilidades, de fuerte contraste, de una misma aplicación; arriba: electrificación de una vivienda rural aislada; abajo: moderno edificio fotovoltaico conectado a red.*



## **Normativa de aplicación**

Las instalaciones de energía solar están sujetas a las diversas reglamentaciones existentes en cada país que puedan aplicarse a la construcción de edificios o a las instalaciones energéticas en general.

Además, de forma paulatina se van estableciendo normas de carácter específico. A continuación reseñamos algunas de las vigentes en España.

### ***Energía solar térmica***

- Real Decreto 891/1980, de 14 de abril, sobre homologación de los paneles solares (B.O.E. de 12 de mayo de 1980).
- Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los paneles solares (B.O.E. de 18-8-1980).
- Orden de 9 de abril de 1981, por la que se especifican las exigencias técnicas que deben cumplir los sistemas solares para agua caliente y climatización, a efectos de la concesión de subvenciones a los propietarios, en el desarrollo del artículo 13 de la Ley 82/1980, de 30 de diciembre, sobre conservación de la energía (B.O.E. de 25-4-1981).
- Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, que aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC). (B.O.E. de 5-8-1998).
- Orden ITC/71/2007, de 22 de enero, por la que se modifica el anexo de la Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares (B.O.E. de 26-1-2007).
- Pliego de Condiciones Técnicas de instalaciones de energía solar térmica de baja temperatura. IDAE (Ref.: PCT-REV-2009).
- Orden ITC/2761/2008, de 26 de septiembre, por la que se amplía el plazo establecido en la disposición transitoria segunda de la Orden ITC/71/2007, de 22 de enero.

***Energía solar fotovoltaica***

- Real Decreto de 9 de diciembre de 1994, sobre producción de energía eléctrica para instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables.
- Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión (B.O.E. de 30-9-2000).
- Resolución de 31 de mayo de 2001 de la Dirección General de Política Energética y Minas (Ministerio de Economía), por la que se establecen modelos de contrato, factura y esquema unifilar para instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión (B.O.E. de 21-6-2001).
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico (B.O.E. de 21-6-2001).
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (B.O.E. de 18-9-2002).
- Pliego de Condiciones Técnicas de instalaciones de energía solar fotovoltaica conectadas a red. IDAE (Ref.: 6.7.22.2/I/01).
- Pliego de Condiciones Técnicas de instalaciones de energía solar fotovoltaica aisladas de la red. (Ref.: 6.7.22.2/I/01).
- Resolución de 27 de septiembre de 2007, de la Secretaría General de Energía, por la que se establece el plazo de mantenimiento de la tarifa regulada para la tecnología fotovoltaica, en virtud de lo establecido en el artículo 22 del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo (B.O.E. de 29-9-2007).
- Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología (B.O.E. de 27-9-2008).

- Corrección de errores del Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología (B.O.E. de 17-10-2008).

## **Direcciones útiles**

- ASIF (Asociación Española de la Industria Fotovoltaica).  
C/Dr. Arce 14, 28002 Madrid.
- ASIT (Asociación Española de la Industria Solar Térmica).  
C/Dr. Arce 14, 28002 Madrid.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ENERGÍA SOLAR.  
E.T.S.I. Industriales. 36310 Lagoas-Marcosende (Pontevedra).
- CENER (Centro Nacional de Energías Renovables).  
C/ Ciudad de la Innovación 7, 31621 Sarriguren, Navarra.
- CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar).  
Parque Industrial PISA, c/ Comercio 12  
41927 Mairena del Aljarafe, Sevilla.
- CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). Avda. Complutense, 22  
28040 Madrid.
- IDAE  
C/ Madera 8, 28004 Madrid
- IES (Instituto de Energía Solar)  
E.T.S.I. Telecomunicación, Ciudad Universitaria,  
28040 Madrid.

- **INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY (ISES).**  
Villa Tannheim, Wiesentalstraße 50, 79115 Freiburg.
- **PSA (Plataforma Solar de Almería).**  
Apartado de Correos 649, 04080 Almería.

# APÉNDICE

## INFORMACIÓN DE INTERÉS

### *Glosario*

**Adiabático:** Proceso en el que no hay intercambio de calor con el exterior.

**Albedo:** Fracción de la energía reflejada o difundida por la superficie de un cuerpo que recibe energía luminosa.

**Ángulo cenital:** Es el formado por el rayo y la vertical.

**Antirreflectante:** Tratamiento que se aplica sobre la superficie de los cuerpos en los que se desea reducir las pérdidas por reflexión.

**Bioconversión:** Conversión de la energía solar en energía química a través de un proceso biológico.

**Bomba de calor:** Aparato que, mediante la ayuda de una energía exterior, generalmente eléctrica, es capaz de transferir energía térmica desde un recinto a otro de mayor temperatura.

**Brillo:** Luminancia o luminosidad de un objeto.

**Cenit:** Punto de la esfera celeste situado justamente sobre la vertical del lugar considerado.

**Concentrador solar:** Captador solar que enfoca o concentra los rayos solares sobre un absorbente de área menor que la superficie total captadora, logrando de esta forma aumentar la intensidad de la radiación incidente.

**CPC:** Captador Parabólico Concentrador.

**Cuanto:** Unidad elemental de energía. El cuanto de energía luminosa se llama también fotón.

**Desalinizador solar:** Destilador solar utilizado para obtener agua dulce a partir de agua salobre.

**Destilador solar:** Recipiente en el que se utiliza la energía solar para purificar las aguas, haciéndolas aptas para su consumo. Consta de un recinto cerrado cubierto por un vidrio, en cuya superficie interior se condensa el agua evaporada por el calor del sol y resbala hasta un depósito.

**Eclíptica:** Trayectoria aparente que sigue el Sol en la esfera celeste a lo largo del año.

**Eólico:** Relativo al aire y al viento.

**Equinoccios:** Momentos del año en que la duración del día es igual a la de la noche.

**Estanque solar:** Estanque de agua salada que es capaz de almacenar energía solar en forma de calor, gracias a un efecto de estratificación por la diferente densidad de las distintas capas que lo componen.

**Fotólisis:** Proceso químico causado por la luz.

**Frecuencia:** Magnitud física igual al inverso del período de una onda. Se mide en ciclos cada segundo, también llamados hertz.

**Heliógrafo:** Instrumento que mide la insolación o tiempo en que el Sol luce en un día determinado.

**Heliostato:** Dispositivo capaz de orientarse automáticamente hacia el Sol, o bien capaz de reflejar sus rayos constantemente hacia un mismo punto.

**Heliotérmico:** Proceso en el cual interviene la radiación solar y la energía térmica.

**Horno solar:** Dispositivo capaz de alcanzar temperaturas muy elevadas enfocando los rayos solares sobre un pequeño receptor.

**Inversor:** Convertidor de corriente continua en alterna.

**Isohelia:** Línea que une los puntos geográficos que tienen igual número de horas de sol al año.

**Langley:** Unidad de medida de la intensidad de la radiación solar, cada vez más en desuso, que equivale a  $1 \text{ cal/cm}^2$ .

**Lente de Fresnel:** Lámina de plástico transparente en cuya superficie se disponen una serie de surcos concéntricos tallados de forma tal que el conjunto es capaz de enfocar la luz de forma análoga a la de una lente convencional.

**Masa de aire (AM):** Relación entre la longitud de la trayectoria recorrida por un rayo a través de la atmósfera terrestre y la longitud de dicha trayectoria en el momento en que el Sol está en el cenit.

**Microclima:** Conjunto de condiciones climáticas que afectan a un área geográfica muy reducida y que difieren apreciablemente de las predominantes en su entorno.

**Muro Trombe:** Muro orientado hacia el sur, pintado de color oscuro, y cuya cara exterior se recubre con un vidrio, de forma que se produce el efecto invernadero en la cámara de aire entre el vidrio y el muro. El aire de esta cámara se calienta, estableciéndose una corriente de convección, gracias a la cual puede caldearse el recinto detrás del muro.

*Equivalencias entre distintas unidades*

Acre (U.K.)=4046,856 m<sup>2</sup>

Angstrom=10<sup>-10</sup> m

Año luz=9,461 × 10<sup>15</sup> m

Atmósfera=10 332 kg/m<sup>2</sup>

Atmósfera-litro=101,33 julio

Barril petróleo=158,98 litro

Btu=252 caloría

Caballo de vapor=735,5 W

Caloría=4,184 julio

Dina=10<sup>-5</sup> newton

Ergio=10<sup>-7</sup> julio

Galón (U.S.)=3,7854 litro

Gauss=10<sup>-4</sup> weber/m<sup>2</sup>

Kilogrametro=9,80665 julio

Kilopondio=9,80665 newton

Kilovatio·hora=3,6 × 10<sup>6</sup> julio

Libra=0,4536 kg

Lux=10<sup>-4</sup> lumen/cm<sup>2</sup>

Maxwell=10<sup>-8</sup> weber

Milla=1,60935 km

Nudo=1,85325 km/h

Onza=28,35 g

Pie=0,3048 m

Pinta=0,47317 litro

Poise=0,1 pascal·segundo

Pulgada=2,54 cm

Quintal=100 kg

Radián=57,2958 grado sexag.

Unidad Astr.=1,495 × 10<sup>8</sup> km

Yarda=0,9144 m



**Datos meteorológicos (medias anuales de diversas variables)**

	$\bar{t}$	$t_M$	$t_m$	$\bar{D}_R$	$\bar{D}_N$	$\bar{D}_G$	$\bar{D}_T$	$\bar{D}_H$	C	D	V
Álava	12	16	7	145	14	4	11	40	166	38	NE
Albacete	13	20	7	85	4	3	13	67	83	87	O 12
Alicante	18	24	12	90	0	1	11	2	57	92	SE 9
Almería	18	22	14	54	0	0	8	0	38	122	OSO 9
Asturias	12	16	8	143	3	1	2	15	170	69	NE
Ávila	10	16	5	95	18	5	13	79	71	76	NO 11
Badajoz	17	23	11	94	0	2	10	11	75	126	NO 7
Baleares	17	21	12	92	1	2	11	2	54	85	varía 9
Barcelona	16	20	13	100	1	1	13	2	72	82	S 8
Burgos	10	15	6	128	19	6	13	69	119	61	SO 8
Cáceres	16	21	11	97	1	4	11	9	63	146	NO
Cádiz	18	22	14	88	0	3	11	1	58	117	SE 20
Cantabria	14	17	11	193	3	10	18	1	154	38	O 20
Castellón	17	21	13	85	0	1	14	3	47	7	NO 3
Ceuta	17	20	14	80	0	2	8	0	71	83	
Ciudad Real	14	21	8	78	3	2	12	44	45	138	SO 4
Córdoba	18	24	12	83	0	1	9	8	69	144	SO 5
La Coruña	14	17	10	194	1	8	9	1	140	44	SO 18
Cuenca	12	18	5	96	9	3	14	85	81	87	O
Gerona	15	21	9	107	2	2	24	33	87	75	S 5
Granada	15	22	8	90	2	2	10	33	80	121	O 4
Guadalajara	14	19	8	79	3	3	17	40	46	118	
Guipúzcoa	13	16	10	197	6	9	21	11	159	31	S 17
Huelva	18	24	12	80	0	1	7	3	57	155	SO
Huesca	13	19	8	88	4	1	21	45	79	96	calma
Jaén	17	22	12	61	2	2	9	6	34	123	SO 5
León	11	17	5	119	13	6	16	80	94	78	NO 8
Lérida	15	21	9	79	2	1	14	42	72	99	
Lugo	12	17	7	161	9	6	10	35	146	51	NE 12
Madrid	14	19	9	101	4	2	11	30	77	108	NE 10
Málaga	18	23	14	62	0	0	10	0	58	109	S 7
Melilla	18	23	13	55	0	1	2	0	55	92	
Murcia	17	22	12	66	0	1	9	6	63	72	SO
Navarra	12	18	7	134	8	1	14	45	118	53	N 8
Orense	14	19	9	106	1	1	5	24	106		
Palencia	12	17	6	104	8	5	15	59	102	82	NE
Las Palmas	20	23	17	69	0	0	3	0	47	58	NE 9
Pontevedra	15	19	11	158	0	9	14	1	103	87	N 12
La Rioja	13	19	8	134	8	3	19	31	115	69	NO
Salamanca	12	18	6	101	7	4	10	74	94	72	O
Sta. C. de Tenerife	21	24	17	73	0	1	2	0	42	106	N 18
Segovia	11	17	6	87	11	3	11	70	105	101	O
Sevilla	19	25	13	69	0	0	4	5	65	123	SO
Soria	10	16	4	112	17	3	18	92	105	82	varía 15
Tarragona	16	19	12	69	1	2	11	4	57	69	S 5
Teruel	15	20	10	86	3	2	13	26	62	75	
Toledo	15	21	9	97	3	2	15	33	69	104	E 5
Valencia	17	22	12	94	1	1	14	3	65	82	O 10
Valladolid	12	18	6	120	8	6	17	62	105	67	SO 10
Vizcaya	14	19	9	153	3	3	13	11	162	39	
Zamora	12	18	6	104	3	2	9	58	83	96	O 11
Zaragoza	15	20	10	94	2	1	10	20	79	88	NO 15

$\bar{t}$  = Temperatura media

$t_M$  = Temperatura media de las máximas

$t_m$  = Temperatura media de las mínimas

$\bar{D}_R$  = Número medio de días de lluvia

$\bar{D}_N$  = Número medio de días de nieve

$\bar{D}_G$  = Número medio de días de granizo

$\bar{D}_T$  = Número medio de días de tormenta

$\bar{D}_H$  = Número medio de días de helada

$\bar{C}$  = Número medio de días cubiertos

$\bar{D}$  = Número medio de días despejados

V = Dirección y velocidad (en km/h) de los vientos dominantes

## *Bibliografía*

- AEDES:** «*Ponencias del Congreso Iberoamericano de Energía Solar 2008*». Vigo, 2008.
- Alcor, Enrique:** «*Instalaciones Solares Fotovoltaicas*». Progensa, Sevilla, 2008.
- Argul, F. J. y otros:** «*Edificios Fotovoltaicos. Técnicas y Programas de Simulación*». Progensa, Sevilla, 2004.
- ASHRAE:** «*Active Solar Heating Systems Design Manual*». American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, USA, 1988.
- ASIF:** «*Sistemas de Energía Fotovoltaica*». Progensa, Sevilla, 2008.
- Australian and New Zealand Solar Energy Society:** «*Prospects for Renewable Energy in Australia*». ANZES, Victoria, Australia, 1989.
- Baker, N. V., Franchiotti A., Steemers K:** «*Daylighting in Architecture - A European Reference Book*». James & James, Londres, 1993.
- Bankston, C. A. y otros:** «*Solar Heat Technologies: Fundamentals and Applications*». The MIT Press, Cambridge, USA, 1991.
- Bansal N. K., Hauser G., Minke G:** «*Passive Building Design*». Elsevier, Amsterdam, 1994.
- Bourges, B:** «*European Simplified Methods for Active Solar Systems Design*». Kluwer Academic Press, Holanda, 1991.
- Carvalho, M. J. y Collares, M:** «*Função utilizabilidade. Nova forma funcional*». Ponencia presentada en el IV Congreso Iberoamericano de Energías Renovables, Madrid, 1990.
- Castro, M. y otros:** «*Energía Solar Fotovoltaica*». Progensa, Sevilla, 2008.
- Castro, M. y otros:** «*Energía Solar Térmica de Baja Temperatura*». Progensa, Sevilla, 2008.
- Castro, M. y otros:** «*Energía Solar Térmica de Media y Alta Temperatura*». Progensa, Sevilla, 2006.
- Castro, M. y otros:** «*Sistemas de Bombeo Eólicos y Fotovoltaicos*» Progensa, Sevilla, 2003.
- CENSOLAR:** «*Cocinas solares. Manual de construcción y uso*». Progensa, Sevilla, 2004.

**CENSOLAR:** «*Base de Datos Internacional de Irradiación Solar H-WORLD*». Progensa, Sevilla, 1993.

**CENSOLAR:** «*Curso de Experto Profesional en Energía Fotovoltaica*». Progensa, Sevilla, 2009.

**Commission of the European Communities:** «*Advanced Solar Collectors for Water Heating*». (EUR 11277), Office for Official Publication of the European Communities, Luxemburgo, 1988.

**Commission of the European Communities:** «*Solar-heated swimming pools*». Office for Official Publication of the European Communities, Luxemburgo, 1988.

**De Ron, A. J.:** «*Dynamic Modelling and verification of a Flat-Plate Solar Collector*». Solar Energy, Vol. 24, p. 117-128, Pergamon Press, 1980.

**Duffie, J. A. y Beckman, W. A.:** «*Solar Energy of Thermal Processes*». John Wiley & Sons, New York, 1991.

**Energy Research Group:** «*European Passive Solar Handbook*». University College, Dublín, 1990.

**Falk Antony y otros:** «*Fotovoltaica para Profesionales*». Progensa, Sevilla, 2006.

**Fuentes, A. y Álvarez, M.:** «*Prácticas de Energía Solar Fotovoltaica*». Progensa, Sevilla, 2005.

**Goulding, J. R., Lewis, J. O. y Steemers, T. C.:** «*Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook*». Bastsford Books, Reino Unido, 1992.

**Hedger, J.:** «*Solar Energy. The Sleeping Giant*». Akela West Publications, Deming, 1993.

**Humm O., Toggweiler P.:** «*Photovoltaic in Architecture*». Birkamer, Basilea, 1994.

**Imamura M. S. y otros:** «*Photovoltaic System Technology - A European Handbook*». HS Stephens & Associates, Bedford, 1993.

**IDAE:** «*Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*». Progensa, Sevilla, 2009

**IDAE:** «*Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*». Progensa, Sevilla, 2009.

**IDAE:** «*Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red*». Progensa, Sevilla, 2009.

**INTA. Norma 610001:** «*Ensayo de Colectores Solares en Régimen Estacionario*». Madrid, 1979.

- INTA. Norma 610002:** «*Ensayos de Resistencia y Durabilidad de Colectores Solares Planos*». Madrid, 1984.
- International Energy Agency:** «*Photovoltaics in Buildings*». James & James. Londres, 1996.
- Jarabo Friedrich, F. y otros:** «*El libro de las energías renovables*». S.A.P.T., Madrid, 1988.
- Lasnier, F. y Ang, T. G.:** «*Photovoltaic Engineering Handbook*». Adam Hilger, Bristol, Reino Unido, 1990.
- Lejardi, Lionel:** «*Acumuladores de electricidad. Manual práctico*». Progensa, Sevilla, 1988.
- Löff G.:** «*Active Solar Systems-Solar Heat Technologies*». Mit Press, Cambridge, 1993.
- Lorenzo, E. y otros:** «*Cuaderno de Campo de Electrificación Solar Fotovoltaica*». Progensa, Sevilla, 2001.
- Lorenzo, E. y otros:** «*Solar Electricity. Engineering of Photovoltaic Systems*». Progensa, Sevilla, 1994.
- Luboschik, U. y Kaut, W.:** «*Solar heated swimming pools in Europe*». Primera Conferencia de la CE sobre calentamiento solar, Amsterdam, 1984.
- Lunde, Peter, J.:** «*Solar Thermal Engineering*». John Wiley & Sons, New York, 1980.
- Luque, A.:** «*Solar Cells and optics for photovoltaic concentration*». Adam Hilger, Bristol, Reino Unido, 1989.
- Luque, A. y Araujo, G. L.:** «*Physical Limitations to Photovoltaic Energy Conversion*». Adam Hilger, Bristol, Reino Unido, 1990.
- Maintenance and Operation of Stand-Alone Photovoltaic Systems:** «*US Department of Energy, Sandia National Laboratories*». Albuquerque, USA, 1991.
- Moller, H.:** «*Semiconductors for Solar Cells*». Artech House, Norwood, 1994.
- Moore, F.:** «*Environmental Control Systems: Heating, Cooling, Lighting*». McGraw-Hill, USA, 1993.
- Nicolson, Iain:** «*El Sol*». Progensa. Sevilla, 1986.
- Norton, B.:** «*Solar Energy Technology*». Springer-Verlag, Berlín, 1991.
- Palz, W. e Imamura, M. S. y Helm, P.:** «*Photovoltaic System Technology*». Kluwer Academic Press, Holanda, 1991.

- Parker, B. F. (Ed.):** «*Solar Energy in Agriculture*». Elsevier, Amsterdam, 1991.
- Parra, E. P. y Pérez, D. y Del Alamo, J. L.:** «*Proyecto de análisis y registro automático de operaciones para pequeños sistemas fotovoltaicos*». Ponencia presentada en el IV Congreso Iberoamericano de Energías Renovables, Madrid, 1990.
- Peuser, F. A. y otros:** «*Sistemas Solares Térmicos. Diseño e Instalación*». Progensa, Sevilla, 2004.
- Pulcinelli, F. M.:** «*Photovoltaic Module Assembling Line*». Ponencia presentada en el XXIII Congreso COMPLES, Sevilla, 1985.
- Ramos Berjano, F. y Tinaut Plaza, D.:** «*Modelización, Simulación y Optimización de Sistemas Térmicos de Energía Solar*». C.S.I.C., 1980.
- Rostvik, H.:** «*The Sunshine Revolution*». Sunlab Pub., Stavanger, Noruega, 1992.
- Sayigh, A. A. M. y McVeigh, J. C. (eds):** «*Solar Air Conditioning and Refrigeration*». Pergamon Press, Oxford, 1991.
- SEBA:** «*Manual del Usuario de Instalaciones Fotovoltaicas*» Progensa, Sevilla, 2002.
- Szokolay, S. V.:** «*Solar Energy and Building*». John Wiley & Sons, New York, 1975.
- Takahashi, K. y Konogai, M.:** «*Amorphous Silicon Solar Cells*». North Oxford Academic Publishers, Londres, 1986.
- Treble, F.C.:** «*Generating Electricity from the Sun*». Pergamon Press, Riverside, USA, 1991.
- U.S. Government Printing Office:** «*Photovoltaics Technical Information Guide*». Washington, 1989.
- Utrillas, P. y Martínez, J. A. y Casanovas, A. J.:** «*Irradiación difusa sobre superficies verticales*». Ponencia presentada en el IV Congreso Iberoamericano de Energías Renovables, Madrid, 1990.
- Wang, Y. J.:** «*The Sizing of Stand-Alone Photovoltaic Systems: AIT Research Study*». Asian Institute of Technology, Bangkok, 1987.
- Wills R.:** «*The Interconnection of PV Power Systems with the Utility Grid. An Overview for Utility Engineers*». SAND94-1057, Sandia National Laboratories. Albuquerque, NM, 1994.
- Zold, A., Santamouris, M.:** «*Fundamentals of Passive Solar Heating*». M. CIENE, Universidad de Atenas, Atenas, 1994.



## ***Nota de interés para los lectores***


El Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR) ha desarrollado un completo programa de formación técnica a distancia destinado a capacitar profesionalmente a aquellas personas, residentes en España o en el extranjero, que deseen especializarse en el diseño, cálculo y ejecución de instalaciones de Energía Solar, tanto térmicas como fotovoltaicas.

El curso, que incluye software diverso, tiene una duración aproximada de unos ocho meses, estando enfocado hacia la práctica profesional. No requiere conocimientos previos de la materia, aunque se recomienda una formación técnica general, al menos de grado medio.

Los interesados pueden obtener el programa e información adicional de publicaciones y software sobre las aplicaciones de la energía solar dirigiéndose a:

### **CENSOLAR**

Departamento de Formación  
Parque Industrial PISA, c/ Comercio, 12  
41927 Mairena del Aljarafe  
Sevilla (España)

 954 186 200 Fax: 954 186 111 Email: [central@censolar.edu](mailto:central@censolar.edu)

**[www.censolar.edu](http://www.censolar.edu)**

