

Energías renovables para todos

Solar térmica

Solar



IBERDROLA

Energías
renovables

Energía Solar Térmica

Pep Puig, Marta Jofra

EL SOL

La radiación solar tiene su origen en el Sol, una de las más de 135.000 millones de estrellas de la Vía Láctea. El Sol es un inmenso reactor de fusión termonuclear que quema cada segundo 600.000.000 toneladas de hidrógeno a 20 millones de grados Kelvin, irradiando una cantidad de energía equivalente a $3,7 \times 10^{23}$ kW, lo que representa 64.070 kW por m^2 de superficie solar.

El Sol está localizado a una distancia media de 150 millones de kilómetros respecto de la Tierra, distancia conocida como unidad astronómica (UA) y tiene una vida estimada de varios miles de millones de años, por lo cual tenemos asegurado

su funcionamiento seguro y sin ningún gasto de inversión ni mantenimiento.

LA RELACIÓN ENTRE EL SOL Y LA TIERRA

Cualquier persona que quiera aprovechar la energía solar debe ser capaz de responder a la pregunta de qué cantidad de energía llega al lugar donde prevé realizar la captación, cada hora, cada mes, cada año o en promedio (horario, mensual, anual). Para ello es necesario comprender el movimiento relativo de la Tierra y el Sol. La Tierra gira alrededor del Sol describiendo una órbita elíptica. Al mismo tiempo, la Tierra gira sobre ella misma alrededor de un eje, tardando un día en hacer este giro.



De toda la energía irradiada por el Sol, el sistema atmósfera-Tierra intercepta durante su viaje alrededor del mismo sólo una parte: el equivalente a $1,7 \times 10^{14}$ kW, lo que representa que una superficie perpendicular a los rayos solares recibe 1.367 W/m^2 . Esta unidad se conoce como constante solar.

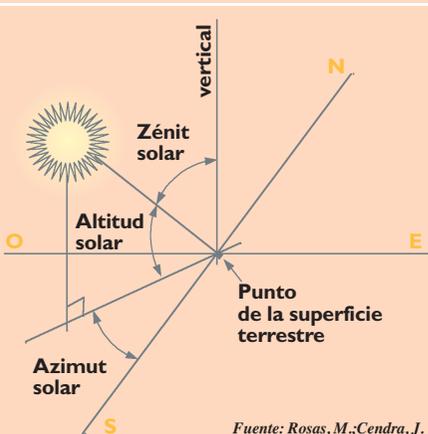
En la superficie terrestre la insolación diaria queda bastante alejada de los niveles extra-atmosféricos, por efecto de la absorción, la reflexión (efecto “albedo”) y la dispersión de radiación por parte de las nubes y del resto de elementos químicos en suspensión que, además de recortar los niveles de radiación directa que

© Star & Heliospheric Observatory (SOHO)

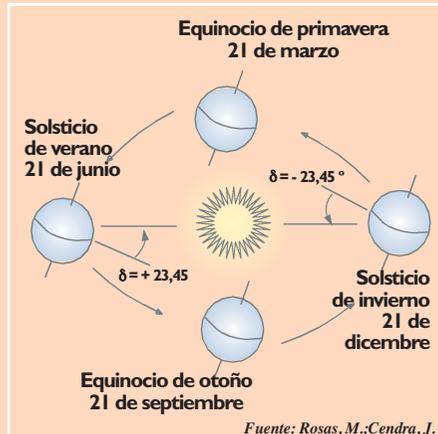


La energía solar que absorbe la Tierra es del orden de 19.000 kW/habitante, lo que equivaldría a la potencia de 120 millones de reactores nucleares de 1.000 MW.

Altitud, cénit y azimut solar (Para el hemisferio norte)

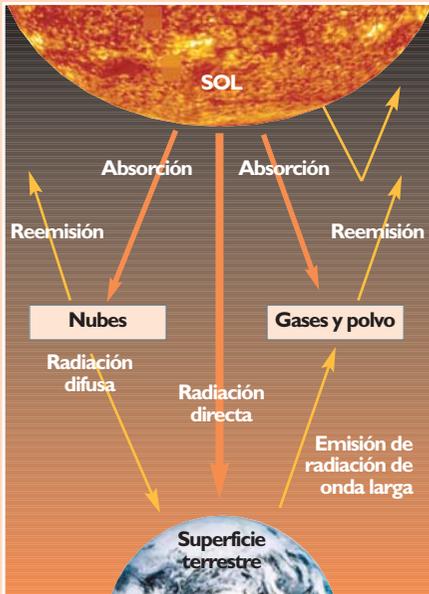


Declinación (Estación correspondiente al hemisferio norte)





Balace energético en la biosfera



Fuente: Doménech, X.

llega a la Tierra la transforman en radiación difusa. Como ejemplo, en días soleados más del 90% de la radiación es directa, superando 1.000 W/m^2 a nivel de la superficie de la Tierra; en cambio, para días seminublados se reduce hasta 600 W/m^2 , en días nublados llega a 300 W/m^2 y en días con niebla se puede llegar hasta 100 W/m^2 .

La fracción de energía solar absorbida por la Tierra equivale a $1,2 \times 10^{14} \text{ kW}$, lo que representa más de $19.000 \text{ kW/habitante}$, la potencia correspondiente a 120 millones de reactores nucleares de 1.000 MW de potencia eléctrica unitaria o 340.000 veces la potencia nuclear instalada en el mundo. A lo largo de un año representa 14.000 veces el consumo energético mundial o 28.000 veces la producción mundial de petróleo.

El eje perpendicular al eje de rotación de la Tierra está inclinado $23,45^\circ$ respecto al plano orbital marcado por la línea Tierra-Sol, con lo cual el eje que forman el Ecuador terrestre y el plano orbital varía a lo largo del año entre $+23,45^\circ$. Este ángulo es lo que conocemos como declinación, y da lugar a las distintas estaciones del año, ya que hace que los rayos del Sol incidan con mayor o menor ángulo sobre la superficie terrestre.

La posición relativa del Sol en el firmamento respecto a un punto de la superficie terrestre se puede definir por dos ángulos: la altitud solar —que es el ángulo entre la línea que pasa por el punto y el Sol, y la línea tangente a la superficie terrestre— y el acimut solar —que es el ángulo entre la proyección del Sol en el horizonte y la línea norte-sur (toma valores positivos hacia el este y negativo hacia el oeste en ambos hemisferios). El ángulo complementario a la altitud solar se denomina zenit solar. La posición del Sol en el firmamento dependerá, pues, de la situación del punto en la Tierra, de la época del año y del momento del día.

A la derecha, colector disco parabólico que construyó el francés Mouchot en 1874. Fue expuesto en la Exposición Universal de París de 1878. Dos años después, un ayudante suyo expuso otro colector en los jardines de las Tuileries con el que accionaba una máquina de vapor que, a su vez, accionaba una rotativa, donde se imprimieron 500 ejemplares del "Journal Soleil".

Por todo ello, para vencer los efectos que la declinación tiene sobre el ángulo de incidencia de la radiación solar y conseguir interceptar esta radiación de la forma más perpendicularmente posible, los captadores solares tienen que estar inclinados un cierto ángulo respecto al suelo, y a la vez orientados lo más al sur posible.

EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA USOS TÉRMICOS

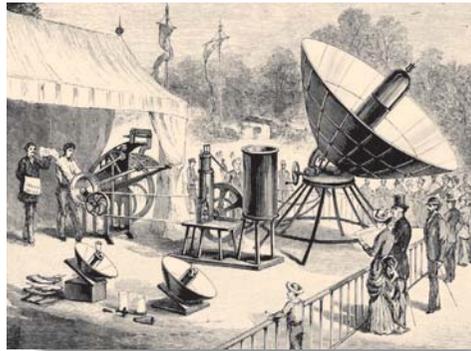
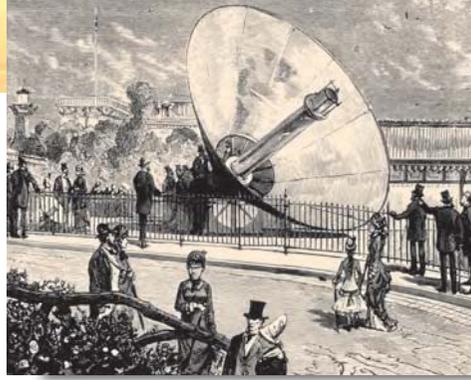
Aprovechar la energía solar es captarla y convertirla en energía útil para la humanidad. Pero el resultado neto de este aprovechamiento es el mismo que si no hubiese habido interferencia humana en el proceso de irradiación hacia el espacio exterior. La captación y el uso de la energía del Sol sólo significa un retraso o un desfase en el proceso, como resultado del aprovechamiento humano o del aprovechamiento que realizan los procesos naturales de las plantas verdes (fotosíntesis).

FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

El principio básico común a todos los sistemas solares térmicos es simple: la radiación solar es captada y el calor se transfiere a un medio portador de calor, generalmente un fluido –agua o aire–. El medio calentado se puede usar directamente –como por ejemplo en el caso de las piscinas–, o indirectamente, mediante un intercambiador de calor que transfiere el calor a su destino final –por ejemplo, la calefacción de un ambiente–.

LOS CAPTADORES (O COLECTORES) SOLARES

El sistema más conocido de aprovechamiento de la energía solar es el captador solar, que absorbe la radiación del Sol y transmite la energía absorbida a un fluido portador (principalmente agua, aunque también se puede utilizar aire o una mezcla de agua con otros líquidos). El colector, además de absorber la radiación solar, emite ra-



diación térmica y pierde energía por conducción y convección. Los colectores solares que se comercializan actualmente tienen un elevado grado de absorción (minimizando la reflexión y la transmisión) y un bajo nivel de pérdidas caloríficas. Si el colector está unido a un depósito de almacenamiento, entonces el fluido irá transportando el calor hacia el depósito, donde la temperatura del fluido irá aumentando.

Se han diseñado distintas y avanzadas versiones de colectores solares térmicos con el objetivo de incrementar la cantidad de energía absorbida y disminuir las pérdidas. Los más comunes son los colectores planos, que utilizan como fluido el agua y tienen una cubierta de vidrio. En la actualidad también se comercializan colectores solares tubulares de vacío, con los que se consiguen temperaturas más elevadas. Existen otro tipo de colectores que utilizan aire como fluido.

El principio de funcionamiento del colector solar se basa en la trampa de calor que una superficie acristalada produce (conocido como efecto invernadero). La radiación incidente del Sol, de onda corta, atraviesa el cristal y es absor-

La foto en blanco y negro de la derecha es la casa con colectores solares diseñada en 1938 por un equipo del Massachusetts Institute of Technology. Al lado, anuncio de Climax, los primeros colectores comerciales; en 1900 ya había instalados más de 1.600 sistemas de este tipo en California.

Esquema de sistema solar térmico con aporte adicional de energía para una vivienda



bida por una superficie que se calienta. Ésta, a su vez, emite radiación térmica (de onda larga), pero esta radiación es atrapada por el cristal, que impide su paso.

Los primeros colectores planos comerciales procedían de una patente realizada por C.L.Kemp, de Baltimore (Maryland, 1891). Se denominaban Climax y en el año 1900 ya había instalados más de 1.600 sistemas de este tipo en California.

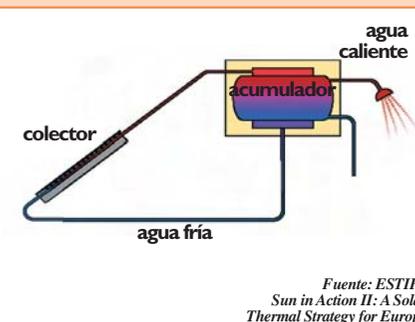
Para el aprovechamiento de la energía solar se pueden distinguir dos grandes grupos de sistemas, según necesiten o no algún aporte adicional de energía para hacer posible que la energía solar captada pueda utilizarse, como energía térmica, en el lugar donde se necesita.

SISTEMAS SOLARES CON APOORTE ADICIONAL DE ENERGÍA

Los sistemas de aprovechamiento solar necesitan, muchas veces, alguna fuente de energía adicional para el accionamiento de los elementos de circulación del fluido. Tal es el caso de las instalaciones para agua caliente sanitaria o/y calefacción, tanto si utilizan colectores planos como tubulares de vacío. Es lo que se conoce como circulación forzada. Mediante una bomba de circulación se puede situar el acumulador solar en el interior de un edificio, lo cual permite una mejor integración del sistema. Son más flexibles, pero también más complejos, pues requieren una bomba y un controlador.

Ya en el año 1909, W.J. Bailey empezó a vender unos revolucionarios sistemas solares que suministraban agua caliente, las 24 horas del día, con Sol o en días nublados. Lo conseguía separando el sistema de captación del de almacenamiento. Era el nacimiento de la tecnología que hoy se ha generalizado para el calentamiento del agua a partir del Sol. A finales de la Primera Guerra Mundial, Bailey había instalado más de 4.000, bajo la marca comercial 'Día y noche'.

Esquema de una instalación solar térmica sin aporte adicional de energía (termosifón)





Climax Solar-Water Heater
 UTILIZING ONE OF NATURE'S GENEROUS FORCES
THE SUN'S HEAT (Stored up in Hot Water for Baths, Domestic and other Purposes.)

GIVES HOT WATER AT ALL HOURS OF THE DAY AND NIGHT.
 NO DELAY.
 FLOWS INSTANTLY.
 NO CARE. NO WORRY.
 ALWAYS CHARGED. ALWAYS READY.
 THE WATER AT TIMES ALMOST BOILS.

Price, No. 1, \$25.00
 This Size will Supply sufficient for 2 to 3 Baths.

CLARENCE M. KEMP, BALTIMORE, MD.

Price of No. 1 Heater for 1932 Reduced to \$12.50

En 1938 un equipo de ingenieros del MIT (Massachusetts Institute of Technology), de Estados Unidos, dirigidos por Hoyt Hottel, iniciaron dos décadas de investigación en torno a la aplicación de colectores solares para calentamiento de viviendas. Diseñaron y construyeron una vivienda con colectores solares en el tejado, que almacenaba la energía del Sol en forma de agua caliente en un depósito subterráneo de 65.000 litros, situado en el subsuelo de la misma. La segunda guerra mundial interrumpió este trabajo.

Mientras los proyectos del MIT se paralizaban, un ingeniero que había participado en ese proyecto, Dr. George Löf, desarrolló un sistema de aprovechamiento de la energía solar mediante colectores solares planos de aire situados en el tejado de un edificio, preocupado por la posible escasez de la energía debido las necesidades de combustible de la maquinaria militar durante la Segunda Guerra Mundial.

Finalizada la guerra el equipo del MIT volvió sobre la vivienda con colectores solares e introdujeron algunas modificaciones: dotarla de una

f fuente de energía auxiliar y equiparla con grandes ventanales en su fachada sur. Durante dos años fue ocupada por una familia y monitorizada completamente. El resultado fue espectacular: casi tres cuartas partes de las necesidades de calefacción fueron cubiertas mediante la energía solar.

Al mismo tiempo, en Dover (Massachusetts), la Dra. María Telkes decidió investigar las propiedades de los materiales que cambian de estado según la temperatura. Utilizó las denominadas sales de Glauber que tienen una capacidad de acumulación de calor 7 veces superior al mismo volumen de agua.

LOS SISTEMAS SIN APORTE ADICIONAL DE ENERGÍA

Uno de los ejemplos más elementales de estos sistemas es el constituido por el conjunto formado por una habitación en la cual hay una abertura acristalada en la cara sur. La radiación solar penetra en el recinto a través del acristalamiento, calentando el aire y las paredes, remitiéndose al exterior sólo una pequeña fracción de la radiación incidente en la superficie del acristalamiento.



También se incluye en estos sistemas la pared gruesa de un edificio, a la que da el Sol durante el día. La pared absorbe la radiación, actuando como un acumulador. Por la noche libera la energía acumulada. Se han diseñado versiones más sofisticadas de paredes absorbentes, añadiendo exteriormente acristalamientos y haciendo circular aire entre el cristal y la pared. En la década de los 50, este principio fue recuperado por Felix Trombe, que construyó diversos edificios en el sur de Francia basándose en esta elemental tecnología. Desde entonces y en honor a su divulgador, se conoce con la denominación de Pared Trombe. De esta forma se puede lograr la climatización de edificios (calentar en invierno y refrigerar en verano, aprovechando los ciclos día noche, invierno verano).

Los invernaderos son también ejemplos de sistemas de aprovechamiento de la energía solar sin aporte adicional de energía, tanto los utilizados en la agricultura como los adosados integrados en edificios de viviendas y oficinas.

Tal vez el sistema más sofisticado para el aprovechamiento de la energía solar es la denominada arquitectura solar, a veces denominada también arquitectura bioclimática, que consiste en diseñar los edificios de acuerdo con la radiación solar que se recibe y de las características del lugar. Hace más de 2500 años, en la antigua Grecia, se empezaron a diseñar viviendas que

permitían la captación de la energía del Sol, sobre todo durante los meses de invierno (Sócrates decía “el edificio ideal ha de ser fresco en verano y cálido en invierno”). De esta forma empezaron a construir viviendas y edificios orientados y con grandes aberturas al Sur, de manera que en invierno el Sol penetrase en ellas, y en verano, a través de voladizos, se impidiera su entrada.

Muchas culturas de la antigüedad, no sólo en Europa sino también en Asia y América, construyeron edificios basándose en el Sol. Es bien conocida la cultura Anasazi (denominada “Pueblo” por los invasores europeos) por sus edificios y poblados, construidos a lo largo de los siglos XI y XII, y que hoy no dudaríamos en calificar como bioclimáticos.

Pero también los captadores solares pueden funcionar sin aporte adicional de energía, mediante los sistemas denominados termosifones, que utilizan la gravedad para hacer circular el agua entre el colector y el depósito de acumulación, pues el fluido caliente es menos denso que el frío y tiende a circular hacia el depósito, que está situado por encima del captador. Estos sistemas son más simples, pues no precisan bombas de circulación ni reguladores; pero, por otro lado, requieren que el depósito de acumulación esté situado encima del captador, lo cual en muchos casos significa encima del tejado.



© Solon



© Solon

De entre las tecnologías que se emplean en la energía solar termoelectrónica, los sistemas disco parabólicos (en la página anterior) son, de momento, los que menos desarrollo han alcanzado. A la izquierda, colectores de tubos de vacío y un acumulador de agua.

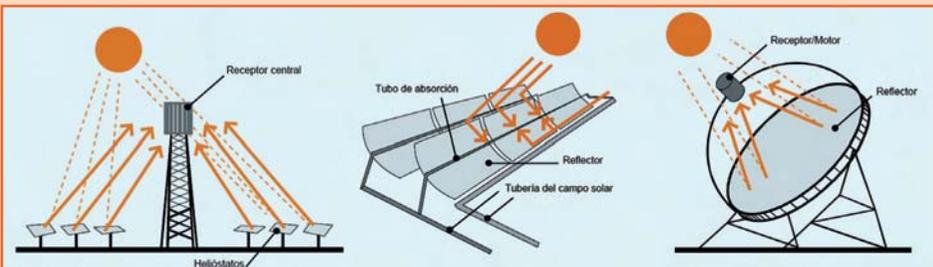
COLECTORES DE VACÍO

Se puede aumentar el flujo medio de radiación incidente substituyendo la instalación fija por un sistema de seguimiento del Sol. Otras posibles mejoras del colector plano incluyen el revestimiento de las paredes del colector para reducir las pérdidas por reflexión en la cara externa e incrementar la reflexión en las superficies interiores. Las pérdidas por convección se pueden reducir instalando protecciones en los bordes para evitar el efecto del viento. Estas pérdidas se pueden reducir drásticamente haciendo el vacío entre la superficie absorbente y la de cobertura del colector. Los colectores de vacío no tienen una superficie de captación plana sino que utilizan dispositivos cilíndricos y de

concentración. A pesar de ello, la disposición constructiva de los tubos de vacío en el captador le da una apariencia parecida a la de un colector plano.

Los sistemas de concentración constituyen un tipo distinto de colectores solares. Son imprescindibles si se requieren elevadas temperaturas (superiores a 100°C), que un colector plano nunca podrá suministrar. Entre ellos existen los colectores que concentran en un punto y los que concentran en una línea. En ellos la superficie absorbente corresponde a la imagen del Sol reflejada en la superficie de captación. Estos sistemas necesitan dispositivos de seguimiento del Sol a lo largo de su trayectoria diaria.

Tipos de centrales termosolares



APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar puede aplicarse a una gran variedad de usos térmicos, incluyendo el agua caliente sanitaria, la calefacción de interiores o el secado. También se están desarrollando nuevas áreas de aplicación, de las cuales quizás la más interesante resulte la climatización solar.

AGUA CALIENTE SANITARIA DOMÉSTICA

Actualmente es sin duda la aplicación más extendida de la energía solar. Los sistemas están diseñados para cubrir el 100% de la demanda de agua caliente durante el verano, y el 50-80% del total a lo largo del año. Para esta aplicación se utilizan sistemas de circulación forzada o termosifones (más extendidos en el sur de Europa), que generalmente cuentan con un calentador convencional de apoyo para cubrir las necesidades cuando el sistema solar no puede hacerlo. Los termosifones utilizados para el agua caliente sanitaria de una vivienda unifamiliar tipo tienen un colector de 2-5 m² y un depósito de 100-200 litros, y los sistemas con circulación forzada cuentan generalmente con un colector de 3 a 6 m² y un acumulador de 150-400 litros. Pero también existen instalaciones grandes que dan servicio a edificios plurifamiliares, bloques de apartamentos, hoteles o edificios de oficinas. En estos siste-

Los colectores solares comienzan a formar parte del paisaje. Si antes de construir cualquier edificio se pensara en aprovechar la energía solar, la integración arquitectónica ganaría muchos enteros.

mas la superficie de colectores puede variar desde los 10 hasta los centenares de m².

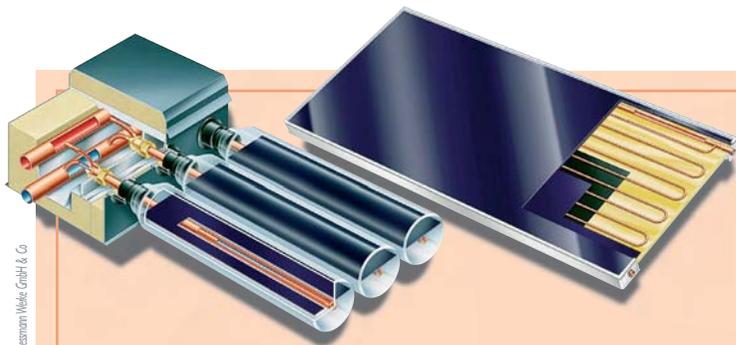
SISTEMAS COMBINADOS DE ACS Y CALEFACCIÓN

En Europa Central y del Norte resulta común instalar sistemas solares térmicos para cubrir la demanda de calefacción además de la de agua caliente sanitaria. En este caso la superficie de colectores está entre los 7 y los 20 m², y la capacidad del acumulador entre los 300 y los 2.000 litros. Estos sistemas son más complejos que los que se utilizan sólo para el agua caliente sanitaria.

REFRIGERACIÓN SOLAR

Hace cientos de años, se fabricaba hielo en los desiertos de Persia. Ello se conseguía en balsas rodeadas de paredes que las protegían de la luz solar y aprovechando la diferencia de temperatura entre el día y la noche de invierno. El hielo así obtenido se guardaba en depósitos bajo tierra para ser utilizado en verano.

Para la refrigeración solar se utilizan sistemas que acoplan el colector solar-depósito de almacenamiento de calor a un ciclo de absorción que extrae calor de un "depósito frío". El ciclo de absorción se consigue utilizando mezclas absorbentes-refrigerantes (agua amoníaco, bromuro de litio agua,...). En ellas el calor solar se usa para



Los colectores de tubos de vacío alcanzan temperaturas más elevadas que los planos por lo que, además de servir para disponer de agua caliente sanitaria, pueden proporcionar calefacción y refrigeración solar.



vaporizar parte del agua de la mezcla (se requieren pues temperaturas de trabajo superiores a los 100°C). El vapor se condensa mediante un refrigerante, luego se expande hasta volver a la fase de vapor (por tanto extrae calor de la zona a ser refrigerada) y es devuelto a la unidad de absorción.

SECADO SOLAR

Son de una gran utilidad en países donde no se dispone de otras formas de energía para la conservación de alimentos. El secado solar de las cosechas se ha utilizado durante siglos, simple-

mente esparciendo el grano para exponerlo al Sol y al aire. También el secado de madera y de pescado se puede realizar mediante sistemas solares.

CALEFACCIÓN SOLAR POR AIRE

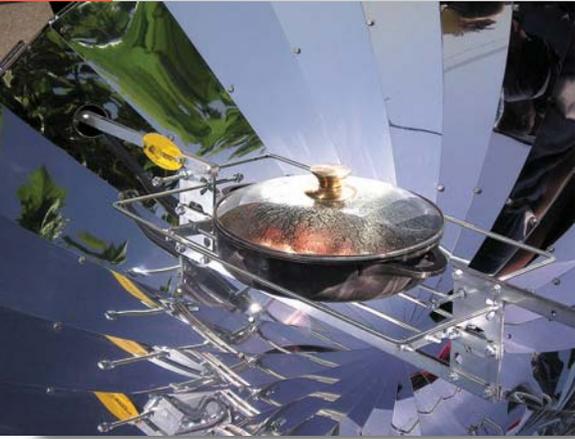
Estos sistemas utilizan el principio de succión del aire a través de un colector solar perforado, que puede servir al mismo tiempo de pared de un edificio. Estos sistemas son muy adecuados en edificios industriales con gran demanda de ventilación. Existen sistemas muy simples y efectivos de calefacción solar por aire en el mercado.

DESALINIZACIÓN SOLAR

La escasez de agua potable se da muchas ve-



Los colectores planos son la aplicación solar más extendida, y se utilizan fundamentalmente para obtener agua caliente sanitaria. Funcionan con sistemas de circulación forzada o con termosifones y la instalación admite todo tipo de tamaños.



ces en áreas con un alto índice de radiación solar o donde el precio de las fuentes de energías convencionales son muy altos. La destilación solar de agua (ya sea agua de mar, ya sea agua impura procedente de pozos) se realiza por medio de un alambique solar.

COCINAS SOLARES

Estos simples artefactos permiten el cocinado de alimentos y la pasteurización de agua en pocas horas, haciendo posible que en muchos lugares del mundo se ahorren cantidades considerables de leña para cocinar, además de reducir el riesgo de enfermedades ocasionadas por la contaminación fecal de las aguas. Una cocina solar en



combinación con una cesta aislante puede ahorrar aproximadamente 5 m³ (2.250 kg) de leña por año durante unos 10 años (un equipo de cocina solar cuesta alrededor de 120 euros).

SOLAR TÉRMICA DE ALTA TEMPERATURA

La radiación solar puede ser utilizada para la generación de electricidad mediante un proceso de dos etapas: primero convirtiéndola en calor y luego convirtiendo el calor en electricidad por medio de ciclos termodinámicos convencionales (utilizando colectores solares de concentración o campos de heliostatos que focalizan en un punto) o mediante generadores termoiónicos o termoelectrónicos.

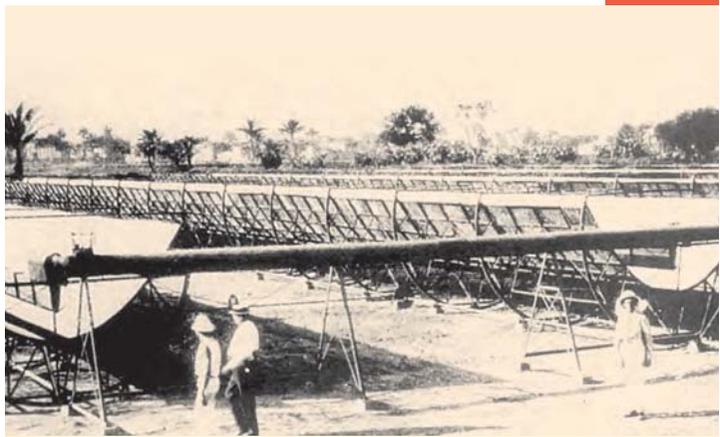
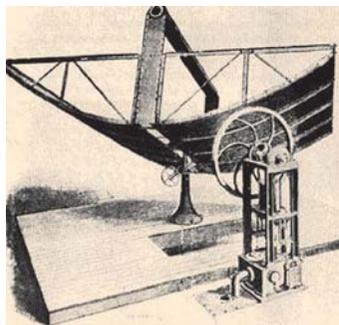
Las centrales térmicas solares se basan en espejos que concentran los rayos solares con la finalidad de calentamiento de un fluido, que convertido en vapor accionará una turbina, que a su vez impulsará un generador eléctrico. Se han desarrollado tres variantes de este principio: las centrales de torre, los discos parabólicos y los cilindros parabólicos. Las dos primeras son sistemas concentradores de foco puntual y la tercera es un sistema concentrador de foco lineal. En España existen más de 1.000 MW de proyectos comerciales de energía solar termoelectrónica que abarcan todas las tecnologías, y que tienen detrás a grandes corporaciones industriales.

CENTRALES SOLARES DE TORRE

Las centrales solares de torre constan de centenares o miles de espejos planos (heliostatos) que concentran la luz solar en un punto de la torre, donde se sitúa una caldera para calentar el fluido (agua, aire, metal líquido o sal fundida) que acciona la turbina mediante un ciclo de vapor. En la actualidad se están investigando sistemas avanzados que calientan aire a presión para inyectarlo en un turbina de gas de ciclo combinado.

La tecnología de las centrales solares de torre se empezó a aplicar a principios de los años 80. Las primeras centrales solares experimenta-

A la derecha, planta de Meadi (Egipto), construida en 1912 por Frank Shuman y C.V. Boys para el bombeo de agua con vapor. Es la primera gran central solar de la historia y utilizaba espejos cilindro-parabólicos con una superficie total de captación de 1.200 m.



les de estas características se construyeron en 1981 en España, Japón e Italia. En 2006 se inauguró en el municipio sevillano de Sanlúcar la Mayor la PS10, la primera planta comercial con torre central del mundo, con una potencia de 11 MW. Su producción puede abastecer las necesidades eléctricas de 6.000 hogares.

LOS DISCOS PARABÓLICOS

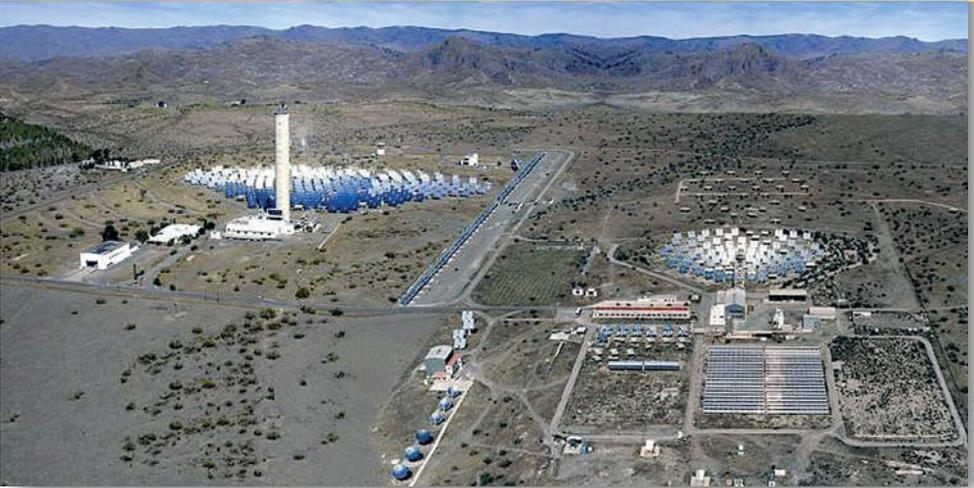
Los discos parabólicos pueden ser usados de forma individual para el accionamiento de un motor térmico situado en su foco o bien pueden ser utilizados colectivamente, formando agrupaciones, para el accionamiento de un motor térmico o turbina central.

Fue A. Mouchot quien en el año 1860 inició en Tours sus investigaciones para aprovechar la energía solar para accionar una máquina de vapor. Entre sus experimentos consiguió convertir vino en coñac, mediante la destilación solar. Ya en el año 1874 construyó su primer motor solar que consistía en un dispositivo concentrador cónico con una caldera situada a lo largo del eje del cono. Era un dispositivo que seguía al Sol y era capaz de generar el vapor necesario para accionar un motor de 0,5 HP. Fue expuesto en la Exposición Universal de París del año 1878. Posteriormente, en el año 1880, un ayudante suyo expuso este tipo de artefactos solares en los jardines de las Tuilleries. Uno de ellos accionaba

una máquina de vapor que a su vez, accionaba una rotativa, donde se imprimieron 500 ejemplares del "Journal Soleil".

En la Plataforma Solar de Almería se han desarrollado diversos prototipos de concentradores disco-parabólicos y se han instalado varios prototipos del denominado SunDish en Estados Unidos. Se basa en un dispositivo de concentración consistente en una estructura en forma de disco que soporta 16 discos que concentran los rayos del Sol en un foco donde está dispuesto un motor Stirling (55 kW_e) que puede funcionar concentrando los rayos del Sol o en combinación con cualquier tipo de combustible.

Pero quizás la realización más importante con esta tecnología son las famosas cocinas solares que la Asociación Brahma Kumaris tiene en funcionamiento en sus centros de formación en Mont Abu (Rajasthan, India). La primera de ellas se instaló en Gyan Sarovar (Academy for a Better World), en el año 1996 y tiene capacidad para cocinar 1.000 comidas/día (24 discos parabólicos, con una superficie de captación de 190 m²). En enero de 1998 se empezó la construcción de la cocina solar más grande del mundo: 84 espejos concentradores para la producción directa de vapor que alimenta una cocina que actualmente es capaz de servir 33.800 comidas al día.



La Plataforma Solar de Almería (arriba), gestionada por el CIEMAT, es uno de los centros de investigación en energía solar más importantes del mundo. Sus avances han posibilitado la puesta en marcha de plantas como la PS10 (a la derecha), que se ha construido en Sevilla.

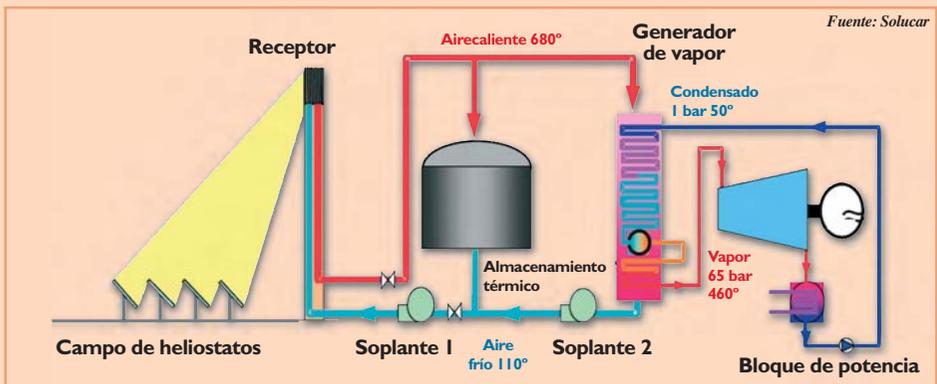
Las cocinas solares de Mont Abu se construyeron a partir de la experiencia acumulada por Seifert, cuyas cocinas se comercializan en España a través de la Fundació Terra.

LOS CILINDROS PARABÓLICOS

Concentran la luz solar sobre un eje por donde circula un fluido (generalmente aceite)

que se dirige hacia la zona de generación, donde se calienta agua hasta producir vapor para el accionamiento de una turbina. El desarrollo de los sistemas de captación solar a base de espejos en forma cilindro-parabólica se remonta a los años 1880, cuando John Ericsson construyó un sistema de espejos cilindro-parabólicos para alimentar un motor de aire caliente. Pero no fue hasta 1912 cuando este tipo de espejos se utilizaron de forma significativa para la generación de energía. Fueron Frank Shuman y C.V. Boys quienes construyeron una planta para el bombeo de agua con vapor en Meadi (Egipto) utilizando espejos cilindro-parabólicos con una superficie

Esquema de funcionamiento de la planta PS10





total de captación de 1.200 m². A pesar del éxito alcanzado, la planta se cerró en 1915 debido al inicio de la Primera Guerra Mundial y a los bajos precios del petróleo.

El interés en esta tecnología renació entre los años 70 y 80, como respuesta a la crisis del petróleo. Tanto el Departamento de Energía de Estados Unidos como el Ministerio de Investigación y Tecnología alemán desarrollaron diversos prototipos solares cilindro-parabólicos para la producción de vapor y para el bombeo de agua. En 1981 la Agencia Internacional de la Energía construyó y probó un sistema para la producción de electricidad a

base de captación solar mediante espejos cilindro-parabólicos de 500 kW de potencia en la Plataforma Solar de Almería (Tabernas).

Basándose en la tecnología de espejos cilindro-parabólicos, una pequeña empresa, Luz International Ltd., consiguió producir electricidad solar para cubrir las necesidades de miles de habitantes de California (900 GWh/año) y a un coste del kWh producido inferior al generado por las centrales nucleares en funcionamiento entonces en California. Así, Luz consiguió que una de las grandes empresas eléctricas de California (South California Edison) negociara un

Características de las centrales solares termoeléctricas

	CILINDRO PARABOLICOS	RECEPTOR CENTRAL	DISCOS PARABÓLICOS
■ Potencia	30-80 MW	10-200 MW	5-25 kW
■ Temperatura operación	400°C	565°C	750°C
■ Factor capacidad anual	23-50%	20-77%	25%
■ Eficiencia pico	20%	23%	30%
■ Eficiencia neta anual	14%	7-20%	11-25%
■ Estado comercial	Disponible	Disponible	Prototipos-demostración
■ Riesgo tecnológico	Bajo	Medio	Alto
■ Almacenamiento	Sí	Sí	Baterías
■ Diseños híbridos	Sí	Sí	Sí
■ Coste W instalado (euros)	3,49-2,34	3,83-2,16	11,00-1,14



© DDX



© DDX

contrato para la compra de electricidad de origen solar, durante 30 años. Estas centrales podían funcionar en modo solar o en combinación con gas natural, asegurando de esta forma su disponibilidad independientemente de las condiciones climatológicas, o del ciclo día-noche. Las centrales están en el desierto de Mojave y hoy continúan en funcionamiento con 354 MW de potencia instalada. Pero muy pronto serán más —en este caso con tecnología de torre— porque la eléctrica estadounidense Pacific Gas & Electric Company ha suscrito una serie de contratos para la compra de energía generada en tres centrales solares termoelectricas que sumarán 500 MW en total y que construirá el promotor solar BrightSource Energy. Además está abierta una opción para 400 MW adicionales.

La integración arquitectónica de los colectores térmicos puede transformar toda la fachada de un edificio en un gran captador de la energía del sol.

En España, en la Plataforma Solar de Almería, se está investigando con todas las tecnologías termosolares. En 2007 se estrenó la última, una central de demostración de 1 MW de potencia con tecnología Fresnel, que utiliza espejos planos móviles en lugar de cilíndricos. Pero ya están en marcha numerosos proyectos comerciales en nuestro país. Además de la PS10, la central de torre que está en operación desde 2006, hay otras plantas que entrarán en funcionamiento en 2008: Andasol I, en Granada, de 50 MW y tecnología cilindro parabólica; PS 20, en Sevilla, de 20 MW con torre central; o la cilindro parabólica de 50 MW de Iberdrola en Puertollano (Ciudad Real). Y cada día surgen nuevos proyectos. Todos ellos con importantes retos tecnológicos por delante como el almacenamiento de calor o la hibridación con biomasa o gas natural.

LA SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN ESPAÑA

A lo largo del año 2007 se instalaron en España 250.000 m² nuevos de superficie solar térmica, según datos de la Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT). Se estima que actualmente hay instalados 1.220.000 m² (854 MWt en potencia equivalente), una cifra aún muy alejada del objetivo fijado en el Plan de Energías Renovables: 4.900.000 m² en el año 2010.

Según ASIT, 95.000 m² fueron instalados gracias a programas de fomento y diferentes ayudas de las comunidades autónomas, mientras que los 1.155.000 m² restantes vinieron de la mano de las ordenanzas solares y del Código Técnico de la Edificación (CTE), en vigor desde octubre de 2006, que exige que todos los edificios de nueva construcción y rehabilitación cuenten con instalaciones de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria. El sector cree que las expectativas creadas por el CTE han defraudado, y que las ordenanzas sola-



res siguen siendo la locomotora de la solar térmica –un 40% del total instalado en 2007– mientras que el CTE supone un 28%. Casi lo mismo que las ayudas de las CCAA, que suman otro 24%.

El ejemplo de ordenanza solar adoptada por el Ayuntamiento de Barcelona (en julio 1999, aunque no sería de obligado cumplimiento hasta un año después) supuso un despertar en la energía solar térmica en España. Este acontecimiento pionero, fruto del trabajo de BarnaGEL –Barcelona Grup de Energía Local (Agencia SA-VE)– y de la Concejalía de Ciudad Sostenible (entre los años 1995 y 1999), fue emulado por numerosos municipios, tanto en Cataluña, como en el resto de España.

LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN EL MUNDO

Se calcula que en la Unión Europea había instalados 20 millones de m² de captadores solares (14.280 MWt) a finales de 2006, algo que no habría sido posible sin el empuje solar de países como Alemania, Grecia y Austria. El caso de Alemania es ejemplar. De los 3 millones de m² nuevos que se instalaron en 2006 en la Europa de los 25, la mitad se hicieron en Alemania. No menos espectacular resulta el caso de Chipre; este país es el que más cantidad de energía solar térmica aporta por habitante en el mundo, con 350 kWt por cada 1.000 habitantes. Más del 90% de los edificios construidos en Chipre están equipados con captadores solares térmicos. En cuanto a Grecia, en los últimos años se instalan más de 200.000 m² anuales. Hoy totalizan unos

Con las ayudas y subvenciones actuales, el periodo de amortización de una instalación solar térmica puede ser inferior a diez años, menos de la mitad de la vida media de este tipo de sistemas.



3,5 millones. Con un 17% de la superficie instalada en la UE, el país heleno dispone de un tejido solar que abastece de agua caliente a uno de cada cuatro habitantes.

En otras partes del mundo también hay buenos ejemplos del desarrollo de la energía solar térmica. Por ejemplo, Israel, donde alrededor del 85% de las viviendas están equipadas con colectores solares térmicos, como resultado de una ley de hace 25 años. En Turquía hay unos 10 millones

de metros cuadrados, y en China, el país con más superficie de captadores solares instalados, 78 millones, lo que supone aproximadamente el 40% de todos los instalados en el mundo. Hoy, más de 10 millones de familias chinas disponen de agua caliente gracias al sol.

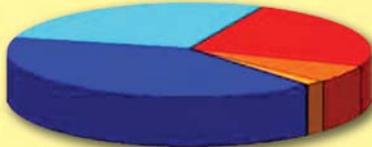
BENEFICIOS DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Un análisis de los recursos energéticos empleados para el calentamiento del agua en 10 países europeos revela que teniendo en cuenta los recursos que se utilizan actualmente, y suponiendo que el promedio de producción de calor de un sistema solar térmico es de 500 kWh/año, 15 millones de m² de paneles solares térmicos (la UE ya tiene 20 millones) producirían 1,19 Mtep anuales, y el ahorro de emisiones de CO₂ sería de 3 millones de toneladas anuales, contribuyendo en un 0,6% a los objetivos de reducción del Protocolo de Kioto para la Unión Europea.

El beneficio económico de la energía solar térmica consiste en la sustitución de una cantidad considerable de combustibles tradicionales, reduciendo y haciendo más predecibles en consecuencia los costes futuros. Los materiales, el diseño y la instalación suman prácticamente la totalidad de los costes de un sistema solar, pues no requiere ningún combustible para su funcio-

Nuevo parque instalado en 2007 en España

250.000 m²



■ Ordenanzas 40%, 100.000 m²
 ■ CTE 28%, 55.000 m²
 ■ Ayudas CCAA 24%, 60.000 m²

■ Aplicaciones Industriales 6%, 15.000 m²
 ■ Nuevas Aplicaciones 2%, 5.000 m²

Fuente: ASIT.



namiento y los costes de mantenimiento son muy bajos, al contrario de los sistemas convencionales de calentamiento.

Con los actuales precios de los combustibles tradicionales, el periodo de amortización de una instalación solar puede ser tan sólo de 5 a 10 años, menos que la vida media de una instalación (20-25 años). Y no parece que los combustibles fósiles vayan a abaratarse.

Sin embargo, el hecho de que la inversión inicial requerida para instalar un sistema solar térmico sea relativamente elevada supone una barrera para su expansión a gran escala, y es, sin duda, un obstáculo psicológico y financiero (muchacha gente tiende a descontar irracionalmente los costes futuros, mientras que las inversiones presentes tienden a sobrevalorarse).

Para superar esta barrera, muchos gobiernos nacionales, regionales y locales ofrecen incentivos económicos para la instalación de sistemas solares térmicos. Hasta ahora estos incentivos han resultado claves para la implantación de la energía solar térmica; sin embargo, la experiencia demuestra que tras superar una barrera crítica en el número de instalaciones, el mercado puede sostenerse por sí solo sin la necesidad de incentivos.

Más información

- **Asociación Solar de la Industria Térmica:**
www.asit-solar.com
- **Cocinas solares:**
<http://solarcooking.org>
- **Plataforma Solar de Almería:**
www.psa.es
- **Fundació Terra:**
www.terra.org
- **Federación de la Industria Solar Térmica Europea:**
www.estif.org
- **Protermosolar**
www.protermosolar.org

Créditos

“Energías Renovables para todos” es una colección elaborada por **Haya Comunicación**, editora de la revista “Energías Renovables”, www.energias-renovables.com con el patrocinio de **Iberdrola**.

- **Dirección de la colección:**
Luis Merino / Pepa Mosquera
- **Asesoramiento:**
Iberdrola. Gonzalo Sáenz de Miera
- **Diseño y maquetación:**
Fernando de Miguel/Judit González
- **Redacción de este cuaderno:**
Pep Puig, Marta Jofra
- **Mayo 2008**

Energías renovables para todos

La cantidad de energía solar que absorbe la Tierra al cabo de un año supone 14.000 veces el consumo energético mundial. Algo así como lo que producirían 120 millones de reactores nucleares de 1.000 MW cada uno. Existen distintas posibilidades de captación de esa energía, desde colectores planos de uso doméstico que se emplean para obtener agua caliente sanitaria, hasta centrales termosolares de producción de electricidad. España es un lugar privilegiado por sus altos niveles de radiación solar, lo que ha propiciado el desarrollo de importantes centros de investigación y la puesta en marcha de centrales pioneras en el uso de esta fuente de energía.

