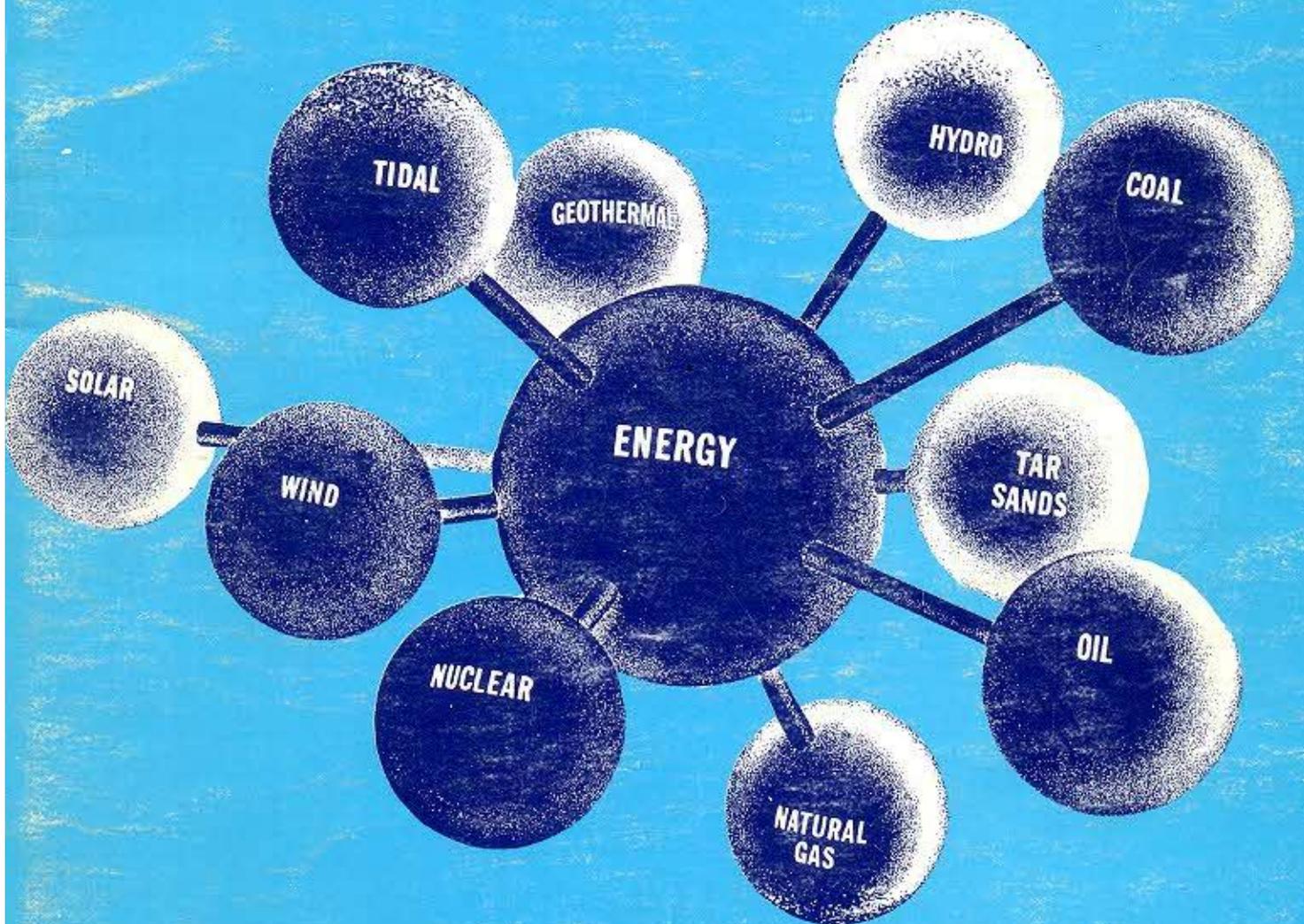


ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA

SECRETARIA PERMANENTE

BOLETIN ENERGETICO No. 9

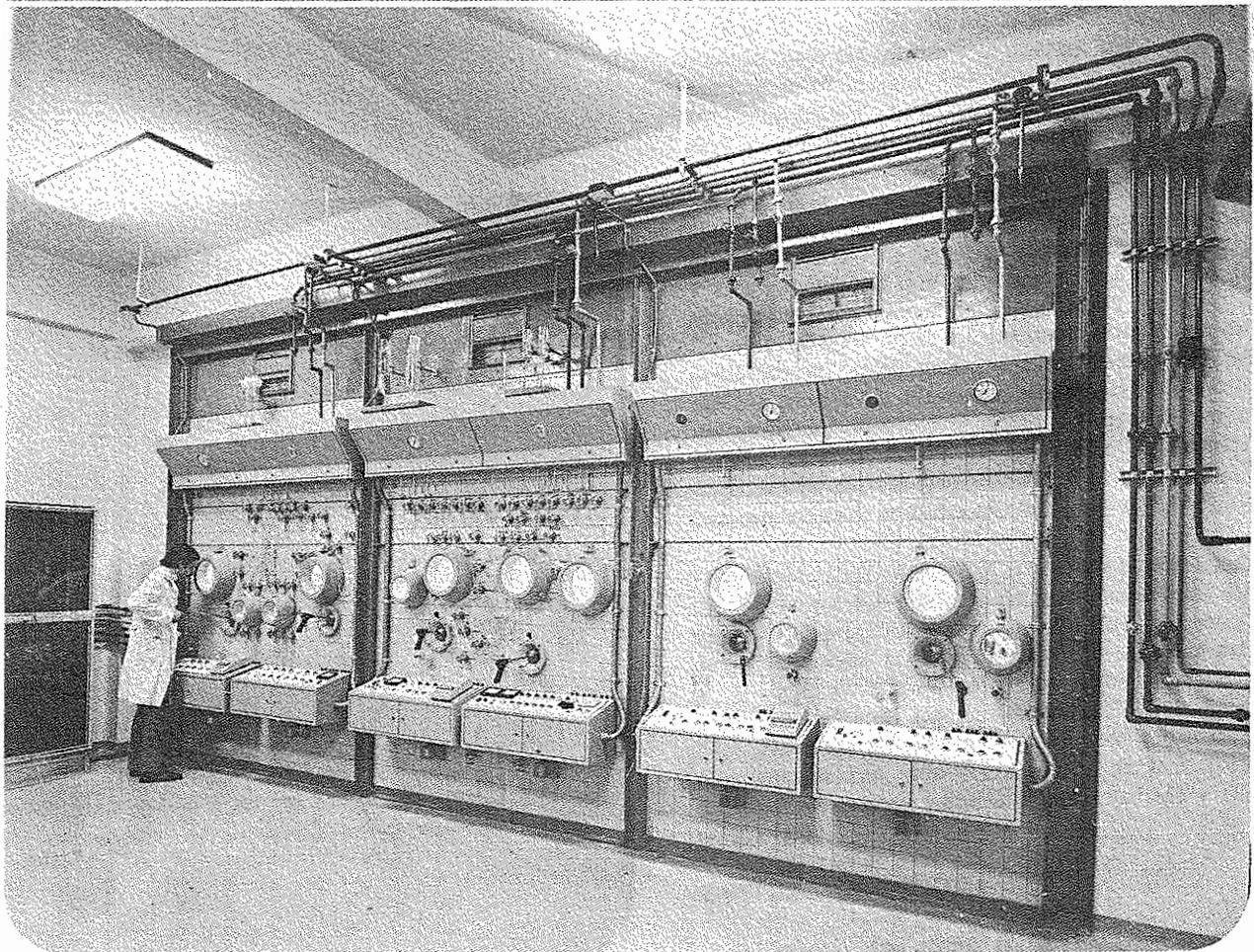
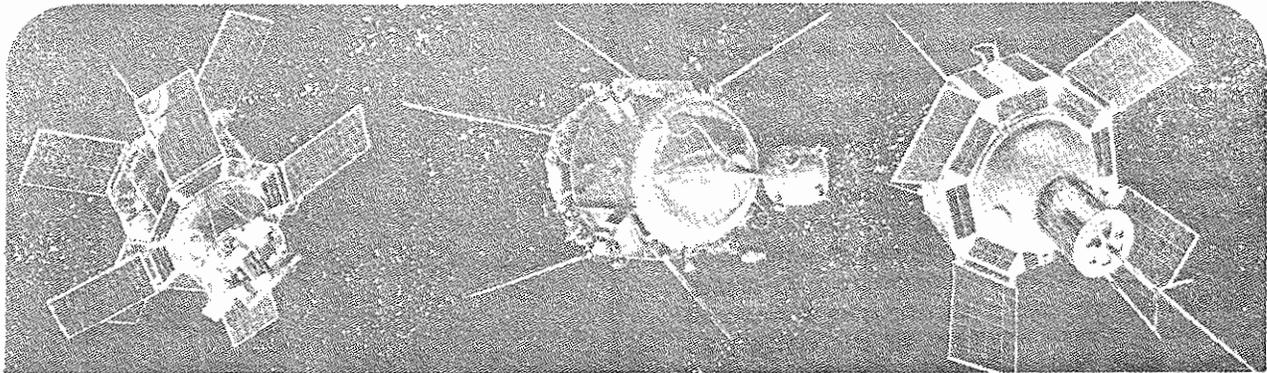
OCTUBRE/DICIEMBRE 1978



DEPARTAMENTO DE INFORMACION Y ESTADISTICA

Venezuela

Energía Solar



Ing. MISAEL PABON DIAZ
FACULTAD DE INGENIERIA,
UNIVERSIDAD DE CARABOBO, VALENCIA

VENEZUELA: SOLAR ENERGY

The venezuelan experience on solar energy has been centered principally in the Engineering School of the Carabobo University, Valencia. Said University together with funds of the CADAFE enterprise develops currently a study for the construction of solar heaters that produce hot water on a short and long scale, besides a study to design and construct small air conditioning plants that work with solar energy.

This study corresponds to a program over the sun, as energy source, characteristics of the solar radiation and its applications: flat plate and focusing collectors, water pumps and solar boilers and photo-voltaic cells.

The study contains an interesting analysis over the social impact of the solar energy and over its efficiency and applications related to the economic level.

EL SOL COMO FUENTE DE ENERGIA

Es común decir, que casi todas las fuentes de energía utilizadas por el hombre, o potenciales, son de origen solar, comenzando por la energía muscular, la primera en fecha, y que es engendrada por los alimentos.

El origen solar de las energías puede ser:

- Actual: energía del viento, energía hidráulica, la combustión de maderas o de aceites vegetales
- O fósil: la hulla, el petróleo, el gas natural.

El descubrimiento del fuego, que fue una etapa capital en la evolución de la humanidad, permite transformar en calor la energía solar almacenada en los vegetales, netamente en las maderas.

Más también utilizamos la hulla, producto de la descomposición de grandes bosques, de la época carbonífera, enterrados bajo el suelo hace 300 millones de años y donde, por tanto, también encontramos el sol en conserva. Otra forma es el petróleo, que la mayor parte de los científicos consideran como el resultado de la transformación de residuos orgánicos. En suma, a excepción de ciertas reacciones químicas (explosiones) de la energía térmica subterránea (volcanes, fuentes calientes, etc.) y de la energía nuclear, es la energía del sol la que ha dado y da al hombre, bajo las formas más diversas, los medios de dominar la naturaleza. Pero ciertas de estas formas, los combustibles fósiles, no existen más que en cantidades limitadas (el carbón: hulla, turba, lignito; el petróleo: el gas natural).

La energía hidráulica, que tiene la propiedad de renovarse constantemente, no podrá suministrar más que en cantidad de energía relativamente modesta, y esto suponiendo que todas las caídas y cursos de agua se pudieran equipar para este fin.

La energía solar ofrece una gran gama de posibilidades: calentamiento, climatización, refrigeración, cocción de alimentos, alimentación de motores térmicos, eléctricos, y obtención de altas temperaturas para la fusión de materiales refractarios.

Características de la Radiación Solar

Al límite de la atmósfera, el sol aporta por segundo sobre una superficie de un metro cuadrado, expuesta normalmente a los rayos, un flujo energético de 1.395 vatios, con una distribución espectral más o menos igual a la de un cuerpo negro radiando a 5.800 grados Kelvin aproximadamente.

Esta energía está constituida por radiaciones electromagnéticas, que los aparatos de utilización degradan en energía térmica a baja, mediana y alta temperatura.

CANTIDAD DE ENERGIA

La energía que recibe la tierra proveniente del

sol es considerable, representando una potencia de 180×10^{12} kilowatios, lo que quiere decir que a nivel terrestre considerando un día de bastante sol, bajo una latitud favorable, se recibe una potencia hasta de 935 watt/m^2 .

Se considera generalmente una potencia media de 1 Kw/m^2 , lo cual significa que por ejemplo en los Estados Unidos, todas sus necesidades energéticas en el año 2000, corresponderán a la energía solar recibida en menos del 1 % de su territorio.

Según los estudios de Irradiancia Solar sobre Caracas, del Profesor Melchor Centeno V., se reciben sobre ella un promedio de $5,61 \text{ kwh/m}^2$ día, promedio éste de las mediciones realizadas desde 1953 hasta 1974. Si tomamos el valor de Caracas como una muestra para toda Venezuela, se recibirán en nuestro territorio aproximadamente:

$$\frac{5,61 \times 10^6 \times 10^6}{24} \frac{\text{Kwh} \times \text{m}^2 \times \text{Km}^2}{\text{m}^2 \times \text{día} \times \text{Km}^2 \cdot \text{h}} = 0,23 \times 10^{12} \text{ Kw de po-}$$

tencia, suficientes para cubrir sobradamente las necesidades energéticas de Venezuela.

Tomando como base la potencia de 1 Kw/m^2 se puede hacer la siguiente consideración:

$$\frac{1 \text{ Kw}}{\text{m}^2} = 860 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2} = 14,2 \frac{\text{Kcal}}{\text{min. m}^2}$$

Tomando 100 m^2 de superficie (una terraza de 10×10 metros) y además de que se logre captar el 50% de esa energía, se tendría:

$$= 100 \times 0,5 \times 14,2 = 710 \frac{\text{Kcal.}}{\text{min.}}$$

Si $1 \text{ Kwh} = 860 \text{ Kcal}$, se obtendría para los 100 metros cuadrados aproximadamente una potencia igual a 50 kw . Si se supone 8 horas diarias de radiación, la energía por día sería:

$$\text{Energía} = 50 \times 8 = 400 \text{ Kwh.}$$

y en promedio por hora para utilización:

$$\frac{400}{24} = 17 \text{ Kw.}$$

Puesto que la transformación térmica no funciona con una eficiencia del 100% , sólo una parte de esa energía se podría utilizar. Si se acepta que en todo el proceso, la transferencia térmica es sólo de 5% se tendría:

$$400 \times 0,05 = 20 \text{ Kwh por } 100 \text{ m}^2 \\ \text{y en } 8 \text{ horas diarias de radiación solar.}$$

Según las estadísticas, en un hogar (familia de 3 a 4 personas) se consume por año:

a) Para cocina	2.000 Kwh
b) Para baño	2.000 Kwh
c) Climatización	4.000 Kwh

Total:	8.000 Kwh /año

Esto representa un consumo diario de $8.000/365 = 22 \text{ Kwh}$, los cuales prácticamente podrían cubrirse con la energía solar con sólo un rendimiento del 5% .

Por otra parte, a razón de un kilowatio por metro cuadrado, sería necesario, teóricamente, poder recuperar la energía recibida por una superficie soleada de 1 km^2 para disponer de una potencia de 1 millón

de kw correspondiente a aquella suministrada por las centrales nucleares actuales.

Además, a causa de las nubes de las noches y de la radiación oblicua, solamente un $1/16$ de esta energía se puede recuperar. Por lo tanto, para obtener el millón de Kw, será preciso una superficie de 6 km^2 . Y si se desea transformar esta energía en electricidad, sabiendo que el rendimiento de la transformación es actualmente del orden del 10% , se llega a una superficie de los 60 km^2 , la cual es enormemente grande.

Por lo anterior podemos observar que existen numerosos problemas técnicos para concebir instalaciones demasiado extendidas, capaces de coleccionar la luz solar, para almacenarla y para convertirla. Sin embargo se pueden hacer varias observaciones; ante todo, no hay problema técnico rigurosamente insoluble. El sólo problema es el de acordar a la investigación y al desarrollo de este tipo de energía los medios financieros suficientes para que esas investigaciones y esos desarrollos puedan, efectivamente, tener éxito.

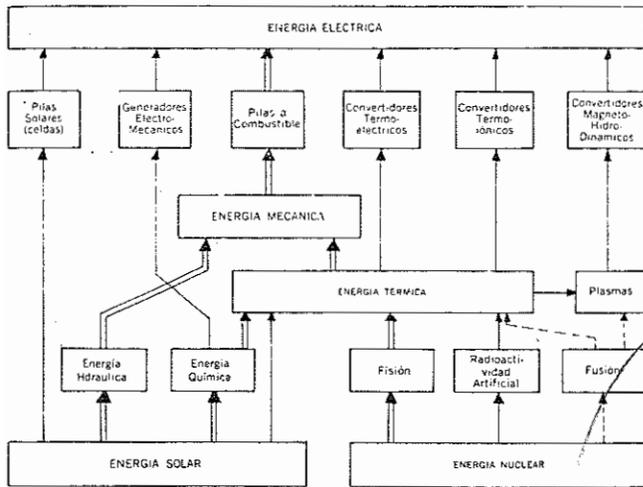


DIAGRAMA ENERGETICO

APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR

A nivel de las investigaciones acerca de las distintas formas de energía existentes y utilizadas, se pone de manifiesto rápidamente que, a pesar de su carácter de omnipresencia, la energía solar es una de las energías cuya aplicación resulta más delicada.

El mayor problema planteado en las aplicaciones es el de la captación de la radiación y su transformación inmediata en calor o electricidad, bajo eficiencias que la hagan competitiva con las otras formas energéticas.

Las aplicaciones tanto domésticas como industriales que puedan efectuarse en base a las investigaciones que se desarrollen, se harán según las tres formas de conversión conocidas: La Conversión Termodinámica, La Conversión Directa, La Conversión Fotobiológica o Fotosíntesis.

a) La Conversión Termodinámica.

Se presentan dos posibilidades a saber:

1. Utilización de concentración para la obtención de temperaturas del orden de 150 a 200° C (concentración media) o del orden de 500 a 600° C (alta concentración), y ello con la ventaja de un rendimiento de Carnot elevado (un 30 % aproximadamente), o del orden de los 3.000° C (muy alta concentración).
2. Utilización de captadores planos, para los cuales los problemas de captación térmica son más arduos y que dan lugar a un rendimiento de Carnot únicamente del orden de un 10 %.

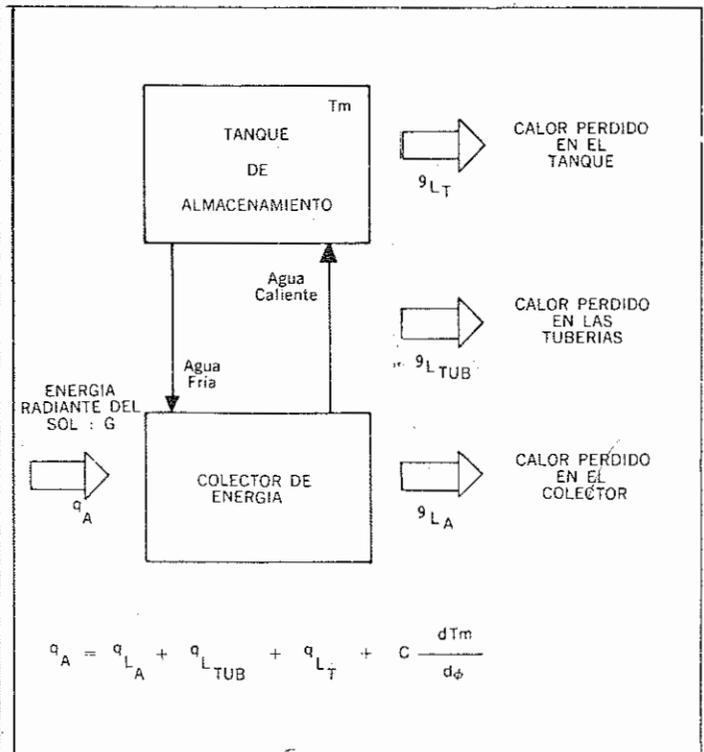
A nivel de esta opción, que puede parecer evidente, interviene el problema tecnológico del funcionamiento. Si el captador de concentración posee la ventaja termodinámica, el mismo tiene el importante defecto de ser delicado y ello por dos motivos princi-

pales:

1. La superficie reflectora debe tener una planeidad perfecta y no soporta capas de polvo, ya que las mismas difunden la radiación y destruyen la concentración.
2. La concentración precisa la alineación del eje del sistema con la radiación solar y, por consiguiente un automatismo de seguimiento.

Estos dos imperativos son prácticamente incompatibles con un funcionamiento autónomo en regiones desérticas o regiones rurales, debido a la presencia continua de arena de polvo en suspensión en el aire, y un automatismo de seguimiento particularmente elaborado y por lo mismo, sumamente costoso.

Esto nos hace pensar que para desarrollar sistemas de utilización de la energía solar en regiones rurales o desérticas venezolanas debe principalmente dedicarse al estudio de captadores planos, ya sea con el fin de calentar agua a baja temperatura para cubrir necesidades domésticas o sanitarias, ya sea para la climatización de habitaciones, ya sea para la fabricación de frío por sistemas de absorción u otros sistemas, utilizando la radiación solar, ya sea para otras aplicacio-

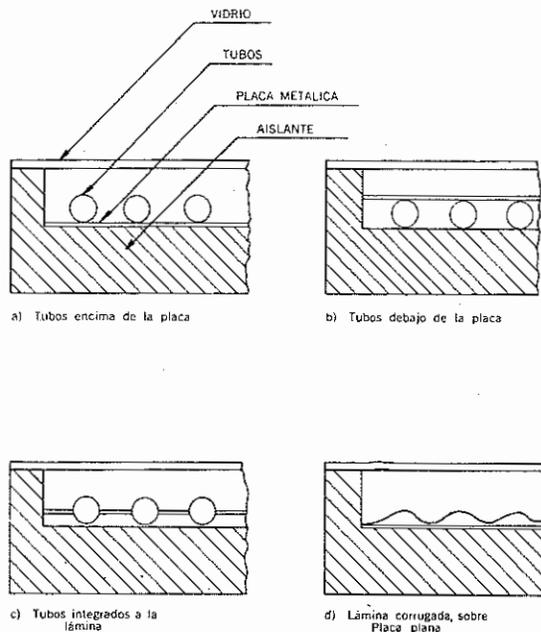


Esquema del Sistema Calentamiento de Agua.

nes como secado de frutas, destilación de agua del mar para producir agua potable para sistemas de bombeo, etc. etc.

CAPTADORES PLANOS

Se llama así a un colector de placa plana, existiendo de diversos tipos y de distintos grados de sofisti-



Corte transversal de los tipos de colectores planos más usados.

cación. Consiste sencillamente en una placa de metal fija, negra, que absorbe los rayos del sol; existe un tipo de placa llamada, "placa sensibilizada", la cual, además de captar el calor latente, capta las radiaciones de onda corta, ya que la mayor parte de la energía solar se presenta en la forma de radiaciones de onda corta. Sobre las placas generalmente se coloca otra placa de vidrio, formando lo que se denomina un sistema de invernadero. Este sistema permite retener las radiaciones de cierta longitud de onda, haciendo que aumente la temperatura del conjunto.

CAPTADORES POR CONCENTRACION

Este es un colector, que utiliza la concentración óptica de los rayos que llegan provenientes del sol sobre un foco o lugar donde se efectúa la transformación de calor. Generalmente son paraboloides de revolución o cilindros con sección transversal en forma de paraboloide.

DESTILACION SOLAR

Esta es otra aplicación interesante y de primera importancia en los países en vías de desarrollo; consiste en la destilación del agua del mar, o de las aguas del sub-suelo, para producir agua potable. La destilación ha sido objeto, desde hace mucho tiempo, de estudios avanzados efectuados sobre unidades de magnitud muy variada. La más importante instalación del mundo, de este tipo, es aquella de "Las Salinas" en Chile. Construida hace dos décadas aproximadamente, ella cubre 440.000 m², repartidos en 10 estan-

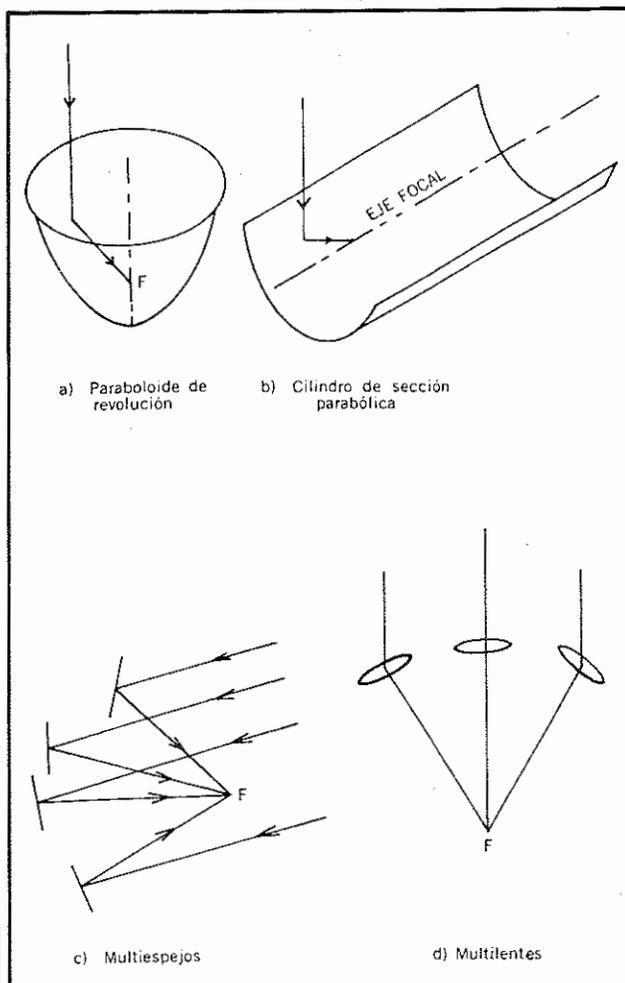
ques, para suministrar 240 metros cúbicos de agua dulce por día.

El principio de base, es siempre el mismo: el agua calentada en un invernadero, se condensa sobre la pared superior transparente e inclinada, sobre la cual ella se escurre hasta una canal colectora. Las aguas así destiladas, no poseen el gusto desagradable de aquellas destiladas en los alambiques, puesto que el contacto entre el vapor, el agua condensada y el aire, es constante.

Las aplicaciones de la energía solar, en este dominio, están aún en el estado de fábrica piloto. Ciertos problemas tecnológicos se presentan aún, tal como el de mantenimiento de los circuitos debido a los depósitos que van quedando.

En escala experimental, sin embargo, varias colectividades, pequeñas, se alimentan de agua potable utilizando este método de destilación. Existe una destilería piloto de 600 mts³ construida en Turkmenie. Esta suministra desde hace tres años, en promedio, de una a tres toneladas por día de agua potable destinada al consumo de las tropas. Sin embargo, la solución técnica adoptada en esta fábrica es relativamente compleja, ya que la radiación solar se concentra sobre calderas por medio de espejos parabólicos.

Estaciones de destilación de agua, existen tam-



Colectores concentradores.

bién en muchos otros países, tales como España, Túnez, Grecia, etc., que suplen de agua potable a pequeñas colectividades.

LAS BOMBAS DE AGUA SOLARES

La facilidad relativa con la cual la energía solar puede calentar un fluido a una temperatura del orden de los 60° a los 150°C, ha impulsado a numerosos investigadores a realizar motores utilizando fluidos, de baja temperatura de ebullición. El rendimiento de tales motores no es muy elevado puesto que la temperatura de la fuente caliente es relativamente débil. Su dominio de aplicación es, sobre todo, en las instalaciones de bombeo de agua de depósitos subterráneos. Las zonas áridas de países en vías de desarrollo, ricas en sol y pobres en agua, están interesadas en ocupar el primer lugar en este género de equipamiento.

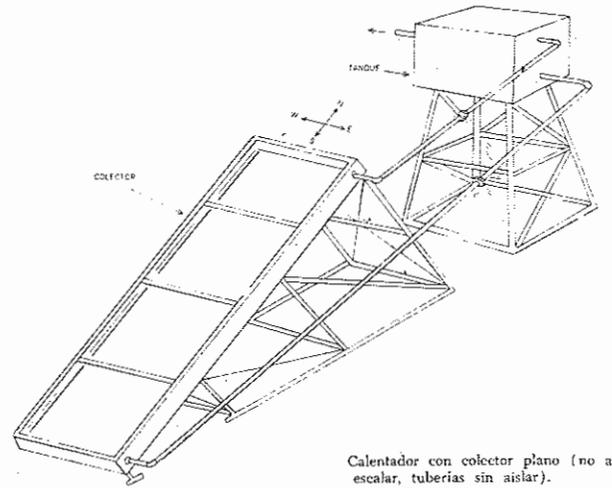
La primera realización industrial, de este género, funciona desde mayo de 1973 en Chinguetti, Mauritania, uno de los países del Africa que ha sufrido recientemente una gran sequía. Esta estación fue concebida por los establecimientos Mengin y por el profesor Masson, antiguo decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Dakar. Después de ésta, otros cuatro prototipos han sido instalados en el Senegal, en Nigeria y en el Alto Volta.

La bomba de Chinguetti alimenta en agua a una colectividad humana de cerca de 2.000 habitantes y 1 millar de cabezas de ganado. Funciona bajo la sola responsabilidad de un indígena que asegura la apertura de una válvula todas las mañanas cuando el sol calienta suficientemente.

El techo de la escuela sirve de colector de energía solar y se compone de una sucesión de canales paralelos cuyo fondo está constituido por un cuerpo absorbente, placa de aluminio ennegrecida, dentro de la cual corre una canalización por donde circula el agua. El conjunto está colocado bajo un vidrio y por el efecto de invernadero el agua alcanza temperaturas de 60° a 70° C. El agua así calentada, en circuito cerrado, se lleva a un inter-cambiador en el cual cede sus calorías al fluido intermediario que en este caso es butano. El butano se vaporiza accionando un motor rotativo lento, que mueve una bomba a pistón, haciendo salir el agua desde una profundidad de 11 metros.

Este motor no provoca ningún ruido, ninguna contaminación. La superficie que recibe y recoge la energía solar cubre 88 m² y la bomba puede suministrar 10 mts³ por día funcionando de 5 a 6 horas. La mayor originalidad del motor es que funciona bajo una pequeña diferencia de temperatura, 30°C aproximadamente, entre la fuente caliente y la fuente fría, con agua que no se lleva a ebullición. El costo de la instalación ha sido de 200.000 francos. El metro cúbico de agua bombeado cuesta aproximadamente un franco, el cual podría disminuirse aumentando la superficie del colector. (Francos franceses).

Numerosos países del Tercer Mundo se han interesado en esta técnica y así podemos encontrar



Calentador con colector plano (no a escalar, tuberías sin aislar).

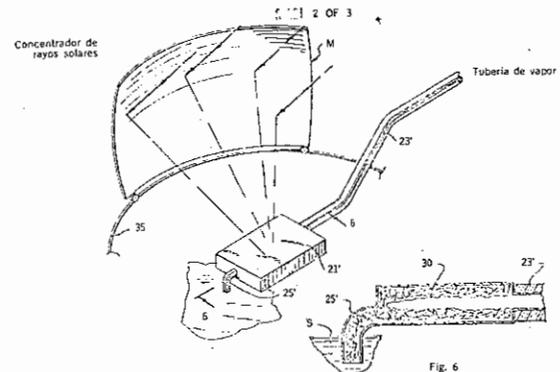


Fig. 6

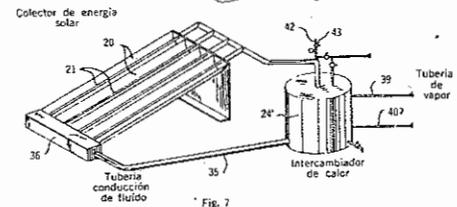
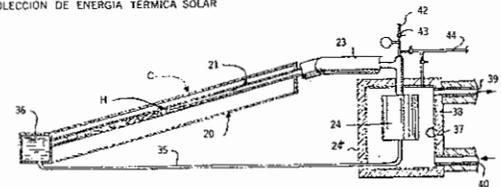


Fig. 7

SISTEMA DE COLECCION DE ENERGIA TERMICA SOLAR

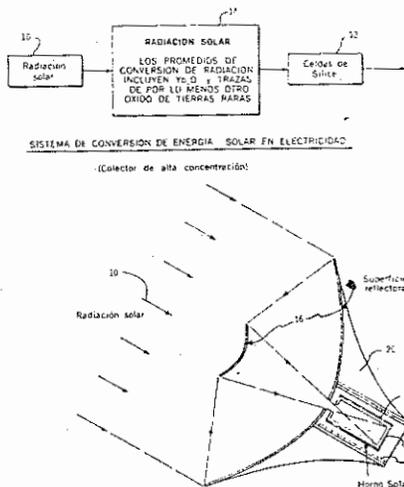


estaciones de bombeo en muchos otros, incluyendo México en Latinoamérica, el cual cuenta con 10 bombas solares en su territorio.

Dentro de la transformación termodinámica, los sistemas de concentración vienen venciendo los inconvenientes antes mencionados, otras aplicaciones tales como: cocinas solares (una cocina solar de 1 m² de superficie equivale a un calentador de 1kw y puede servir a una familia de 3 a 4 personas).

CALDERAS SOLARES

Generalmente formadas por espejos parabólicos o cilindro-parabólicos y funcionando por reflexión,



pueden suministrar vapor de agua con presiones hasta de 10 a 12 atmósferas. Se pueden obtener, en algunas de las ya fabricadas, de 40 a 50 kg/hr de vapor sobrecalentados de 200° a 210°C. Vapor que puede utilizarse para la producción de fuerza motriz o para la producción de agua potable a partir del agua de mar. En este campo también se podría incursionar con investigaciones a efectuarse en Venezuela.

Existe también la alta concentración, que corresponde a los hornos solares (3.000°C aproximadamente) utilizados principalmente en metalurgia, por la pureza de las fundiciones obtenidas. Estos colectores con concentración, del tipo "horno solar" reposan sobre sistemas ópticos (espejos, lentes, etc.), orientados hacia el sol, obteniéndose altas temperatura y por lo tanto un buen rendimiento de conversión (rendimiento actualmente alrededor del 10 %).

En Francia se dispone del horno solar más grande del mundo en Odeillo. El espejo parabólico de Odeillo recibe las reflexiones de 63 espejos orientadores de 45 mts², colocados en forma escalonada, atacando regiones diferentes del concentrador. Con una potencia 1.000 Kw, él permite obtener temperaturas en orden de los 4.000° C.

Las aplicaciones de este horno habían sido limitadas al dominio de la físico química a altas temperaturas, pero actualmente el laboratorio orienta sus investigaciones hacia la conversión de la energía solar en electricidad.

En la URSS, una "Central Solar" utiliza espejos montados sobre vagonetas que se desplazan sobre una órbita circular, en función del desplazamiento del sol durante la jornada para producir 1.500 kw.

En los Estados Unidos, las investigaciones se orientan sobre todo hacia los sistemas sin concentración, a las estructuras más simples. Estos colectores del tipo invernadero pueden colocarse a ras del suelo, pero las pérdidas por radiación son más fuertes y por lo tanto las temperaturas alcanzadas más bajas. Los investigadores de la Universidad de Arizona esperan obtener temperaturas superiores a 500° C para obtener, a pesar de todo, buenos rendimientos.

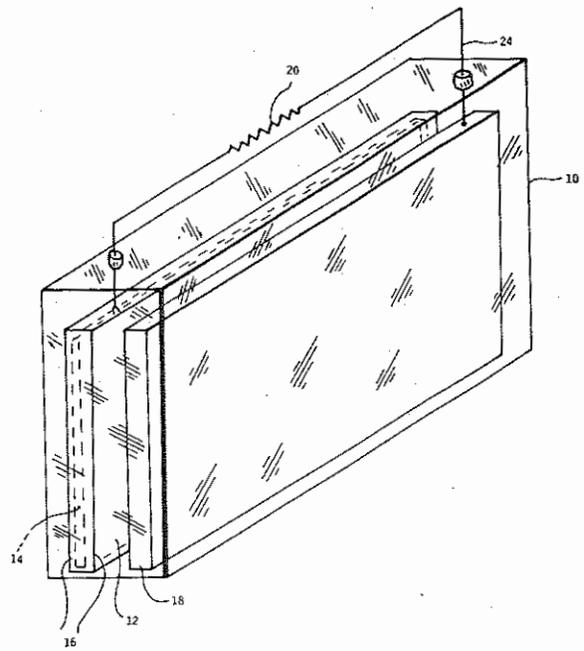
La energía solar está, en todo caso, sometida a la influencia de las condiciones atmosféricas y a la alter-

nancia del día y la noche. Este es un gran inconveniente, que implica la construcción de sistemas de acumulación de la energía para los períodos sin sol.

El almacenamiento sobre un acumulador común parece poco adaptable, en razón de su mal rendimiento y de su alto costo. El almacenamiento térmico es más interesante. El calor, transferido por un fluido, se acumula en apilamiento de materiales refractarios, que restituyen el calor almacenado en el momento oportuno. En el Laboratorio del CNRS en Francia se estudia un método que consiste en enterrar tubos dentro de los cuales circula el fluido.

b) Conversión Directa. (Luz-Electricidad: Luz-Energía Química, etc.).

Este tipo de conversión, ya sea por efecto fotovoltaico o termo-electrogenerador, está aún al estado del laboratorio o de un empleo industrial reducido. Llegar a la utilización industrial bajo este tipo de conversión resulta demasiado costoso y no se justifica sino para el caso de bajas potencias (1 a 2 CV). Investigaciones sobre diferentes tipos de conversión directa: termo-eléctrica, termoiónica, fotoeléctrica, etc., se desarrollan actualmente en el mundo aún bajo la complejidad matemática, física, etc., que presentan y lo prohibitivo de sus costos. Bien podría iniciarse



Conversión de energía radiante incidente en energía eléctrica por utilización de una celda galvánica reversible fotoquímicamente, a través de los electrodos (ánodo y cátodo) completando el circuito electroquímico.

en el país al menos la enseñanza teórica de estos temas o la formación de nuestros técnicos en el exterior sobre estos campos.

LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

Si para todas las utilizaciones domésticas, los sistemas solares se aseguran ya competitivos, no suce-

de lo mismo a la hora actual con la producción de electricidad. Dos grandes centrales se consideran en el porvenir: la central termodinámica (hornos solares) y la central fotovoltaica.

Esta última, gracias a la cual la radiación solar se transforma directamente en corriente continua, ha sido colocada en primer plano por las experiencias espaciales, donde paneles de fopipilas al silicio han equipado los satélites y otros aparatos especiales; mas sin embargo en el dominio espacial el costo tiene poca importancia, mientras que, en el terrestre, él es primordial.

En la actualidad existen algunas realizaciones al respecto: en Japón, varias instalaciones se experimentan para alimentar postes aislados. En el Departamento de Nagasaki, un faro automático está equipado de pilas solares de 300 wattios. En Francia, algunos radio-faros funcionan también con la ayuda de foto-pilas.

De hecho, todos los trabajos de investigación sobre las foto-pilas (celdas fotovoltaicas) han estado orientados en el sentido de una alta eficiencia y tamaño, y abaratamiento de los costos de producción. Se observa ciertos cambios. Al lado de las pilas de silicio, han aparecido en los últimos años las celdas en capas delgadas, en las cuales los materiales son el sulfuro o el telurio de cadmio.

Estas celdas se adaptan mejor que las de silicio a la fabricación en serie. Su rendimiento, del orden del 8 al 10 0/o, puede aún mejorarse considerablemente. Investigaciones en este sentido se efectúan activamente en Francia en la actualidad.

Si tales celdas llegan a fabricarse un día en gran serie y a precios de costo mucho más bajo, resultará ciertamente una revolución en la forma y manera de utilizar la energía solar. Es por eso, que los especialistas fundan las más serias esperanzas sobre este tipo de central de conversión, pensando que su competitividad se alcanzará antes de 1990.

Nosotros entramos, ciertamente, en un período en el cual la energía solar ha dejado de ser considerada sólo por personas entusiastas. Su potencial comienza a ser reconocido a los más altos niveles en los países industrializados. Así en marzo de 1973 un informe publicado por la NASA y la US National Science Foundation, define las etapas que permiten a esta energía llegar a ser, en unos 50 años, una de las principales.

En este programa, la conversión directa en electricidad no ha recibido un grado de prioridad elevado, ya que numerosos especialistas piensan que en materia solar, las economías de escala no tienen sentido, es decir que una pequeña central no será menos eficiente que una gran central y además se preguntan, si se debe considerar la producción de electricidad solar solamente a partir de centrales que sean comparables con las actuales.

Por lo anterior, los expertos estiman que al fin del presente siglo el sol puede asegurar hasta el 35 0/o del calentamiento y la climatización de inmuebles, 30 0/o del aprovisionamiento en gas (producción de combus-

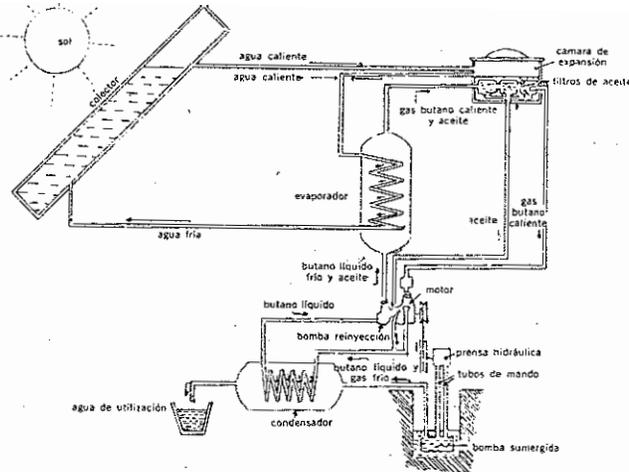
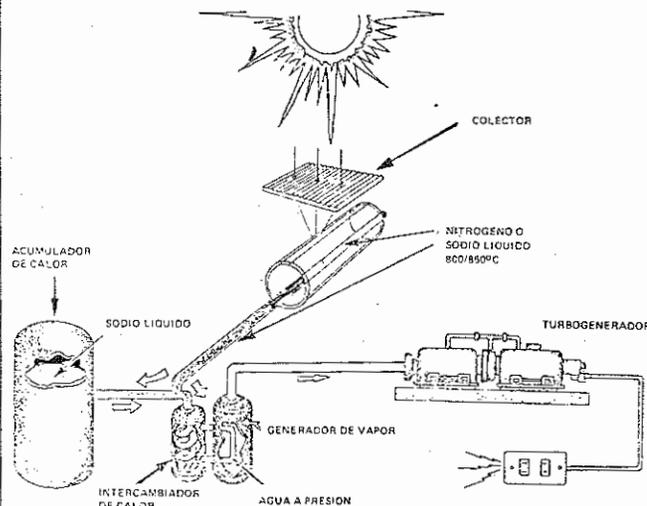


Diagrama de funcionamiento de una bomba solar.



tibles propios a partir de desechos orgánicos) y, hacia el año 2020, 20 0/o de la producción de corriente eléctrica.

c) Las soluciones exóticas: Fotosíntesis o Síntesis Fotoquímica.

Consiste en utilizar la radiación ultravioleta del sol para fabricar un cierto número de productos, principalmente textil-plásticos. La radiación ultravioleta puede obtenerse por lámparas, mas, a potencia comparable, el rendimiento de una lámpara es muy inferior al de las instalaciones de fotosíntesis solar. Además las lámparas ultravioletas son extremadamente costosas, teniendo una duración de aproximadamente 2000 horas de servicio y su rendimiento no sobrepasa al 10 0/o.

Con la síntesis fotoquímica solar se puede obtener, con una potencia correspondiente a una lámpara de 18 kw, una tonelada de textil plástico por metro cuadrado de instalación y por año. Es posible comparar este rendimiento, si no se considera esta comparación más que como una forma teórica, al rendimiento del metro cuadrado de un cultivo de algodón, que es del orden de los 500 gramos, mas aquí, la fotosíntesis natural es efectuada por la planta. Es de esperar que la fotosíntesis solar permitirá en un futuro, la fabricación de toda una gama de productos y que las

instalaciones necesarias, aún cuando muy ventajosas con relación a las lámparas de la misma potencia, lleguen a ser menos costosas.

EL ALMACENAMIENTO POR CAMBIO DE ESTADO

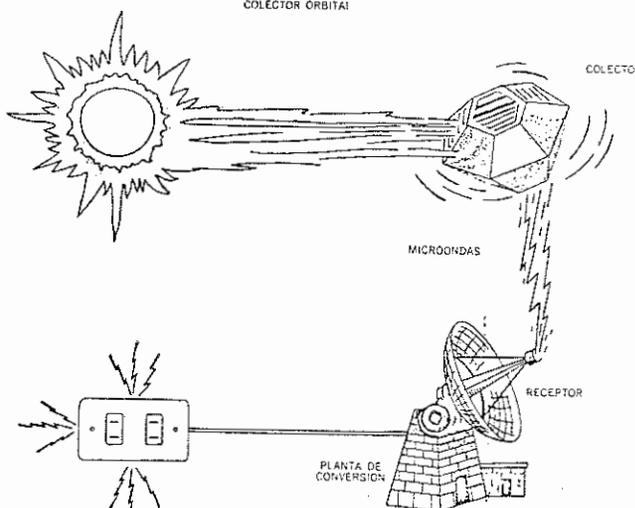
Este proceso ha sido estudiado ya y él aprovecha las propiedades de las salas eutécticas, de absorber y restituir el calor según que pasen de la fase líquida a la fase sólida e inversamente.

Una posibilidad sería la de utilizar metales como el sodio. Un proyecto de central de 1.000 megawattios se estudia actualmente en los Estados Unidos. Colectores del tipo invernadero recogerán la energía sobre una superficie de 35 kilómetros cuadrados, en estos invernaderos se encontrarán canalizaciones por las cuales circula el sodio líquido a una temperatura de más de 800° C. El servirá para alimentar un intercambiador de calor que producirá vapor, o un sistema de almacenamiento basado en las propiedades de las salas eutécticas.

UNA CENTRAL EN ORBITA

El Proyecto de central solar más espectacular, es incontestablemente el propuesto por la firma americana Arthur D. Little y su Director P. Glaser. El concierne, nada menos que un satélite gigante, productor de energía, en órbita alrededor de la tierra. ¿Ciencia ficción? Puede ser, pero la idea ha sido tomada muy seriamente por la NASA, la cual le consagrará aproximadamente 6 millones de dólares. En el espacio se reúnen, en efecto, las condiciones más favorables para la conversión de la energía solar.

La máquina, que mediría más de 10 kilómetros de largo y 5 de ancho, pesaría de 10.000 a 13.000 toneladas, se mantendría en órbita geoestacionaria a 35.000 kilómetros de la tierra. Dos paneles solares formados de celdas de silicio, análogas a aquellas utilizadas en las experiencias espaciales, pero cada una de 25 kilómetros cuadrados, serían colocadas de lado y lado de una antena central, de un kilómetro de diámetro, asegurando, después de la conversión en micro ondas hertzianas, la transmisión a tierra. Recogi-



das por una antena de 7 kilómetros de diámetro, la energía hertziana se transformaría de nuevo en corriente continua industrial.

La puesta en práctica de este proyecto presenta dificultades considerables, tomando en cuenta, particularmente, la instalación en el espacio de una máquina de tales dimensiones. De otra parte será preciso asegurarse que las micro ondas en cuestión, no produzcan problemas a la vida animal o humana ni a las telecomunicaciones.

IMPACTO SOCIAL DE LA ENERGIA SOLAR

El ritmo impetuoso del desarrollo industrial hace que el consumo de energía se doble aproximadamente cada 10 años, de forma que el problema comienza a preocupar a los ingenieros, a los hombres de gobierno, etc.

La crisis actual, hace aún más aguda la necesidad de la diversificación de las fuentes de energía. La voluntad de reducir el despilfarro de las energías llamadas gratuitas, las necesidades energéticas de los países no productores de petróleo, desarrollados o no, la necesidad de la protección del medio ambiente, todo esto explica el porqué del aumento de interés por la energía solar.

Seiscientos investigadores reunidos en París en julio de 1973, bajo el patrocinio de la UNESCO, en el Congreso: "El Sol al Servicio del Hombre", fueron unánimes en incitar a los gobiernos de acordar a los investigadores y a todos los planes de desarrollo energético no convencionales, los medios de financiamientos suficientes.

Qué desproporción, en efecto, entre la importancia de la energía entregada a la superficie del globo y la insignificancia de los medios puestos en ejecución, hasta el momento, para captarla y utilizarla.

En verdad no es hoy que se comienza o se busca a captar la energía solar directamente; mas, para que el problema empiece a ser considerado en toda su amplitud han sido necesarias dos condiciones esenciales, actualmente realizadas:

- De una parte, un estimulante de orden económico constituido por las necesidades en energía bastante crecidas que justifican las investigaciones largas y costosas.
- Por otra parte, un nivel suficientemente elevado de la ciencia y de la técnica, dado que los dispositivos para aplicaciones de la energía solar hacen un llamado a todas las últimas realizaciones de la óptica, de la mecánica, de la automatización, de la electrónica, etc.

La energía nuclear, que en verdad no ha terminado de darnos sorpresas, prácticamente apenas ahora inicia su desarrollo. Un misero de uranio en su puesto produce una materia prima energética, conteniendo hoy 20, más tarde 200 y puede ser 2.000 veces más Kwh que su camarada el carbón, está limitada en

su tiempo de utilización. La energía solar, a pesar de sus dificultades actuales, abre perspectivas más ricas y puede representar más tarde la sola fuente de energía. Las estimaciones más recientes fijan en efecto en 50.000 millones de años la duración de la radiación solar, mientras que los stock de combustibles son muy bajos en comparación (200 años aproximadamente).

La energía solar ofrece ventajas, tales como:

- Su poca peligrosidad para manejarla debido a su baja densidad.
- Considerable y no contaminante, puesto que su conversión no engendra ningún subproducto, ni siquiera una contaminación térmica, inevitables en los otros métodos de producción a partir de combustibles fósiles.
- No necesita ser transportada, puesto que está en todas partes y disponible en el lugar mismo del consumo, lo cual es de gran importancia en el caso de regiones apartadas (rurales).

Sin embargo las anteriores ventajas son contrapesadas por factores negativos como:

- Su variabilidad: aunque se puede predecir el promedio anual de energía que se recibirá, no es posible asegurar una cantidad dada de energía para un momento dado. Además es intermitente: varía con la hora del día, con la época del año y con factores climatológicos y geográficos locales.
- Su baja densidad (cantidad de energía por unidad de área) conduce a la utilización de superficies relativamente grandes, lo cual restringe su uso, y
- Actualmente el alto costo inicial que es necesario cubrir para su utilización.

A pesar del interés despertado, los países técnicamente desarrollados están lejos aún de efectuar aplicaciones de la energía solar; mientras se puedan encontrar combustibles y las esperanzas sobre la energía nuclear sigan creciendo, la explotación de la energía solar estará limitada a la economía de combustible, allá donde sean suficientes las bajas temperaturas, a las experiencias de laboratorio y a las fábricas-piloto para el porvenir.

Colocar el aprovechamiento de la energía solar en el lugar de los combustibles líquidos o gaseosos, conduce, en efecto, a regresar profundamente nuestra civilización técnica. Esta se ha desarrollado bajo el signo de la concentración. Concentración de la producción de energía, como de aquella de los bienes manufacturados, sobre todo con la llegada de la energía atómica. Esencialmente difusa, la energía solar no podrá alimentar grandes complejos industriales, ni centros urbanos tentaculares. Las máquinas solares, al menos a corto y mediano plazo, conducirán probablemente a resultados inversos, traduciéndose por una gran cantidad de elementos de pequeña potencia que producirían dispersión de la población hacia las zonas de débil densidad.

Esta forma de aplicación normal que tomaría, al

principio al menos, la energía solar, está indicando las zonas de preferencia para su empleo. Ella es verdaderamente el maná de los desiertos; no habría necesidad de líneas de transporte para fuerza a alta tensión, de intermediarios comerciales, pues la energía solar estaría allá exactamente donde se encuentra el que la utiliza o la necesita.

Rendimiento de las Aplicaciones de la Energía Solar y Punto de Vista Económico

Sobre el plano económico, el rendimiento en la transformación de energía, toma un valor capital. El mejor rendimiento obtenido con la energía solar es el de las fotopilas (celdas fotovoltaicas) que puede llegar hasta el 14 0/o, más cuyo promedio se establece en un 10 a 11 0/o.

En términos económicos, es evidente que, en el caso de la energía solar, sólo debe tenerse en cuenta la inversión necesaria para la instalación de la transformación, puesto que la energía es gratuita y prácticamente inagotable, mientras que en el caso de los combustibles fósiles, tal como el carbón por ejemplo, el costo de la energía primaria debe contabilizarse.

Además, en el análisis de costos, resulta interesante y oportuno señalar las diferencias en características, entre el equipo movido por energía solar y el tradicional accionado por combustibles o por electricidad, en el caso por ejemplo del bombeo de agua en regiones rurales o desérticas. Caso típico este de las instalaciones en México.

- 1) Las zonas desérticas, por lo general, no disfrutan de carreteras para el transporte de los combustibles que requiere el equipo de bombeo de agua, pues el costo de construcción de un kilómetro de carretera es enormemente alto; mientras que el sol proporciona la energía necesaria sin costos de conducción y transporte.
- 2) Los motores de combustión interna necesitan constante vigilancia y mantenimiento por parte de mecánicos especializados, de sueldos muy altos, acostumbrados a las comodidades de la ciudad, inexistentes en las zonas desérticas; por lo que, ni aún retribuyéndolos con sueldos elevados están dispuestos a cambiar sus residencias urbanas a esos lugares. Para muchos este problema parecerá secundario, pero es la realidad. En algunas ocasiones las instalaciones han sido abandonadas a veces por falta de una simple pieza o por no disponerse de alguien, conocedor del equipo. En la operación de una planta solar de bombeo, basta con un vigilante sin la menor preparación técnica, cuya labor casi se concretará a un acto tan sencillo como el de abrir una válvula a la salida del sol y cerrarla al terminar la tarde.
- 3) Comparando las plantas de bombeo solares con

plantas de energía eléctrica, se puede decir que las primeras no están actualmente en situación competitiva en lugares donde ya existe electricidad disponible. Sin embargo, en donde se presenta el inconveniente de tender una línea eléctrica a una distancia de 10 kilómetros o más para plantas de 1 kw, y a más de 50 kilómetros para plantas de 50 kw, la solución de la energía solar es bastante superior.

En materia de rendimiento de la instalación de transformación de energía, se obtendrán, en un futuro, ciertamente, progresos significativos, aun en las tres formas de conversión actualmente conocidas, pero principalmente en la conversión directa y en la fotosíntesis, en las cuales las esperanzas que ellas reservan justifican mejor los créditos de inversión necesarios.

Sin embargo, considerando las posibilidades en Venezuela, para el desarrollo de la energía solar, y su justificación económica (se toma como ejemplo solo la utilización a baja temperatura: producción de agua caliente), se puede hacer la siguiente consideración: si solamente el 10 % de los 2 millones de habitantes que tiene Caracas, usaran un promedio de energía de 1 kwh/día-persona, de los 5 kwh/día m² que recibe Caracas anualmente, se ahorraría en energía eléctrica (tomando a Bs. 0,25 kwh) durante un año (360 días/año) la siguiente cantidad:

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ kwh} \\
 \text{día/persona} \\
 \times 2.000.000 \text{ persona} \\
 \\
 \begin{array}{r}
 \text{días} \\
 \times 360 \\
 \text{año}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 \text{Bs.} \\
 \times 0,25 \\
 \text{Kwh}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 \\
 \times 0,1 \\
 \\
 \\
 \\
 \end{array}
 \\
 \\
 = 18.000.000 \\
 \text{Año}
 \end{array}$$

Naturalmente, la inversión inicial tendría que tomarse en cuenta como depreciación y además incluir los costos de mantenimiento para hacer una comparación económica real, sin embargo, el anterior ejemplo muestra que esta fuente de energía debe ser tomada en cuenta para ahorrar en parte nuestra valiosa riqueza en hidrocarburos.

Investigación Sobre Energía Solar en la Universidad de Carabobo

Siendo Venezuela un país tropical y como tal con la ventaja de que los niveles de radiación solar durante el año varían poco, lo cual permite un uso menos discontinuo de los equipos que trabajan con energía solar, debe pensarse seriamente en iniciar verdaderos programas para la utilización y comercialización de aparatos que trabajen con este tipo de energía en diversas aplicaciones: investigación a nivel de indus-

tria manufacturera.

La Universidad de Carabobo, conjuntamente con aportes de la empresa CADAFE, desarrolla actualmente un estudio para la construcción de calentadores solares que produzcan agua caliente en pequeña y mediana escala; y un estudio para diseño y construcción de pequeñas plantas de climatización que trabajen con energía solar. Según los resultados que se obtengan, se procederá a la comercialización de los modelos investigados en los dos casos.

El propósito fundamental es el de reunir experiencias y conocimientos que permitan formar un juicio más real, sobre las posibilidades de aplicación en Venezuela, principalmente en las zonas rurales, sin excluir las zonas urbanas, de estos tipos de calentadores y plantas de acondicionamiento de ambientes. Sin embargo este proyecto permitirá también, interesar a un gran grupo de profesores, estudiantes de ingeniería y otro personal técnico, en estos temas de la energía solar; además, el obtener toda una serie de referencias bibliográficas y equipos para iniciar otras investigaciones de mayor alcance sobre este campo.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, mediante convenio que se prepara actualmente con la Fuerza Aérea Venezolana, está desarrollando la construcción, en Valencia, de una estación bien equipada para observaciones meteorológicas, en general, e investigaciones de energía solar, lo cual le permitirá iniciar la construcción de un centro de estudios de energía solar y eólica, donde puedan desarrollarse todo tipo de pruebas de campo. Este centro le permitirá también establecer programas de estudios avanzados sobre estos temas.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1) Energy Primer: Solar, water, wind and BioFuels. Ed.: Tricke Parks Pressine. Tremont, California.
- 2) Energies Nouvelles: L' énergie solaire. Ed. Délégation aux Energies Nouvelles, C. N. R. S. France.
- 3) Sunspots: Steve Baer. Ed. Zomeworks Corporation Albuquerque, New Mexico.
- 4) La Houille D'or: Marcel Perrot. Colección: Le Bilan de la Science. Ed. Imprimerie Croutzet. Paris.
- 5) Les Nouvelles sources d' énergie Science et vie, número: Hors Serie Nº 110.
- 6) La energía solar, su desarrollo y su utilización en Venezuela: Misael Pabón Díaz. Primer Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología. Caracas, julio 1975.
- 7) Revista de la Asociación Nacional de Industriales. Colombia Nº 17 de 1973.
- 8) Chemical Engineering Progress. Nº 7 volumen 71, julio 1975.
- 9) Material no publicado. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad de Carabobo.