

LA ENERGIA SOLAR

Por JOSE ANTONIO BARASOAIN ODERIZ

Doctor en Ciencias Físicas.

Jefe de la Sección de Aerología del Servicio Meteorológico Nacional.
Vocal de la Comisión Nacional de Energías Especiales.

El trabajo que reproducimos, aparecido en el Calendario Meteoro-Fenológico de este año, da un resumen de conjunto de la energía solar y sus aplicaciones más interesantes en pleno desarrollo y estudio en la actualidad. La energía solar en el futuro constituirá una notable aportación a las fuentes de energía actualmente en explotación.

Origen de la energía solar.

Varias hipótesis se han lanzado para explicar esa inmensa hoguera que constituye nuestro Sol.

La "hipótesis meteórica" supone que el calor solar se debe a la caída continua de meteoritos en el Sol, que transforman, por el choque producido, su energía cinética en calor. Parece ser que esta hipótesis ha sido desechada con sólidos razonamientos.

La "hipótesis de la contracción" supone que el Sol es una gran masa fluida que se contrae continuamente por efectos de la gravedad. Este movimiento de masas, en un medio resistente, transforma su energía mecánica de movimiento en calor. Se calcula la disminución del diámetro solar por año para que se produzca la energía radiada por él; pero no ha sido posible una comprobación experimental, ya que para que el diámetro disminuya un segundo de arco serían necesarios diez mil años. La principal objeción que se presenta contra esta hipótesis es la edad del Sol que se deduce de ella, y que es inadmisibles.

La edad que se ha calculado para el Sol, analizando los más viejos minerales radiactivos terrestres encontrados, es de dos mil millones de años, y suponiendo que el Sol ha radiado la energía en las mismas cantidades que actualmente lo hace con la hipótesis de la contracción, no hubiera podido realizarlo ni remotamente.

La "teoría de la relatividad" parece ser que da una visión más certera del posible origen de esta fuente de energía, al establecer la equivalencia energética de la masa. La energía se producirá al transformarse aquella debido al proceso que fuere. Esto supondría una pérdida continua de la masa del Sol, que en dos mil millones de años habría alcanzado poco más de la diezmilésima de su valor actual.

La "hipótesis planetesimal" parece que se opone a esa pérdida continua de la masa, ya que supone que se compensa con la caída de meteoritos en el globo solar de una manera continua. Esto parece que no es posible, pues supondría una cantidad de meteoritos muy exagerada y, por lo tanto, al no ser factible la compensación de la pérdida solar por radiación, será

necesario admitirla, y así se llegará a la muerte del Sol en el transcurso del tiempo, transformándose íntegramente en energía.

Si se admite la transmutación de la masa en ener-

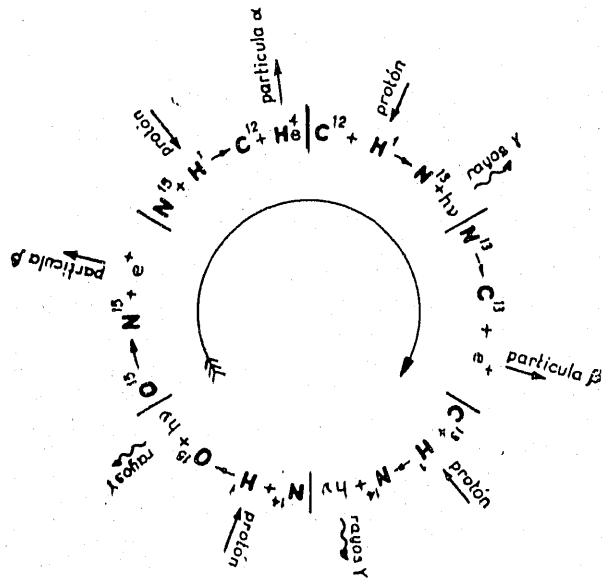


Fig. 1.º — Ciclo de reacción nuclear en cadena, responsable de la generación de la energía solar.

gía, como origen del calor solar, habrá que explicar por qué proceso se verifica este fenómeno.

La Física nuclear es la encargada de esta explicación. Así, como en la Química corriente, en determinadas reacciones, se produce desprendimiento de calor, en ciertas reacciones nucleares se liberan también cantidades ingentes de energía debidas a la pérdida de masa que se verifica en las mismas.

La temperatura de la superficie solar es de unos 6.000° C. y aumenta hacia el interior hasta unos 20 millones de grados. Los procesos termonucleares que se suponen constituyen el "ciclo del carbono" y que se verifican en "reacción en cadena", pero en forma

circular cerrada. La figura 1.^a representa esta serie de reacciones, en que intervienen como protagonistas principales el carbono, el nitrógeno y los protones térmicos. Sin embargo, como se ve en dicha figura, el carbono y nitrógeno se regeneran y operan, por tanto, como catalizadores. El resultado final es la transformación del hidrógeno en helio, inducido por la alta temperatura y operando con la acción catalítica del carbono y nitrógeno. Está demostrado que la energía liberada por esta reacción en cadena, a la temperatura de 20 millones de grados, coincide con la actual energía radiada por el Sol. El ciclo completo, representado en la figura 1.^a, se verifica en cinco millones de años. La mitad de la materia contenida actualmente en el Sol está formada por hidrógeno puro; menos de la mitad por helio y solamente el residuo por otros elementos. El Sol consume 660 millones de toneladas de hidrógeno por segundo. La masa total es de 2×10^{27} toneladas, y como la masa de hidrógeno que tiene actualmente es la mitad, le queda de vida unos cincuenta mil millones de años. La edad del astro indicase que es de tres a cuatro mil millones de años; por consiguiente, se encuentra en su infancia. Por tanto, el Sol constituye el primer reactor nuclear al servicio de la Humanidad.

La radiación solar sobre nuestro planeta.

Se llama "constante solar" a la radiación solar total que incide normalmente en el límite superior de la atmósfera a la distancia media Sol-Tierra. Se calcula que es de $1,94 \text{ ly. min.}^{-2}$ [1 langley (ly.) = 1 caloría-gramo por centímetro cuadrado (cal. cm.^{-2})], que corresponde a una potencia de $1,39 \text{ Kw. m.}^{-2}$. Esta energía está constituida por una radiación electromagnética, que nuestros ingenios de utilización la degradarán en energía térmica a baja temperatura; pero también puede transformarse directamente en electricidad (caso de las fotorpilas) o en energía química (caso de la fotosíntesis).

La energía solar está repartida entre las diferentes longitudes de onda de su espectro, como se indica en la figura 2.^a.

Las ordenadas que representan energías están medidas en unidades arbitrarias. Vemos que la intensidad de la radiación es máxima para las longitudes de onda próximas al rojo. La componente ultravioleta supone el 9 por 100, y la infrarroja el 23 por 100.

La energía solar se debilita a su paso por la atmósfera terrestre hasta el suelo, y esto es debido a varias causas. En primer lugar, las moléculas que constituyen el aire y las partículas que tiene en suspensión difunden y reflejan la radiación, enviando una parte al espacio exterior y otra parte al suelo. Otra causa de la debilitación es debida a la absorción por los medios que la radiación atraviesa; es decir, a su camino a través de las capas atmosféricas (aire,

ozono, vapor de agua, polvo, etc.) y que variará con la inclinación de los rayos. Del total de la radiación que cae sobre la Tierra, aproximadamente el 35 por 100 es reflejada o difundida hacia el exterior y solamente el resto es absorbida, apareciendo en forma de calor. Esta última parte también retorna al espacio

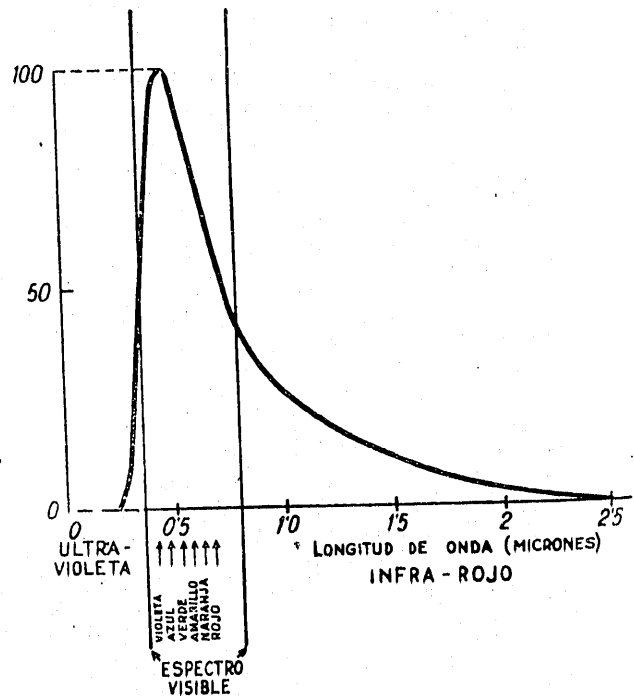


Fig. 2.^a — Distribución espectral de la energía radiada por el sol.

como radiación, ya que la Tierra permanece en estado estacionario. Pero en el intervalo entre la absorción y su reemisión al espacio en forma de radiación de onda larga, algo de esta energía puede ser utilizada por el hombre. En lo que antecede no hemos hecho mención de las nubes. Su influencia sobre la radiación es muy compleja. Las nubes difunden, reflejan y absorben la radiación. En días fuertemente nubosos, la radiación difusa puede tener el mismo orden de magnitud que la radiación global.

Medida de la radiación solar.

Es importante la medida de la radiación solar en los lugares en los que se desea aplicar aquélla. Se utiliza para ello solarímetros o pirheliómetros, cuyo órgano sensible en la mayoría de los aparatos es una batería de pilas termoeléctricas agrupadas en serie sobre una pequeña superficie absorbente, que es sometida a la radiación. Si esta superficie sensible se coloca en el fondo de un cilindro recto, normal a sus generatrices, cuyo eje se mantiene paralelo a los rayos

directos, se elimina la radiación difusa y solamente se mide la "radiación directa" I_d . Si dicha superficie sensible se coloca en un plano horizontal, entonces recibe la radiación directa y la difusa y mide la "radiación global" I_g . Si al dispositivo anterior le añadimos una pantalla circular que impida llegar a la superficie sensible la radiación directa, medirá la "radiación difusa" I_c . Se tiene, evidentemente, que

$$I_g = I_d \operatorname{sen} h + I_c,$$

siendo h la altura del Sol.

La radiación difusa sobre una superficie horizontal representa para un día despejado el 16 por 100 de la radiación global, cuando el Sol está a 30° de altura y el 37 por 100 cuando está a 10° de altura. Corrientemente, el aparato que se utiliza es el solarígrafo, que mide la radiación global sobre una superficie horizontal, y en algunos lugares de nuestra Patria se ha instalado el modelo del doctor Robitzsch, construído por la casa Fuess, cuyo órgano sensible consiste en tres láminas bimetálicas paralelas, de las cuales la central es negra y las dos exteriores blancas y situadas horizontalmente debajo de una semiesfera de vidrio, y que mecánicamente transmiten a una pluma registradora movimientos en función de la energía de la radiación que incide. La posición de la pluma es independiente de la temperatura ambiente y solamente depende de la energía de la radiación que recibe. La pluma se apoya sobre un cilindro giratorio, en cuya banda queda registrada la gráfica correspondiente.

Angström dió una relación para determinar la intensidad de la radiación, disponiendo solamente de los datos de insolación que proporciona el heliógrafo; ésta es:

$$Q = Q_0 \left(0,235 + 0,765 \frac{S}{S_0} \right);$$

en la cual

Q es la radiación calculada.

Q_0 es la radiación teórica correspondiente a un día sin nubes.

S_0 es la duración teórica de la insolación; y

S es la duración de la insolación medida con el heliógrafo.

Esta fórmula da una idea aproximada de esta importante determinación.

La energía que incide en el suelo.

La radiación solar global media diaria que cae sobre una superficie horizontal, en un día despejado, representa en invierno un 50 por 100 del máximo de

verano para 30° de latitud norte y el 25 por 100 de dicho máximo de verano para 45° de latitud norte.

En una amplia zona terrestre, la potencia bruta media anual de la radiación solar está comprendida entre 0,1 y 0,2 kilowatios por metro cuadrado de superficie horizontal, o sea una energía de 2,4 a 4,8 kilowatios/hora por metro cuadrado por día, ó 876 a 1.752 kilowatios/hora por metro cuadrado al año. Expresado en unidades caloríficas de 2.000 a 4.000 kilocalorías al día por metro cuadrado, ó 0,73 a 1,4 millones de kilocalorías por metro cuadrado al año. El máximo de potencia puede ser, en el mejor momento del día, hasta de un kilowatio por metro cuadrado.

En la tabla I damos algunos resultados de la medida de la radiación global sobre una superficie horizontal en algunas localidades, expresada en langley por día.

TABLA I. — Valor de la radiación total media sobre una superficie horizontal.

LUGAR	Mes	Mínimo	Mes	Máximo	Media anual
El Paso, Texas, U. S. A. . .	Dic.	325	Jun.	740	550
Tamanrassel, Argelia. . .	Dic.	391	May.	652	540
Messine, Sud Africa . . .	Jun.	363	Dic.	628	509
Mito, Japón.	Dic.	286	May.	583	461
Buenos Aires, Argentina.	Jun.	207	Dic.	718	428
Mt. Stronlo, Australia . .	Jun.	205	Dic.	637	426
Miami, Florida, U. S. A. .	Dic.	290	Jul.	500	410
Sevilla	Dic.	151	Jul.	619	406
Niza, Francia.	Dic.	155	Jul.	685	406
Almería.	Dic.	173	Jul.	625	402
Stillwater, Oklahoma, U. S. A.	Dic.	210	Jun.	597	396
Madrid (Las Rozas). . . .	Dic.	112	Jun.	650	382
Badajoz.	Dic.	117	Jul.	612	373
Madison, Wisconsin, U. S. A.	Dic.	110	Jul.	550	327
Londres, Inglaterra. . . .	Dic.	49	Jun.	471	239

Las medidas realizadas en España han sido proporcionadas por la Comisión Nacional de Energías Especiales y llevadas a cabo por compañeros de nuestro Servicio.

Naturalmente, que si orientamos la superficie receptora de manera conveniente, se pueden mejorar extraordinariamente estas cifras.

Como ejemplo de la variación de esta energía en el transcurso del año, exponemos en la figura 3.ª la correspondiente a Almería para el año 1958, repre-

sentando en abscisas el mes del año y en ordenadas la energía global media mensual, sobre una superficie horizontal, expresada en langley por día.

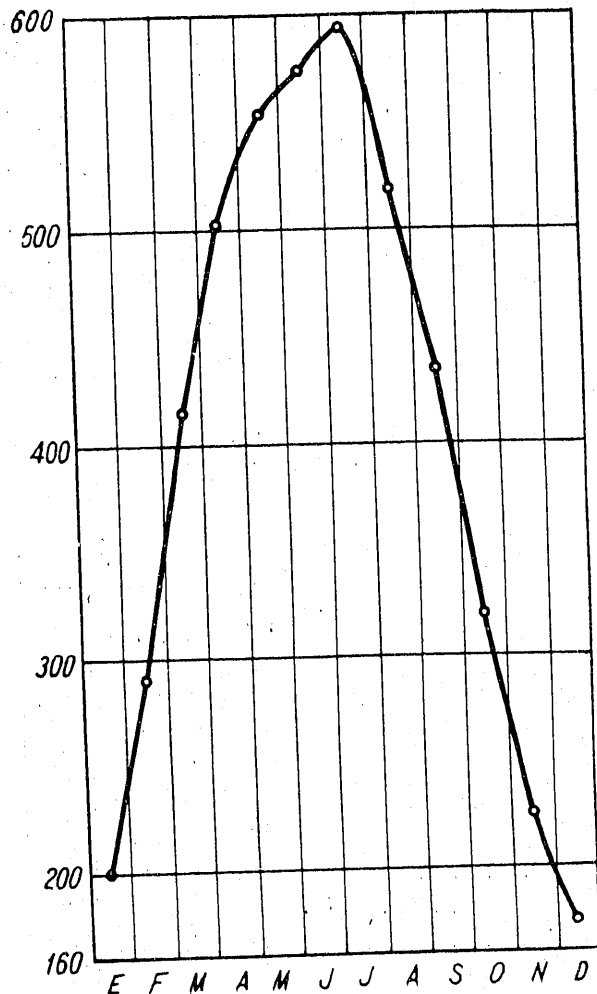


Fig. 3.ª -- Variación anual de la energía global en Almería.

Conversión de la energía solar por la Naturaleza.

La energía solar es causa de la evaporación del agua. Captada por las plantas, efectúan éstas la síntesis de sus elementos constituyentes, y gracias a la diferencia de temperaturas que se originan, se produce el viento.

La evaporación. — Se calcula en 380.000 kilómetros cúbicos el agua que se evapora al año (a *grosso modo*) de la superficie de la Tierra. Esta gran masa sigue el conocido ciclo hídrico-meteorológico, que permitirá al hombre disponer de una potencia en forma hidráulica utilizable y que se supone pueda ser de 10^9 Kw.

La energía cólica. — La atmósfera es una gran máquina térmica alimentada por el horno solar y que

está en movimiento. La energía cinética total, se estima en 3×10^{20} julios, de la cual solamente se puede captar por los molinos de viento, la correspondiente a la parte más próxima al suelo, y que se supone poder utilizar en el futuro una potencia de 10^{10} Kw.

La energía del viento captada por modernos aerogeneradores se transforma en energía eléctrica, o bien se utiliza para el bombeo del agua u otros usos.

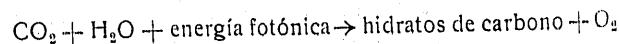
La potencia máxima utilizable del viento se calcula por la expresión:

$$W = 0,37 \cdot S \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^3 \text{ (en Kw.)}$$

en la que S es la superficie barrida por el molinete, expresada en metros cuadrados, y V la velocidad del viento expresada en metros por segundo. En la práctica hay que tener en cuenta coeficientes de pérdida de captación por el molinete, así como otros factores de rendimientos mecánicos y eléctricos.

La fotosíntesis. — En el reino vegetal se produce, merced a la intervención del Sol y gracias a la asimilación clorofílica, la gran síntesis que elabora los compuestos orgánicos (hidratos de carbono, azúcares, almidón, aceites, proteínas, etc.), partiendo del agua y del gas carbónico.

Esta operación de captación y almacenamiento de la energía solar puede escribirse como sigue:



El rendimiento de esta operación, es decir, el tanto por ciento de la energía solar que se transforma en materia orgánica, es muy bajo en general y del orden de 0,5 aproximadamente. Masson ha calculado el del "cacahuet" del Senegal, y le da 0,24. Existe una especie de alga verde monocelular, llamada *Chlorella Pyrenoidosa*, de gran contenido proteínico y cuya producción se realiza con un rendimiento de cerca de 2. Estas algas pueden ser destinadas a la alimentación y pudieran servir también para la producción de combustibles.

Del mecanismo de la asimilación clorofílica no se conoce la teoría y todo el cálculo de rendimientos se realiza de una manera empírica.

La captación de la energía solar.

Ya hemos indicado que la radiación solar que llega al suelo es del orden de un Kw. m^{-2} a la mejor hora y día, y para captarla en cantidad será necesario disponer de grandes superficies colectoras. Si se desea conseguir altas temperaturas es esencial la concentración, utilizando los "colectores de focalización". Si se desea captar a temperaturas relativamente bajas, se utilizarán los "colectores planos".

Los "colectores de focalización" se construyen con espejos parabólicos, cilindro-parabólicos o prismáticos de sección trapezoidal. Estos espejos se fabrican bien de vidrio, de buena calidad, bien con superficies metálicas pulimentadas, o bien utilizando plásticos aluminizados. Cuando se trata de colectores de grandes dimensiones, se confeccionan con numerosas piezas reflectoras.

Los "colectores planos" se utilizan cuando no se desea temperaturas superiores a los 100° C. En esencia están constituidos por una superficie metálica plana colectora, expuesta al Sol, que, convenientemente tratada o pintada con una pintura similar en propiedades al negro de humo, absorbe la mayor cantidad posible de la radiación. Esta superficie se coloca en una gran caja aislante y cubierta en la parte expuesta al Sol por vidrio o plástico transparente, que tiene la propiedad de dejar pasar la energía incidente, pero no permitir el paso de la energía retransmitida por la superficie colectora, que es de menor frecuencia que la incidente (efecto ratonera), con lo cual se consigue una retención de la energía en el recinto. La superficie colectora forma parte de un circuito (cambiador de calor), por donde circula aire, agua u otro fluido que absorbe el calor y lo transporta al lugar deseado. Se han realizado muchos estudios sobre la naturaleza y construcción de estos colectores planos, y actualmente se emplean las "superficies selectivas", que tienen la propiedad de absorber un crecidísimo tanto por ciento de la energía incidente, y no emitir más que un bajo tanto por ciento de la que tienen. Utilizando este dispositivo, se ha aumentado extraordinariamente la temperatura alcanzada por dichas superficies, cuando se exponen al Sol.

Aprovechamiento del calor solar.

Veamos algunos ingenios que utilizan el calor solar como alimento energético.

Los hornos solares. — Su órgano fundamental es un colector de focalización de tipo parabólico. Existen dos especies de hornos más importantes. El que recibe directamente en el paraboloide los rayos del Sol, siguiendo a dicho astro en el movimiento sobre el horizonte, y el que recibe los rayos del Sol previamente reflejados en un espejo plano que se orienta convenientemente en el transcurso del día por servo-mecanismos.

Ejemplo de la primera especie es el de Bouzareah (Argelia), fabricado con espejos de aluminio en número de 144 piezas; la superficie útil del paraboloide es de 50 m.²; su potencia teórica es de 50 Kw. y se pueden conseguir temperaturas en el foco por encima de los 3.000° C.

Ejemplo de la segunda especie es el de Montlouis (Francia) (fig. 4.^a), cuyo espejo móvil es de 125 m.², formado de 500 vidrios planos y cuyo paraboloide fijo,

de eje horizontal, tiene una superficie de 90 m.², formada por 3.500 vidrios planos, curvados a presión por conformadores. La potencia es de 70 Kw. y se obtiene fácilmente más de 3.000° C.

Actualmente se realiza la construcción de un horno de 1.000 Kw. próximo a Montlouis; pero con varios espejos reflectores (helióstatos), como se ven en

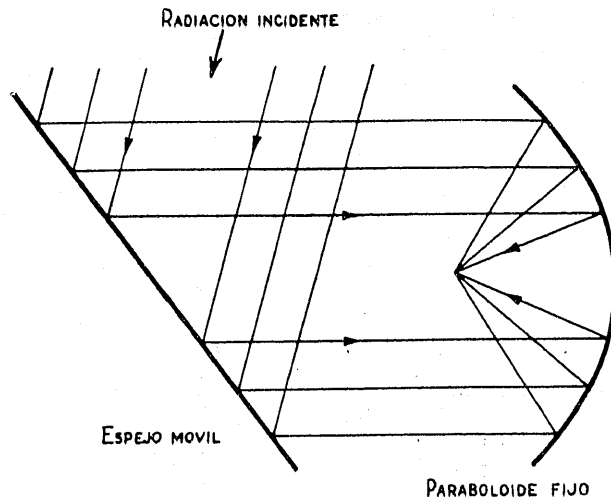


Fig. 4.^a — Esquema del horno solar fijo y de espejo móvil.

la figura 5.^a, en lugar de uno solo que tiene el actual horno.

La aplicación de estos hornos es grande y se utilizan debido a que:

- En el horno solar se consiguen temperaturas de más de 3.000° C. en atmósfera controlada (oxidante, reductora o neutra).
- La substancia tratada no sufre contaminación alguna.
- Permite controlar a altas temperaturas los materiales utilizados en la moderna técnica aeronáutica y en los reactores atómicos.
- En el foco del horno no existen campos eléctricos y magnéticos que afecten a las substancias.

Las cocinas solares. — Existen modelos sin concentración y con concentración. Se está estudiando este ingenio para utilizarlo en muchas zonas, con escasas posibilidades de combustibles y que gozan de buen Sol. En la India se ha fabricado en aluminio el modelo de la figura 6.^a, que permite en una hora y cuarto la confección de un plato de arroz familiar. En Estados Unidos se fabrican las cocinas en forma de paraguas (plegables), utilizando plástico aluminizado (figura 7.^a).

La destilación del agua. — Una aplicación sencilla del calor solar es la destilación del agua salada para obtener agua dulce. Modernamente existe un interés general por la obtención de agua potable y se estudia con gran intensidad esta cuestión. Los destiladores

solares tienen, en esencia, el siguiente funcionamiento. El agua salada se coloca en la caja inferior (figura 8.^a), cuyo fondo aislado está ennegrecido para que absorba la radiación solar que entra a través de los vidrios en forma de tejado a dos aguas. El vapor de agua que se produce se condensa sobre los vidrios in-

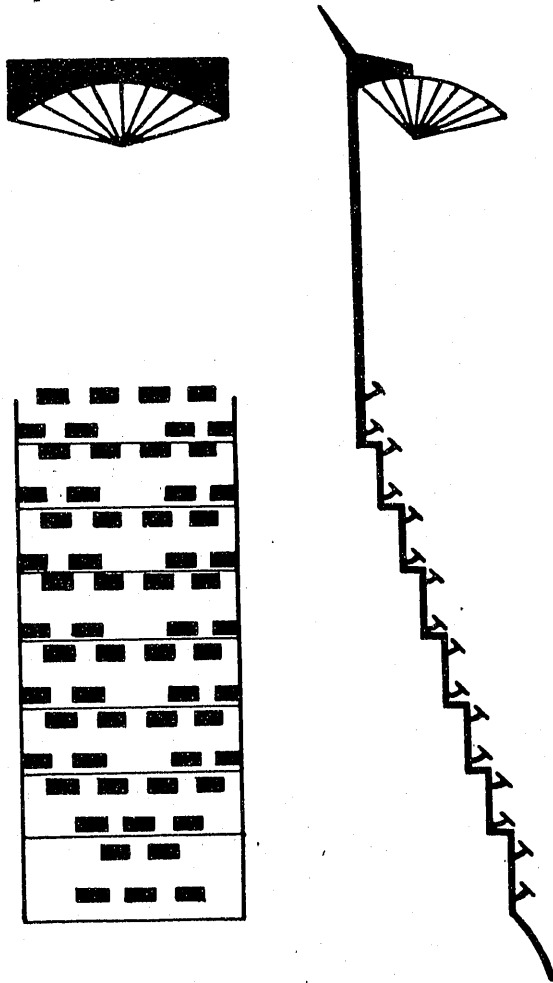


Fig. 5.^a — Diseño del futuro horno solar de Montlouis.

clinados y se deslizan las gotitas, siendo recogidas en los canalillos laterales.

Existen variedad de modelos y técnicas de construcción con diversos materiales. Se ha conseguido un rendimiento energético del 60 por 100. Se llegan a obtener hasta 7 litros de agua diarios por metro cuadrado de destilador.

El calentamiento del agua. — Una instalación para el calentamiento del agua está diseñada en la figura 9.^a.

El colector plano comunica el calor recogido del Sol al agua, calentándola y estableciendo una circulación que puede ser por termosifón o forzada, permitiendo disponer de agua caliente para las necesidades domésticas. Se calcula que en el modelo indicado, con una superficie de 2 m.² y con una capacidad del

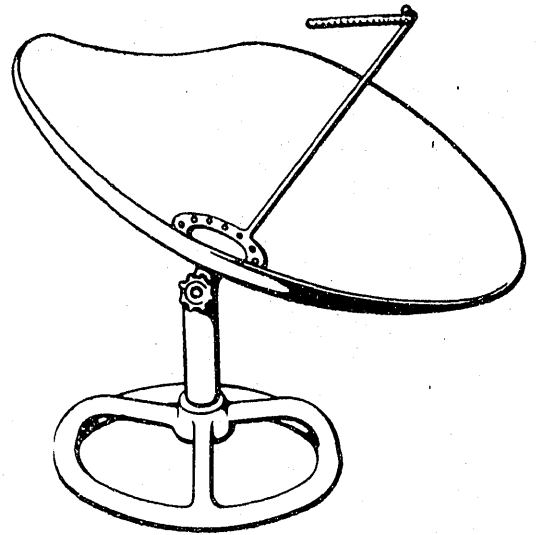


Fig. 6.^a — Cocina solar diseñada por el "National Physical Laboratory" de la India.

acumulador de 200 litros, cubre las necesidades de una familia de cuatro personas, en regiones soleadas.

La producción de frío. — Se utiliza para la obtención de hielo con energía solar los sistemas refrigeradores de absorción. En la planta piloto, construida en Montlouis, la fuente de calor suele ser un colector cilíndrico-parabólico con un eje orientado en la dirección E.-W. Con una superficie colectora de 1,5 m.², se ha producido durante cuatro horas de funciona-

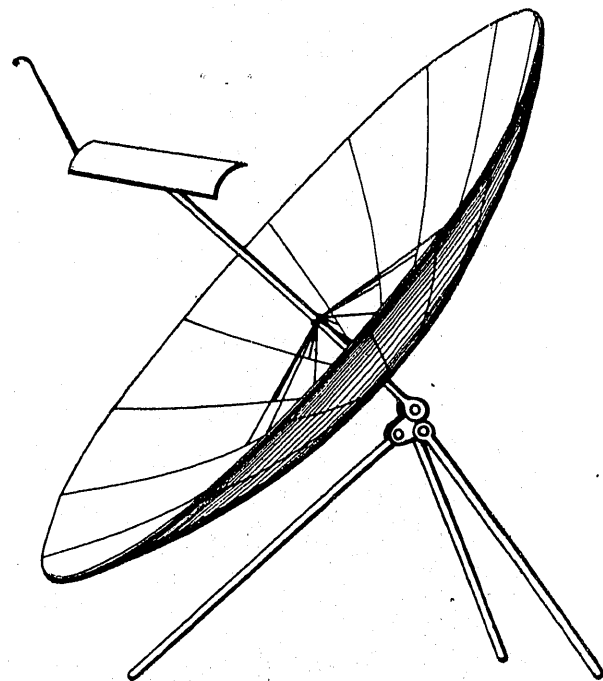


Fig. 7.^a — Cocina solar "Mimi", de Estados Unidos.

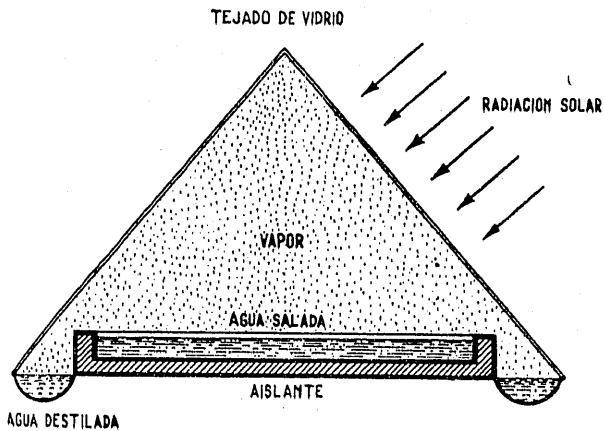


Fig. 8.ª — Esquema de un destilador solar tipo "tejadado a dos aguas".

miento 6 Kg. de hielo. Pero no es preciso pensar solamente en la producción de hielo; también es importante la obtención de temperaturas bajas en los usos domésticos, y para ello hasta seguramente con un colector plano.

La climatización de la vivienda. — La climatización de la vivienda utilizando la energía solar ha sido objeto de estudios experimentales, construcción de casas "solares" prototipo y reuniones internacionales. Los tres problemas que se plantean en la vivienda son: el caldeo, la refrigeración y la regulación de la humedad.

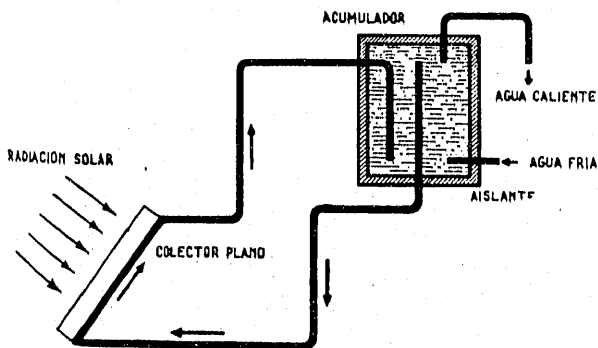


Fig. 9.ª — Calentador solar de agua a termosifón.

No cabe duda que el diseño arquitectónico de la vivienda es de una importancia fundamental y que debe hacerse en función del clima.

La calefacción se realiza utilizando colectores planos (fig. 10), que utilizan el aire para transportar el calor a las habitaciones y almacenarlo para las horas sin sol en una gran masa de grava situada en los sótanos del edificio. Este movimiento forzado del aire se realiza utilizando un ventilador.

La refrigeración puede realizarse utilizando los métodos de producción de frío, siendo de notar que

justamente en el momento de máxima necesidad se coincide con el de máxima energía solar.

En cuanto a la regulación de la humedad, puede realizarse utilizando absorbentes (solución acuosa de cloruro de litio, etc.), que se pueden regenerar utilizando la misma energía solar.

Los motores solares. — Es muy interesante el poder transformar la energía solar en fuerza motriz, sobre todo en las zonas áridas pobres de energía.

Teóricamente, para que esto pueda realizarse es necesario disponer de una fuente caliente y otra fría

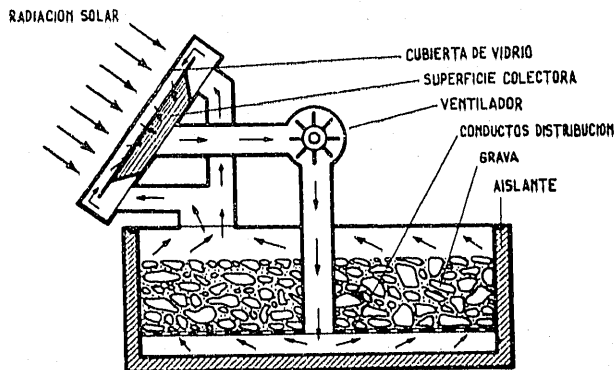


Fig. 10.ª — Calentador solar y acumulador de calor para la vivienda.

y de la suficiente cantidad de calor que entre en juego. El rendimiento teórico de una tal máquina térmica vendrá dado por:

$$\rho = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

en la que T_2 y T_1 son, respectivamente, las temperaturas absolutas de la fuente caliente (caldera) y de la fuente fría (refrigerador). Si la máquina térmica funciona entre 100°C . y 15°C ., tendremos un rendimiento teórico de 22 por 100. Si se utiliza como fuente caliente el foco de un horno solar que puede suministrar $3,000^\circ\text{C}$. de temperatura, el rendimiento teórico será de 88 por 100.

El fluido que se utiliza en la bomba Somor (figura 11), que hemos tenido ocasión de ver funcionar, es el anhídrido sulfuroso.

Utiliza un colector plano de tres cuerpos, de unos 9 m^2 de superficie, y su rendimiento global llega a ser el 4 por 100.

Existe una gran variedad de modelos de motores que haría larga su enumeración.

Otra fuente digna de ser citada es la originada por la radiación solar en los mares tropicales. La superficie marina se caldea, mientras que las aguas profundas permanecen con temperatura mucho más baja. Teóricamente es posible establecer un motor térmico utilizando esta diferencia de temperaturas, que puede ser en algunos lugares hasta de 10°C . por cada 100 m.

de profundidad. Existen antecedentes históricos de prototipos que han funcionado utilizando esta fuente natural de energía, y en el momento presente hay un proyecto francés en Abidjan (Costa del Marfil), de gran potencia, y otros en diferentes lugares.

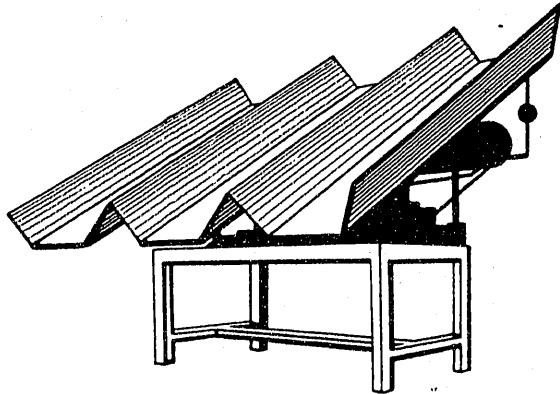


Fig. 11. — Motobomba solar de 2,5 CV., fabricada por la "Casa Somor".

Conversión de la energía solar en energía eléctrica.

Tres ingenios pueden realizar esta conversión: Los generadores termoeléctricos que, como se sabe, están formados por dos metales diferentes, cuyas soldaduras se mantienen a diferente temperatura y dan origen a una corriente continua (pares termoeléctricos). Esta diferencia de temperatura será mantenida utilizando la radiación solar. En este momento se estudian pares termoeléctricos formados por semiconductores, y se les asigna un rendimiento de 3 por 100, sin dispositivo de concentración de la energía solar, lo que supone la obtención de 30 vatios por metro cuadrado del colector en las horas de insolación bajo incidencia normal.

Las pilas fotogalvánicas, constituidas por dos electrodos químicamente inertes y colocados en una solución que contenga una sal (de cerio, por ejemplo) susceptible de ser dissociada por la luz; cuando se ilumina uno de los dos electrodos, aparece una diferencia de potencial que llega a ser de 0,2 voltios entre los hornos de la pila, pero que, cuando se cierra el circuito, produciéndose una corriente de algunos miliamperios, aparecen reacciones secundarias que limitan el rendimiento, siendo éste inferior al 0,1 por 100. Las células fotovoltaicas han dado resultados prometedores y se estudian con el máximo interés en el momento actual.

Una célula o pila fotovoltaica (fig. 12) se fabrica de la manera siguiente: La parte fundamental es el silicio, que debe ser espectroscópicamente puro. A éste se le agrega una débil proporción de arsénico (10^{-6} de su peso). Se cortan entonces los cristales de silicio en plaquitas de 1 mm. de espesor, constituyendo éstas

el elemento donador (tipo *n*). Se someten estas plaquitas a vapores de boro, para lo cual se calientan a 1.000°C ., y se deposita entonces una capita de dos a tres micrones de espesor, formando el elemento captador (tipo *p*). En la parte interior, la superficie de separación de los dos tipos se denomina unión *p-n*.

La conexión eléctrica se realiza como indica la figura, y se produce una corriente eléctrica cuando inciden los fotones en la unión *p-n* (la capa externa es tan delgada que penetran hasta dicha unión). La luz visible y los rayos infrarrojos cortos tienen la suficiente energía para excitar las células fotovoltaicas y, por tanto, producir una diferencia de potencial entre sus electrodos. Cuando la iluminación cesa, retorna el ingenio a su situación primitiva. El rendimiento de estas células es del 11 por 100, y teóricamente parece que se puede llegar al 20 por 100. En la mejor hora del día, con una radiación de 1.000 vatios por metro cuadrado, una batería de silicio de esta superficie daría una potencia de salida de 110 vatios.

Las células fotovoltaicas tienen una aplicación muy grande en la alimentación de los equipos de radio y telefónicos, combinadas con acumuladores, para hacer frente al suministro en los intervalos de tiempo sin sol, y también, naturalmente, se aplican en los modernos ingenios astronáuticos.

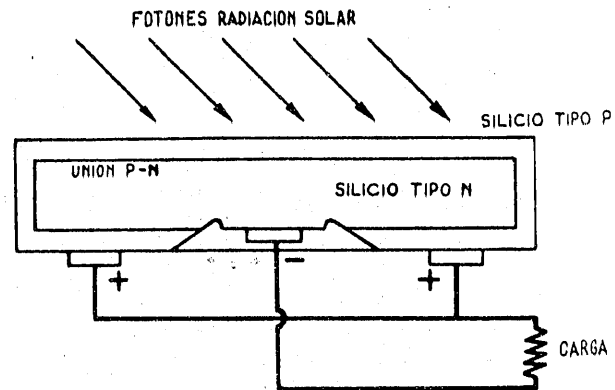


Fig. 12. — Sección esquemática de una pila solar de silicio.

Final.

Hemos tratado de hacer una exposición elemental y de conjunto de lo más notable de esta rama energética. Algunas cuestiones, como las bombas solares utilizadas para la refrigeración y calefacción de la vivienda y la conversión de la energía solar en energía química, no ha sido posible tratarlas. Hemos extraído todos estos datos de excelentes obras de conjunto que existen, como las originadas por las reuniones internacionales y también de tratadistas que enumeramos a continuación: Abbot, Baum, Baltá, Daniels, Gamow, Gullón, Masson, Pearson, Réménieras, Telkes, Trombe, etc., y de los trabajos realizados por la Comisión Nacional de Energías Especiales.