

La energía solar, un futuro y una realidad^(*)

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS
BIBLIOTECA

Por MARIO GARCIA GALLUDO

Doctor ingeniero aeronáutico.
Profesor agregado de la E.T.S.I.C.
Subdirector de la Facultad de Informática.
Miembro del Instituto de Energía Solar.

Después de pasar revista brevemente a la situación energética actual se plantea la alternativa de la energía solar. Se analizan los principios físicos de la energía solar y la forma de captarla. Se explican los diversos tipos de captadores y sus distintas aplicaciones. Finalmente se enumeran una serie de instalaciones mundiales y se plantea la situación actual de la energía solar en España.

La crisis energética mundial es uno de los mayores problemas del hombre de hoy, es más, quizá sea el mayor y de él deriven todos los demás.

Esta crisis comenzó en el año 1973 al subir el barril del petróleo en un 400 por 100, con lo cual dejó de existir la «energía barata», desde 1973 al año 1980 el petróleo no ha dejado de subir, alcanzando precios que hacen pensar en utilizar nuevas energías antes prohibitivas.

Pero en el caso del petróleo existe un problema más profundo, el petróleo se acaba y este fin está más próximo de lo que mucha gente piensa. Estudios realizados por una ponencia de la Conferencia Mundial de la Energía aseguran que su fin será en la primera mitad del próximo siglo, pero no se piense que hasta esa fecha el problema está resuelto, el final de la era del suministro libre del petróleo está a lo sumo a quince años vista.

El problema del fin del petróleo, su libre comercio, la subida exponencial de su precio, hace que se piense seriamente en una planificación energética reduciendo al máximo el gasto del petróleo y reservándolo para aquellas aplicaciones en las que por ahora es indispensable: transportes, procesos químicos, etc.

Así, pues, se estudian otras energías y el adaptarse a ellas lleva un tiempo más grande que del que se dispone, con lo cual el problema es aún mayor. No es objeto de este artículo entrar en detalle en las distintas alternativas energéticas posibles y en la adaptación a ellas, pero sí vamos a analizarlas brevemente.

El carbón es el combustible fósil más importante de la Tierra. Existen reservas que pueden ser explotables a los precios de la energía actual. Está

previsto que este combustible tome gran auge en estos próximos años, sus reservas son muy altas, pero el problema de España es que también tendrá que importarlo y seguir dependiendo de energía exterior.

La producción mundial de carbón es del orden de 2×10^{10} Tep y los recursos de carbón son del orden de 500×10^{10} Tep; cuando esta producción aumente, el fin del carbón estará más lejano que el del petróleo, pero también próximo (unos trescientos años).

La energía hidráulica tiene la ventaja de ser renovable, de todas las posibles reservas del mundo sólo se está utilizando el 15 por 100 con un valor de 3×10^{10} Tep. Su producción se aumentará y podrá llegar en el año 2000 a unos 8×10^{10} Tep. No obstante su aportación al consumo energético mundial no es muy alta, pero es muy interesante por su renovabilidad y la no dependencia exterior.

La energía nuclear es, sin lugar a dudas, la solución al problema, aunque no total, puesto que esta energía no es recuperable, no obstante ella será la que tome el relevo del petróleo utilizando en primer lugar los reactores y más tarde los reactores supergeneradores rápidos. Las reservas de uranio no bastan para la producción de energía en doscientos años, pero se piensa utilizar plutonio, torio, extraer uranio del agua del mar e incluso el deuterio como combustible, que es un producto muy abundante.

Con la fusión nuclear, el problema de la energía quedará resuelto para más de un millón de años. En este sentido se está investigando y quizá en breve se tengan buenos resultados. España, en principio, tendría una dependencia exterior energética.

La sensación de temor que se está inculcando con las instalaciones de plantas nucleares es exagerada, en parte, pero lo que sí es innegable es la

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 30 de septiembre de 1980.

cantidad de residuos radiactivos que producen y que hay que eliminar enterrándolos en suelos rocosos o bajo el mar. Todos estos residuos, a la larga, ocasionan un problema de contaminación ambiental, en el mejor caso, similar a los residuos de fábricas en ríos y mares.

En la actualidad existen en el mundo varias instalaciones nucleares con una potencia de 100.000 MW, y desde luego se producen accidentes, como el de Cherchenko, en la Unión Soviética, donde en un reactor rápido de 300 MW, instalado para la potabilización de agua del Mar Caspio, se formaron grietas en los evaporadores, que produjeron la unión del sodio refrigerante con el agua, formando hidrógeno que fue lanzado ardiendo por la chimenea y el calor generado fue tan grande que los satélites de observación detectaron explosión nuclear.

Este es un precio que hay que pagar por tener energía, y mantener un proceso industrial y de vida al que estamos habituados.

Una energía válida y alternativa de la energía nuclear es la *energía solar*, puesto que a pesar de lo que se ha venido afirmando de que no existe alternativa para la energía nuclear que pueda solucionar el problema energético de nuestra civilización, con una puesta en marcha masiva de la tecnología de la energía solar, se puede conseguir esta alternativa.

Ahora que tanto se está tratando de «políticas energéticas» está claro que una política de energía fundada en consideraciones éticas no deberá dirigirse únicamente a mejorar la calidad de vida hoy, sino la de las generaciones venideras. Por ello debe estar encaminada a conservar el medio ambiente y evitar su destrucción y explotación.

La energía debe estar al servicio del hombre y no el hombre al servicio de la energía. Bajo estas consideraciones, la energía solar no tiene competencia.

Vamos a exponer brevemente algunas ideas básicas sobre los principios físicos de la energía solar.

El sol es una esfera gaseosa de radio $6,95 \times 10^5$ kilómetros, en la que se genera por un proceso de fusión nuclear energía; este proceso es el de transformación de isótopos de hidrógeno en helio.

La potencia energética de la superficie del sol es de 84.000 kWh/m² y su temperatura del orden de 6.000° K, la energía que emite el sol recorre 150 millones de kilómetros hasta llegar a la atmósfera terrestre, este transporte se realiza por ondas electromagnéticas por un proceso de radiación. De la energía emitida por el sol llega a la Tierra dos milonésimas partes que alcanza en la capa exterior

de la atmósfera un valor de 1,35 kWh/m². Esta energía es parte devuelta al exterior o absorbida por la atmósfera, llegando a la superficie de la Tierra entre 0,8 y 1,1 kWh/m².

Si aplicamos la Ley de Stefan, suponiendo el sol como un cuerpo negro a 5.750° K, la energía que llega a la Tierra, por unidad de área ortogonal a la dirección de los rayos solares es:

$$I = \frac{4 \pi R^2 \sigma T^4}{4 \pi d^2} = 1.395 \text{ Watt/m}^2$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Watt m}^{-2} \text{ grado}^{-4}$$

La Tierra recibe del orden de 2.500 kWh/m² anuales en climas favorables, como el consumo de energía mundial es del orden de $7 \cdot 10^{13}$ kWh, sucede que el sol nos envía unas 20.000 veces la energía que consume todo el mundo.

Con la energía que se recoge en 25.000 Km² de una región desértica tendríamos bastante para abastecer el consumo mundial, es más, si tenemos en cuenta las pérdidas del rendimiento de conversión de energía, almacenamiento y espacios no productivos, los sistemas captadores de energía para todo el mundo ocuparían unos 220.000 Km² (la mitad de la superficie de España).

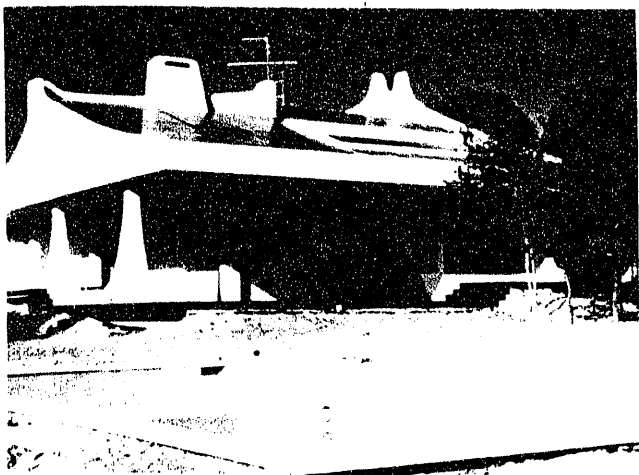
No tendría sentido la concentración de estos captadores, puesto que una de las múltiples ventajas de la energía solar es que se evita su transporte, los captadores deben estar próximos al lugar donde se produce el consumo, el transporte y la energía son gratuitos, sólo cuesta el captador de la misma.

Hay otro matiz muy importante a tener en cuenta, es que los captadores solares pueden ser los segundos usuarios de un lugar, es decir, en general pueden colocarse sobre edificios, naves industriales, etc.

El espectro solar es similar al del cuerpo negro próximo a 6.000° K, las longitudes de onda de este espectro van desde 0,28 a 3 micras, y en él hay tres zonas diferenciadas, rayos ultravioletas de 0,28 a 0,4 micras, luz visible de 0,4 a 0,76 micras y rayos infrarrojos de 0,76 a 3 micras.

La radiación solar es afectada de una forma selectiva por la atmósfera, los rayos ultravioletas son absorbidos en parte por el ozono y los infrarrojos por el vapor de agua y el bióxido de carbono.

La polución atmosférica afecta también al espectro solar. La radiación solar que recibe la Tierra es de dos tipos: la directa, que es la que recibe del sol sin haber sufrido ningún cambio de dirección y la difusa que es la que recibe del sol, después de haber sufrido cambios de dirección por reflexión o difusión.



Chalet con instalación solar térmica

La disponibilidad de energía solar se ve limitada por los ciclos día-noche, días nublados, estaciones del año, etc.

El cálculo del ángulo con que incide un rayo de sol en un punto de la Tierra es un fácil problema de trigonometría esférica, conocida la latitud del lugar y el día del año calculamos la inclinación de los rayos solares en las distintas horas de dicho día.

Existen diversas gráficas y tablas en las que se incluyen las radiaciones solares en los distintos puntos de España, de la revisión de estos datos es fácil observar que nuestro país recibe gran cantidad de energía solar, puesto que más de 30 provincias tienen más de 2.500 horas de sol anuales y la energía recibida en ellas oscila desde 2.709.000 Kcal/m², de Cádiz, hasta los 1.408.820 Kcal/m² de Oviedo (Madrid recibe 2.428.650 Kcal por metro cuadrado y Barcelona 2.132.800 Kcal/m²).

Está claro, a la vista de lo indicado, que el problema de la energía estaría resuelto en cuanto la ciencia y la tecnología sepan utilizar la energía que llega del sol. Como modelo para esta empresa tenemos a la Naturaleza, ella sí sabe utilizar esta energía.

La energía que llega del sol a la Tierra es captada por ésta y la Tierra empieza a su vez a emitir energía, la temperatura de equilibrio sería cuando la energía recibida fuera igual a la emitida, es decir:

$$1 \pi R^2 \cdot 4 \pi R^2 \cdot \sigma \cdot T_e; \quad T_e = 277^\circ \text{ K} = 4^\circ \text{ C}$$

La Tierra entonces estaría a 4° C. Esto no es así debido a que la atmósfera produce un «efecto invernadero», es decir, absorbe con facilidad la radiación de onda larga procedente de la Tierra y es una barrera menor para la radiación solar. Con ello la temperatura se mantiene en torno a los 290° K. Es así como la Naturaleza nos enseña el

«efecto invernadero», utilizando desde hace años y origen de los colectores térmicos.

La energía que procede del sol tiene muy poca entropía, es capaz de crear orden y con ella las plantas desarrollan la función clorofílica. Otro reto al hombre es utilizar esta energía para un proceso similar.

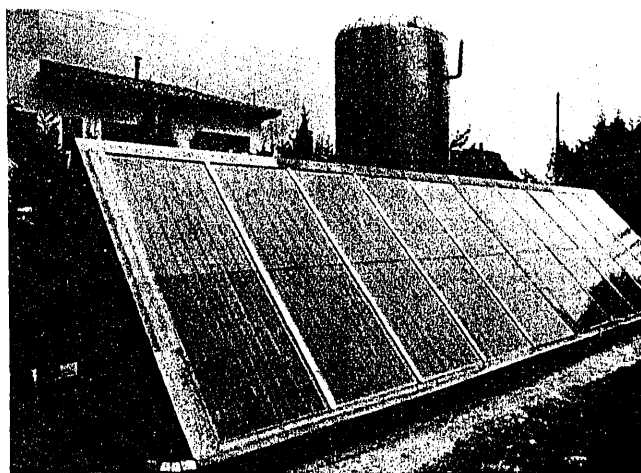
Los procesos irreversibles que se producen en la Tierra hacen que la energía que la Tierra devuelve al exterior tenga mucha más entropía. Esta pérdida de entropía debe ser usada en beneficio de la Humanidad.

Dentro de las llamadas «energías solares» se engloban la energía solar térmica, la fotovoltaica, la eólica, la mareomotriz, la geotérmica, etc. De todas ellas solamente vamos a analizar las dos primeras.

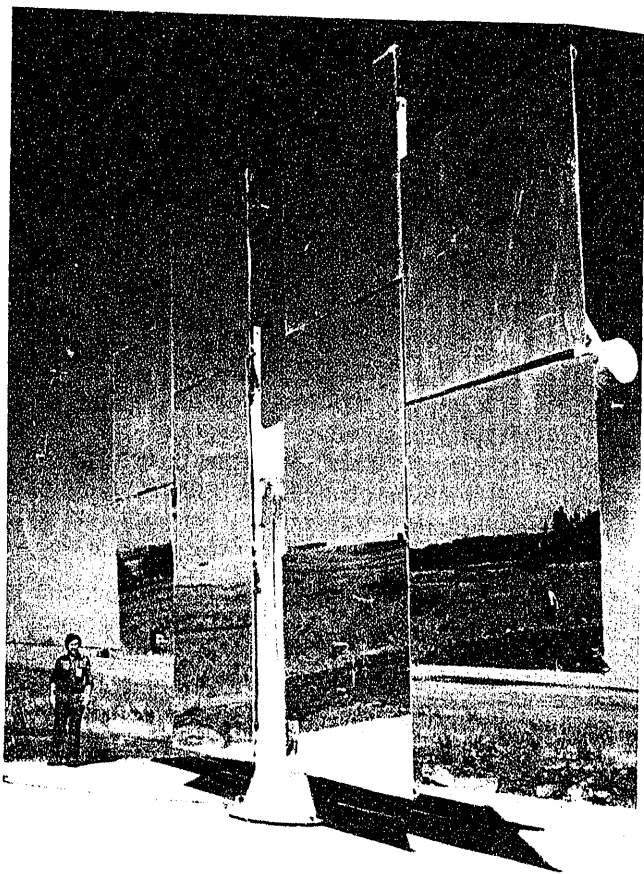
La energía solar térmica es la que aprovecha la energía calorífica que nos envía el sol, es captada por los colectores y transmitida mediante un fluido, para ser utilizada como energía térmica o transformarse en otra energía (mecánica o eléctrica).

Según las temperaturas a que se utiliza da lugar a tres niveles de clasificación: baja, media o alta temperatura. Sus principales aplicaciones son:

- Agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración.
- Producción de energía eléctrica (torres y granjas solares).
- Plantas de potabilización y desalinización de agua.
- Procesos industriales de media y alta temperatura.
- Aplicaciones agrícolas de secado de cosechas.
- Invernaderos.
- Acondicionamiento térmico de establos y cochiqueras.



Típica instalación con agua caliente sanitaria



Heliostato

La energía solar fotovoltaica es la que transforma la energía luminosa del sol en electricidad, para ello utiliza las llamadas células fotovoltaicas, que están hechas de un material semiconductor en que los enlaces de los electrones en sus átomos tienen una energía de 0,8 a 2 electro-voltios y estos enlaces son rotos al chocar con ellos los fotones de la luz solar con energías de 1,4 electro-voltios. En el semiconductor se crea un campo eléctrico y se produce una corriente continua que se recoge en el exterior.

Normalmente se utiliza como material semiconductor el silicio. Sus principales aplicaciones son:

- Iluminación y dotación de electricidad a casas aisladas.
- Bombas de agua. Sistemas de riego.
- Balizamientos, señales marítimas y luces de emergencia.
- Repetidores de T.V.

Los colectores térmicos, en un principio, se pueden clasificar en los que reciben la radiación no orientada y los que la reciben orientada. Dentro del primer grupo están los colectores planos, que van desde bolsas de plástico llenas de agua, hasta los modernos colectores de placa selectiva y doble vidrio.

El funcionamiento de un colector plano es fácil de entender, una placa plana de color negro absorbe la energía solar de la radiación, según un factor α , que es mayor cuanto más se aproxime la placa a las características de un cuerpo negro, este factor se llama *absortancia del cuerpo*, al absorber energía la temperatura de la placa aumenta y, por tanto, emite, a su vez, energía. Existe un coeficiente ε que afecta la emisión por radiación de la placa, este factor se llama *emitancia*. La relación entre los α y los ε nos dan la calidad de la placa. El científico israelita Tabor estudió estas placas y comprobó que con unos tratamientos electrolíticos conseguía altas relaciones de α/ε . Las placas así tratadas se llaman placas selectivas.

Para evitar que se produzcan pérdidas de calor de la placa se realiza algo similar a lo que la Naturaleza hace con la Tierra por medio de la atmósfera terrestre y con este fin se dispone un vidrio, el cual es transparente a las longitudes de onda mayores y, por tanto, «no permite la salida» de parte de las radiaciones que emite la chapa.

Una chapa de un metro cuadrado de superficie con un $\alpha = 0,98$ y recibiendo una intensidad de radiación $I = 700 \text{ W/m}^2$ alcanza el equilibrio a 40° centígrados, con un vidrio, la temperatura de equilibrio es de 70° C.

Un colector plano consta de placa, superficie absorbente, tubería o área de circulación del fluido, caja y vidrio. La placa puede ser de distintos materiales, según los fines a que se dedique el colector es metálica, de acero, aluminio o cobre.

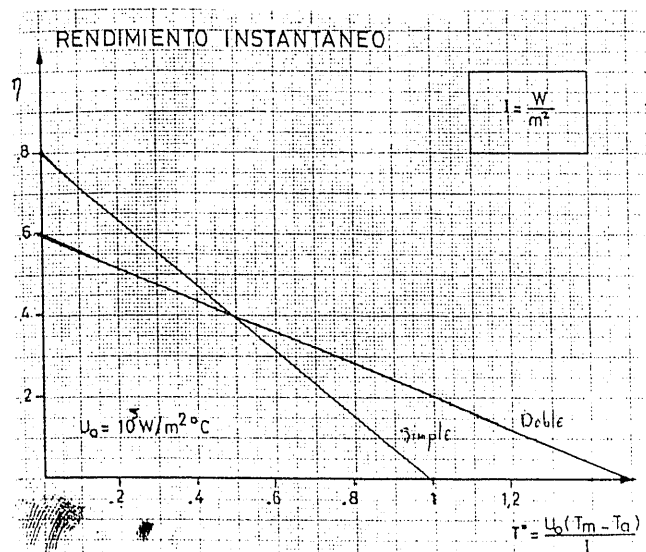
La tubería o área de circulación del fluido puede ser serpentín o estar formada por diversos tubos paralelos, con una separación de 12 a 18 cm. La caja debe ser aislante y conjugar estética, duración y precio. El vidrio debe presentar la máxima transparencia para la radiación solar y reflexión interior a la radiación emitida por la placa.

En el mercado existen diferentes tipos de colectores planos.

El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (I.N.T.A.) ha elaborado una norma «NORMA I.N.T.A. 610001» para «ensayo de colectores solares en régimen estacionario», la cual nos da las características de un colector.

Una de las características más importantes es el rendimiento de un colector, que viene dado por:

$$\eta = \frac{m c_p \int_{t_1}^{t_2} (T_r - T_c) dt}{A \int_{t_1}^{t_2} I dt}$$



Gráfica de rendimiento de un colector con vidrio simple y otro con doble vidrio

Donde «m» es el flujo del fluido, «c_p» su capacidad calorífica, «T_e» y «T_s» las temperaturas de entrada y salida del fluido en el colector, «A» el área del colector e «I» la intensidad de la radiación solar.

Las curvas típicas de estos rendimientos en una primera aproximación pueden suponerse rectas de la forma:

$$\eta = 0,8 - \frac{1}{I} (T_m - T_a) \quad \text{Captador con vidrio simple.}$$

$$\eta = 0,6 - \frac{1}{I} (T_m - T_a) \quad \text{Captador con vidrio doble.}$$

$$T_m = 1/2 (T_e + T_s); T_a, \text{ temperatura ambiente.}$$

En la representación gráfica se puede apreciar que a bajas temperaturas es más eficaz el colector de un solo vidrio que el de dos.

Los colectores planos alcanzan buena eficacia hasta temperaturas medias de 60° y son muy útiles para climatización de piscinas, agua caliente sanitaria y calefacción, siempre que no se utilicen radiadores de fundición, sino grandes radiadores de chapa metálica, o lo que es más eficaz, calefacción por suelo radiante, o por aire, con ventilosconvectores o «fancoils».

También se pueden utilizar concentradores planos en climatización.

Cuando se requieren temperaturas más altas hay que acudir a sistemas de concentración, los

cuales pueden presentar temperaturas de trabajo, desde 110° C a 3.600° C.

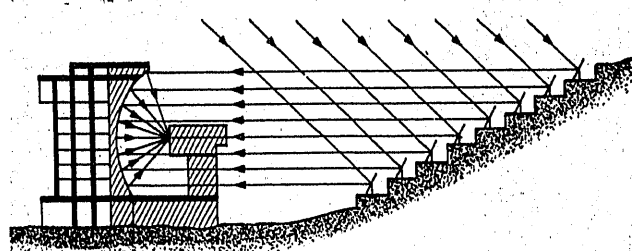
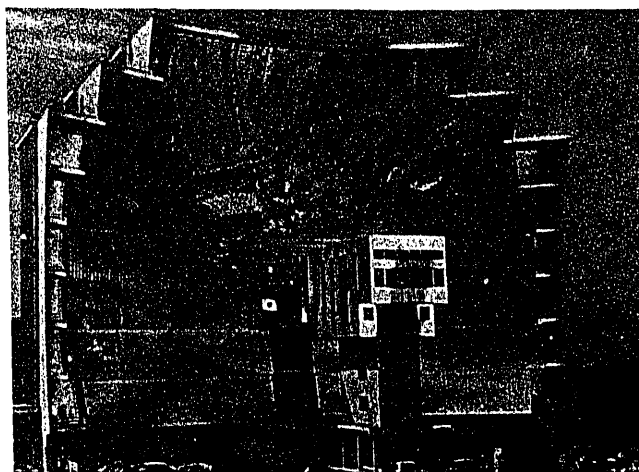
Un colector de concentración es un sistema óptico de reflexión, que concentra la radiación en un punto focal óptico (concentradores esféricos, parabólicos) o en un eje focal (caso de cilindros, conos).

Pueden ser estáticos o dinámicos, siendo estos últimos tales que deben moverse de acuerdo con la posición del sol en el cielo, con el fin de que los rayos solares incidan paralelamente a una dirección o a un plano.

Los colectores cilindro-parabólicos, son colectores concentradores de forma cilindro-parabólica que reflejan la radiación solar recibida sobre un tubo de vidrio situado a lo largo de su línea focal. Dentro del tubo de vidrio está el absorbedor y el agente portador de calor.

Un colector cilindro-parabólico tiene el mismo grado de eficacia que un colector plano a temperatura de 50 a 60° C, para temperaturas más bajas es preferible el colector plano y por encima de éstas el rendimiento de un colector parabólico es mucho mayor y es posible conseguir temperaturas de 400° C en la línea de foco.

Se utilizan estos colectores en unidades de varios espejos y llevan un servo-motor que, accionado



Horno solar de Odeillo (Francia)

por un sensor solar hace girar a los espejos de forma que los rayos solares penetren siempre paralelos al eje de las parábolas. Al finalizar el día, los espejos giran hacia el Este. Un termostato incorporado evita su sobrecalentamiento.

En los hornos solares se utilizan los heliostatos, que son un conjunto formado por una estructura a la que se acopla una superficie reflectiva y está dotado de unos mecanismos para concentrar los rayos sobre un receptor central que está en una torre, donde la temperatura alcanza miles de grados.

La idea es producir vapor y utilizando una turbina transformar este calor en energía mecánica y más tarde en electricidad.

Existen diversos hornos solares funcionando en el mundo. En Odeillo (Francia), existe uno de 63 heliostatos móviles, con un concentrador cilindro-parabólico de 40 m de altura; la potencia del horno es de 1 MW. En California existe un horno de 10 MW con 1.720 heliostatos de 40 m² cada uno. En Almería el C.E.S.A. — 1 constará de 275 heliostatos con una potencia de 1 MW eléctrico.

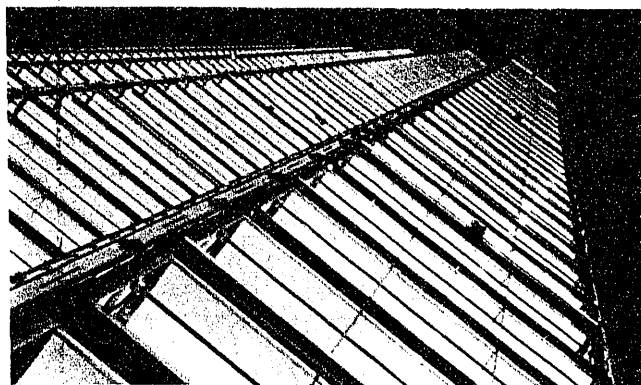
Existe un proyecto hispano-alemán de instalar uno de 20 MW eléctrico.

Los rendimientos totales de este tipo de instalaciones son bajos, del orden del 15 al 19 por 100.

Dentro de la energía solar existe un tema muy importante, es el de la acumulación de la misma, captada en días de mayor radiación solar y poder utilizarla durante las noches o los días nublados.

La acumulación eléctrica (fotovoltaica) se realiza en baterías eléctricas, la acumulación térmica se efectúa en depósitos de agua convenientemente aislados o incluso para el caso de colectores de aire en depósitos que contienen piedras de distintos tamaños.

También es posible acumular el calor utilizando los cambios de estado de diversas sustancias, como puede ser el sulfato de sodio decahidratado que se funde a 32° C, con un calor de fusión de 50



Campo de colectores parabólicos en Suecia (Växjö)

Damos a continuación algunos datos de instalaciones solares importantes existentes en el mundo.

En la localidad sueca de Växjö (Ingelstad), con una latitud de 57°, existe una instalación solar para dar agua caliente sanitaria y calefacción a 55 edificios, para ello cuentan con un campo de colectores y una instalación suplementaria en los tejados de las viviendas con un total de 1.300 m² de colectores cilindro-parabólicos; esta instalación aporta el 50 por 100 de las necesidades de esta comunidad y tiene un acumulador de 5.000 m³ de agua, con temperaturas de hasta 95° C.

Es curioso observar que Växjö tiene 1.800 horas de sol al año, frente a 2.800 horas de Madrid, y que en el mes de diciembre no existe ninguna radiación por ser siempre de noche.

En Israel hay multitud de instalaciones solares térmicas, esto hace que el 60 por 100 del agua sanitaria que se consume en los hogares está calentada por medios solares.

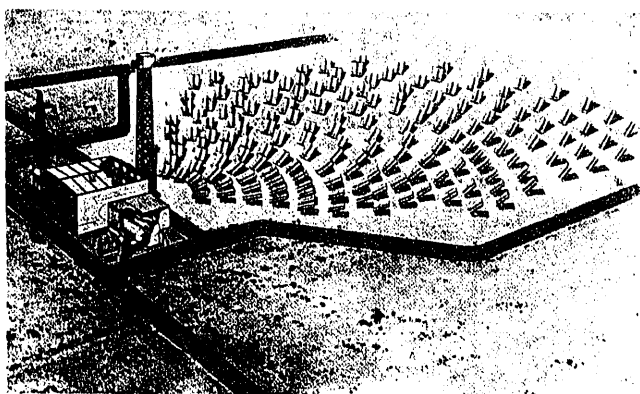
En Japón existen más de dos millones de instalaciones solares, algunas de ellas comprenden agua sanitaria, calefacción y refrigeración.

Creemos que en España la energía solar empezará a tomar el auge que debe tener en un país dotado de tanta radiación solar, para ello todos debemos colaborar y el principal promotor de este empuje debe ser el Estado.

El futuro de la energía solar quizá sea el empleo de hornos solares, para transformar la celulosa en hidrocarburos y producir un gas rico en etileno, hidrógeno y dióxido de carbono, que nos dé un producto refinable.

Quizá esté dicho futuro en el proyecto americano de situar en órbita un campo de colectores fotovoltaicos y producir electricidad para radiarla a la Tierra.

El futuro está por ver, pero el presente está aquí y en este presente la energía solar tiene un puesto.



Planta solar de Almería