

## **Captación de Energía Solar**

### **1.- Recursos energéticos:**

El mundo moderno basa su desarrollo en el consumo creciente de energía en sus distintas variedades: petróleo, gas, carbón, electricidad, etcétera.

Cuando en la década del 70 los países productores de petróleo llevaron el valor del mismo a precios imprevistos, los países consumidores tomaron conciencia de que era necesario buscar otras fuentes de energía que no fueran las mencionadas más arriba, ya que las mismas se clasifican dentro de las "no renovables", o sea que con el correr del tiempo se van a extinguir.

En la actualidad, el mundo depende del petróleo en un 46%, del carbón en un 27% y del gas en un 17%, lo que hace que la dependencia total de los combustibles fósiles llega al 90%, siendo el 10% restante aplicable a las energías hidroeléctricas, nuclear, etcétera.

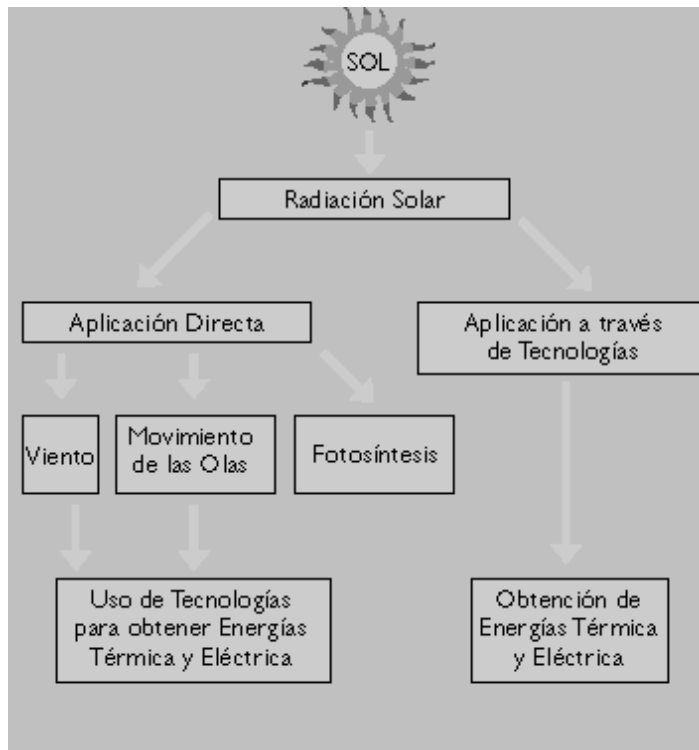
Con el aumento excesivo del costo de estas energías no renovables, también se tomó conciencia de un mejor aprovechamiento y de un uso racional y cuidadoso de la energía.

En el curso de las dos últimas décadas, se intensificó el empleo del petróleo y del gas, y sus reservas comienzan a decrecer rápidamente, calculándose su extinción a mediados del siglo 21. Simultáneamente comenzará el uso más intensivo del carbón, cuyas reservas se calculan hasta el siglo 28.

Nos encontramos pues ante la necesidad de reactivar el uso de las energías renovables, o sea, de las energías que nunca se extinguen tales como la solar, la geotérmica, la biomasa, etcétera.

Naturalmente que la más importante de todas ellas es la energía solar, o sea, la energía suministrada por el sol, que también se manifiesta en la producción del viento, en el movimiento de las olas, etcétera.

El gráfico siguiente muestra el empleo directo e indirecto de la energía solar.



El tema del uso directo o natural de la energía solar lo explicaré en forma muy breve.

a. Energía del viento:

El uso de la energía del viento para bombeo de agua de pozo (molinos) y para producir electricidad en pequeña escala es un hecho que se remonta a muchos años.

En los últimos tiempos se desarrolló con amplitud la tecnología de la turbina de viento para la obtención de electricidad de la energía eólica, sin que ello requiera tecnologías especiales, pero sí se requiere lugares adecuados donde el viento tenga cierta intensidad, regularidad y sobre todo persistencia, y finalmente que la energía producida pueda ser consumida, acumulada o entregada a la red de la compañía de electricidad. En estos casos se interconecta la energía eléctrica producida con las redes generales de electricidad y se puede comprar dicha energía cuando el usuario no la consume.

Aquí, en Israel, el Servicio Meteorológico está haciendo estudios de la persistencia e intensidad de los vientos en los lugares más adecuados para instalar lo que se define como "Granja de Turbinas de Viento" y aprovechar así su energía en forma racional.

b. Conversión biológica – Fotosíntesis:

Se conoce ampliamente el fenómeno de la fotosíntesis, que es la propiedad que tienen las plantas para transformar las sustancias simples, como agua, gas carbónico, nitratos, etc., en sustancias complejas (lípidos, glúcidos, etc.) merced a la intervención de la luz y en particular de la luz solar.

En principio, es posible cultivar plantas adecuadas para generar energía por conversión biológica, y lo que hoy se conoce como biomasa es el reciclamiento de los procesos de desechos de productos vegetales para la obtención de energía.

c. Conversión de la energía solar por medio de océanos:

Los océanos ocupan el 71% de la superficie del globo terrestre y constituyen un enorme depósito natural de almacenamiento de energía solar debido:

I. Al gradiente de temperatura producido por el sol según la profundidad que puede llegar de 20 a 25° C, y su aprovechamiento depende de la forma de extracción de ese calor almacenado, que se puede hacer mediante intercambiadores de calor;

II. La energía cinética de las olas.

## **2.- Disponibilidad de la energía solar:**

La intensidad de la energía radiante del sol en el exterior de la atmósfera terrestre es de 1353 W/m<sup>2</sup> como promedio anual. Esta energía cuando atraviesa la atmósfera va perdiendo intensidad debido a causas tales como la absorción de radiación infrarroja por el vapor de agua, la polución atmosférica, etcétera.

Sobre la superficie terrestre, su valor total se reduce de  $69 \times 10^{16}$  watts a  $17 \times 10^{16}$  watts de radiación solar.

El valor de  $69 \times 10^{16}$  watts resulta de la siguiente operación:

que como se dijo más arriba, al atravesar la atmósfera ese valor se reduce a  $17 \times 10^{16}$  watt.

Si se supone que una persona necesita para su uso como promedio 10 Kw = 104 watt, empleando solamente la energía solar, ella alcanzaría para satisfacer, aun con un rendimiento del 10%, a una población de

o sea, a un total de ciento setenta mil millones de habitantes, población veinte veces más grande que la que habría en el año 2000.

Este cálculo, que es real y optimista, tiene sin embargo limitaciones técnicas y económicas de difícil solución. Una de ellas es que para la recolección de la energía solar en gran escala se requieren grandes áreas, y otra limitación es que los mejores lugares de radiación solar en el mundo son los lugares remotos y desérticos, tal es el caso de Arizona, Arabia Saudita, centro de Australia, Sudáfrica, Texas, etc., donde no existe posibilidad de desarrollo industrial y agrícola, donde hay escasez de agua y donde su aprovechamiento requiere medios de transporte adecuados hacia las zonas industrializadas.

Una tercera limitación es la intermitencia de la radiación solar, variable durante el día y durante los distintos meses del año, siendo nula por la noche. Todo ello hace que se requieran formas especiales de almacenamiento del calor recibido para poderlo aprovechar en el momento necesario.

## **3.- Formas de almacenamiento:**

No existe una forma general de almacenamiento de la energía solar. Para temperaturas de calentamiento de bajo valor, el calor producido puede almacenarse en depósitos de agua bien aislados, o en recintos con piedras que reciben el aire caliente que proporciona la energía solar. Si se trata de altas temperaturas se pueden emplear metales líquidos, sales fundidas, descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno y luego recomponerla, etcétera.

Si se trata de energía eléctrica, se puede almacenar en baterías de acumuladores tipo alcalino, o se puede emplear dicha energía eléctrica obtenida del sol durante el día, para la elevación de agua que luego se puede

convertir en energía hidráulica a emplear durante la noche, en días nublados, etcétera.

#### **4.- Conversión térmica:**

La transformación de la radiación solar en energía térmica, ya sea en forma de agua caliente, aire caliente, vapor de agua, etc., se hace por intermedio de los llamados colectores solares que pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- a. colector solar plano.
  - b. colector solar al vacío.
  - c. colector solar concentrador parabólico.
  - d. heliostatos.
  - e. piletas solares.
- a. Colector solar plano:

El principio fundamental de funcionamiento de un colector solar se basa en el aprovechamiento de la propiedad que posee una superficie revestida de negro o de una sustancia de material selectivo, que absorbe la radiación solar en un 90% y la emite en menos de un 10 por ciento.

En particular, el colector solar plano está formado por una superficie metálica plana que lleva adherida a ella una serie de tuberías de cobre, estando todo el conjunto revestido de pintura negra absorbente selectiva. Por las tuberías circula el agua a ser calentada por la radiación solar. Para evitar las pérdidas de calor por convección (pérdidas térmicas) se coloca una o dos cubiertas de vidrio entre la superficie de absorción y el medio ambiente; que además de reducir las pérdidas de calor, protegen al conjunto de las condiciones atmosféricas. Para evitar la pérdida de calor por conducción, el conjunto lleva en su parte posterior una capa de material aislante térmico que puede ser: poliuretano expandido, lana de vidrio, fiberglass, etcétera.

El rendimiento de un colector solar, en general, se deduce comparando la cantidad de calor que se obtiene del agua y la cantidad de calor que recibe el colector de la radiación solar, o sea:

Si  $Q_r$  es la cantidad de calor recibida de la radiación solar, y  $Q_u$  es la

cantidad de calor que se obtiene del agua, el rendimiento será:

Desarrollando las expresiones de  $Q_r$  y  $Q_u$  en función de las temperaturas del agua, de la temperatura ambiente, de la radiación recibida, y de los elementos que provocan las pérdidas ópticas: transmitancia de la superficie donde incide el rayo solar, absorptancia efectiva de la tubería por donde circula el líquido, reflectancia especular, fracción de radiación interceptada por el receptor; y las pérdidas térmicas: coeficiente de transmisión del calor, masa del líquido, temperaturas inicial y final del líquido y temperatura ambiente; se llega a una expresión del rendimiento siguiente:

Siendo A y B funciones de los elementos arriba citados,  $I_d$ : la radiación solar directa,  $T_{fp}$  la temperatura promedio del líquido y  $T_a$  la temperatura ambiente.

La expresión anterior representada en coordenadas cartesianas es una recta, donde la ordenada en el origen nos da el rendimiento considerando solamente el valor de las pérdidas ópticas, mientras que la inclinación (la tangente del ángulo, nos da las pérdidas térmicas).

Según se puede apreciar en el dibujo, el rendimiento cae bruscamente a medida que aumenta la temperatura, debido naturalmente a las pérdidas térmicas. Para disminuir estas pérdidas, lo que significa hacer que la recta tenga menos inclinación, se recurre a la solución de poner 2 o 3 cubiertas de vidrio en lugar de una sola. Pero con esta solución aparece otro inconveniente, ya que si bien disminuyen las pérdidas térmicas, aumentan las pérdidas ópticas, ya que todo rayo solar incidente sobre un vidrio pierde parte de intensidad por absorción y refracción en el mismo, pérdidas éstas que se acrecientan al haber más capas de vidrio. Hay entonces una limitación en el número óptimo de cubiertas de vidrio, que depende fundamentalmente del tipo de vidrio, de su espesor, de la temperatura del fluido a calentar; por el cual el número de vidrios conviene que no pase de dos.

Otra forma de reducir las pérdidas térmicas y obtener simultáneamente una reducción de las pérdidas ópticas, es colocar entre las dos placas de vidrio, placas verticales de vidrio o plástico, constituyendo así el conjunto una placa tipo nido de abeja. De esta forma se reducen las pérdidas térmicas por convección, y en cuanto a las reflexiones y refracciones producidas en las placas horizontales son atrapadas por las verticales, recuperándose así parte de las pérdidas ópticas.

Un estudio de este tipo de nido de abeja puede consultarse en la revista Solar Energy N° 18 (1976), en las páginas 193 a 203.

Otra forma de mejorar el rendimiento es emplear pinturas especiales selectivas, electroplateado de las superficies con cromo negro o níquel negro, este último desarrollado por un prestigioso físico israelí, el doctor Tabor. La característica de estos dos elementos es la siguiente:

- Cromo negro: sobre una superficie de óxido de cobre o nitrato de cobre se hace el cromado sobre una capa previa de niquelado.

Las características son: selectividad = 0.95, emisividad = 0.10 a 0.15

- Níquel negro: sobre una superficie de acero con contenido de níquel y azufre se hace el niquelado. Posee mejores características de selectividad (0.96) y emisividad (0.07), y es ideal para su uso en climas secos, habiendo aún dudas sobre su resistencia a la humedad.

#### b. Colector al vacío:

La idea de hacer el vacío entre la cubierta de vidrio y la placa receptora resultó muy atractiva por cuanto ello reduce las pérdidas por convección a cero, y si a ello le agregamos una superficie de absorción selectiva, también se pueden reducir casi a cero las pérdidas por radiación, con lo cual se consigue un colector ideal.

Sin embargo, el conseguir un vacío entre las placas de un colector plano es muy difícil técnicamente, por cuanto hay que tener un soporte rígido del espacio entre las placas (para ello el panel de abeja es ideal) y un sellado hermético a veces imposible de practicar.

Habiéndose conseguido y estando disponible la tecnología para la fabricación de tubos para iluminación

fluorescente, se han desarrollado dos tipos de colectores el vacío tubulares, producidos por Corning y Owens-Illinois, que pueden apreciarse en el dibujo siguiente:

El desarrollado por Corning usa un tubo de vidrio de gran diámetro que rodea a una superficie plana selectiva. En cambio, el de Owens-Illinois emplea también un tubo de vidrio grande pero en lugar de una superficie plana selectiva, usa un tubo concéntrico de menor diámetro que lleva a su alrededor la superficie selectiva.

Según puede apreciarse en la figura 5 donde se observa una mejora importante en las curvas de rendimiento si se las compara con las del colector plano, sobre todo en la visible disminución de las pérdidas térmicas, pudiéndose así lograr altas temperaturas (cercanas a los 100° C) con un rendimiento importante.

El inconveniente de este tipo de colectores es su costo elevado y su mantenimiento difícil, por lo cual no tienen mucha aceptación en el mercado.

También la firma General Electric desarrolló un colector similar y de rendimiento importante, muy parecido en sus características al de Owens-Illinois.

#### c. Colectores concentradores:

El principio de los colectores concentradores es el de concentrar mediante procedimientos ópticos la energía que irradia el sol antes de su transformación en calor. Así, una radiación solar que entra a un colector concentrador a través de una superficie determinada es reflejada, refractada o absorbida por una superficie menor, para luego ser transformada en energía térmica. Esto no ocurre en el colector plano donde la transformación de la energía solar en energía térmica se efectúa en la misma superficie que recibe la radiación.

La ventaja importante de este tipo de colector es ante todo la reducción de las pérdidas térmicas en el receptor, pues al ser éste de menor superficie habrá menos área para la radiación del calor y por lo tanto el líquido que circula por el receptor puede calentarse a mayores temperaturas con un rendimiento razonable y a un costo menor. Claro está que las reflexiones y refracciones extras de la radiación solar hacen aumentar las pérdidas ópticas y entonces las curvas representativas del rendimiento, parten de ordenadas en el origen menores que las de un colector plano, pero no tienen la pendiente pronunciada, característica de estos últimos.

Históricamente, la idea de concentrar la radiación solar para obtener más energía, fue anterior a la de los colectores planos. Así, por ejemplo, los caldeos, que se distinguieron por la astronomía, crearon sus lentes fundiendo cuarzo mediante la concentración de rayos solares. En 1695 en Florencia fue fundido un diamante empleando energía solar concentrada y el famoso químico francés Lavoisier, ya en el siglo XVIII, hacía sus experiencias químicas a alta temperatura mediante el empleo de lentes concentradores.

Se define como coeficiente de concentración a la relación:

Los colectores concentradores, de acuerdo con el valor de C, se dividen en dos tipos:

- de alta concentración

$(C > 10)$

Son los que, mediante dispositivos especiales y precisos de enfoque y seguimiento del sol, logran en el receptor una alta densidad de energía;

– de media y baja concentración

$(2 < C < 10)$

Son los que no requieren dispositivos especiales de enfoque y tampoco un seguimiento permanente del sol, sino la modificación de su posición algunas veces por año, que dependerá del valor de C. Así, por ejemplo, para

C = 2 a 3; 4 veces por año.

C = 3 a 6; 8 veces por año.

C = 10; 80 veces por año.

Los colectores concentradores pueden ser de varios tipos:

Figura 6

I. Parabólicos (por reflexión) :

El colector está formado por una superficie reflectora (espejo, aluminio anodizado, etc.) de forma parabólica, que recibe los rayos solares y que merced a la propiedad de la parábola que dice que cuando los rayos son paralelos al eje de la misma se concentran en el foco de ella, dichos rayos inciden en un elemento receptor ubicado en el foco, que contiene el fluido a calentar.

II. Parabólicos (por refracción):

El colector está formado por una lente que recibe los rayos solares paralelos y los refracta concentrándolos en un punto, donde se encuentra el elemento receptor que contiene el fluido a calentar.

III. Parabólico compuesto (C.P.C.):

El colector está formado por dos parábolas dispuestas de tal manera que ambos ejes forman con la vertical el mismo ángulo  $\phi$ . Se

demuestra que existe una vinculación entre la concentración C del colector y dicho ángulo, mediante la expresión:

y todos los rayos solares que inciden con un ángulo respecto de la vertical y que se encuentran dentro de dicho valor de  $f$  tienen la particularidad de llegar por una o dos reflexiones al receptor ubicado en la parte inferior. Este receptor puede ser plano horizontal, plano vertical, cilíndrico, etc.

#### Figura 7

Este ángulo  $f$  recibe el nombre "medio ángulo de aceptación".

En la Figura 7 se ve en corte y en vista un C.P.C. fabricado en Israel, donde se puede apreciar la superficie reflectora interior de aluminio anodizado, que en la parte inferior tiene la forma de trapecio (también puede tener la forma de una W).

En la parte superior hay un vidrio que permite el paso de la radiación solar, que en forma directa o luego de una o dos reflexiones incide en una tubería metálica con revestimiento selectivo por donde circula el fluido a calentar.

Rodea a esta tubería una manga de plástico especial que hace disminuir las pérdidas térmicas por convección en el espacio entre la tubería y el vidrio.

Todo el conjunto está cerrado por una cubierta de chapa de hierro galvanizada y entre ésta y el aluminio reflectivo hay un aislante que puede ser poliuretano expandido, lana de vidrio, etcétera.

En la Figura 8 se indica la curva obtenida haciendo el ensayo respectivo de rendimiento, y en la Figura 9 su comparación con los colectores solares planos.

#### Figura 8

#### IV. Parabólico con receptor de foco lineal:

#### Figura 10. Colector Parabólico Receptor de Foco Lineal

Se trata de un colector formado por un segmento de parábola cilíndrico que tiene su foco constituido por una tubería cilíndrica de metal por la cual circula el líquido a calentar o evaporar. Rodea a esta tubería metálica otra de vidrio, y entre ambas se ha efectuado el vacío, para disminuir las pérdidas térmicas por convección.

Este colector requiere un seguimiento permanente del sol por cuanto los rayos de la radiación solar deben ser permanentemente paralelos al eje de la parábola.

Este tipo de colector fabricado en el país por una prestigiosa firma, ha sido instalado en instalaciones muy grandes en los Estados Unidos de América, para la producción de energía eléctrica y se halla conectado con las redes de la Compañía de Electricidad de la región donde se colocó.

En Sdé Boker tendrán oportunidad de apreciar un prototipo de este colector.



## Figura 11 y 12 Sistema de Receptor Central con Foco Lineal

### V. Segmentos parabólicos con receptor de foco lineal:

En los dibujos indicados se presentan dos sistemas que reciben la energía solar y la reflejan a un receptor central del tipo lineal. En el primer caso se trata de una serie de colectores parabólicos individuales enfocados a un receptor común.

En el segundo caso, que ustedes apreciarán directamente en el Kibutz Nir Eliahu, se trata de segmentos de espejos parabólicos accionados simultáneamente, de modo que en todo momento los rayos reflejados inciden en un receptor formado por una tubería metálica con revestimiento selectivo y rodeada de una tubería de vidrio.

### VI. Plato parabólico con receptor de foco puntual:

Se trata de uno de los pocos tipos de colectores concentradores tridimensionales y por lo tanto deben tener seguimiento solar en las dos direcciones. El receptor está en el foco del plato parabólico y es equivalente a un punto. A él a veces se conecta un motor Stirling.

#### d. Heliostatos:

#### Figura 14. Heliostato (vista frontal y trasera)

Se define así a un espejo plano o ligeramente parabólico de gran superficie (40/50 m<sup>2</sup>), a veces también formado por varios espejos, colocados sobre una estructura metálica definida que le permite un movimiento universal, para posibilitar así el seguimiento solar en ambas direcciones: N-S y E-O.

Los heliostatos se emplean para formar sistemas, en cantidades grandes (30, 40, etc.), formando un campo que tiene la forma de gradas de un anfiteatro, y la radiación solar recibida en cada uno de ellos es reflejada a una torre central receptora, donde la energía solar recibida se la transforma en energía térmica para diversos usos. En el dibujo siguiente se aprecia una instalación de heliostatos.

Varios proyectos de este tipo se están llevando a cabo en el mundo y en Israel. En California se están instalando 1.800 heliostatos que permitirán obtener una potencia eléctrica de 10 MW. El proyecto se lleva a cabo en una superficie de 30 hectáreas. Algo similar se realiza también en España y Alemania. En Israel, el Instituto Científico Weizman de Rehovot está por completar una instalación de 2,500 m<sup>2</sup> de heliostatos (56 de 7.5 x 6 m cada uno) que permitirán generar una potencia eléctrica de 3 MW. El profesor Dostrovsky que se ocupa de este proyecto asegura que si los resultados de esta primera instalación resultaren satisfactorios, se harán de inmediato otras 14 instalaciones en distintas partes del país. En el receptor se piensa obtener temperaturas del orden de los 600°C que permitirán su aplicación a energía eléctrica y química. Ustedes podrán apreciar personalmente esta instalación durante la visita programada al lugar.

#### e. Piletas solares:

Bajo condiciones no controladas, el calor solar que se deposita en la masa de agua de una pileta, se disipa a la atmósfera a medida que las capas más calientes, y por ello menos densas, suben a la superficie debido a las corrientes de convección.

Si en cambio se modifica la composición salina del agua de la pileta, haciendo que se componga de varias capas de distinta salinidad: solución diluida de densidad 1.05 en la superficie y solución saturada de 1.3 en el fondo, o sea de varias capas de densidad variable y creciente desde la superficie al fondo, se impide la aparición de corrientes de convección desde el fondo a la superficie al calentarse el agua por efecto de la radiación solar. En consecuencia, la radiación solar que penetra hasta el fondo logra calentar la capa inferior hasta 90°C, mientras que la capa superior no pasa de 30°C. No habiendo convección y siendo el agua mala conductora del calor, se acumula en las capas inferiores energía térmica en forma de agua caliente, que puede extraerse directamente mediante tuberías, o poniendo un intercambiador de calor adecuado.

Este es el fundamento de una pileta solar, que son piletas artificiales de superficie variable y de una profundidad que varía de 1 a 3 metros. El fondo de la pileta está pintado de negro.

Las ventajas del empleo de la pileta solar como colector son:

1. Bajo costo inicial.
2. Empleo de materiales no degradables con el medio ambiente.
3. Sistema propio de acumulación de calor, que puede aprovecharse cuando no hay sol.

Sus inconvenientes son:

1. Necesidad de grandes extensiones de terreno, para disminuir los efectos laterales.
2. Rendimiento térmico muy bajo (del orden del 10%).
3. Con el tiempo se produce difusión de las sales que obliga a separar el exceso que aparece en las capas superiores.
4. Acumulación de desperdicios en la parte superior.
5. Eventual formación de olas que alteran el gradiente de salinidad. Ello obliga a colocar redes rompeolas.
6. Requiere un mantenimiento más riguroso.
7. Se deben hacer en terrenos planos, en zonas cercanas al mar, en suelos de bajo contenido biológico y sin napas freáticas altas.

Figura 15 Sistema de Receptor Central con Foco Puntual

Ustedes verán su aplicación en Israel, en la zona de Ein Bokek (vecina al Mar Muerto), donde hay una instalación de 150 KW equipada con una turbina especial acoplada a un generador que produce la energía eléctrica. En ese mismo lugar se dio comienzo a una instalación de 5 MW que proveerá de energía eléctrica a toda la zona de hoteles del lugar. La ventaja de la ubicación de estas piletas solares es la cercanía al Mar Muerto que como se sabe su agua posee una concentración salina muy alta.

## 5. Conversión eléctrica – Células fotovoltaicas:

Los colectores solares concentradores permiten la obtención de energía eléctrica en forma indirecta o sea aprovechando la energía térmica para generar vapor que acciona una turbina acoplada a un generador eléctrico pero hay otros elementos que efectúan la transformación de la energía solar en energía eléctrica en forma directa. Estos elementos son las células fotovoltaicas, de las cuales daré una breve explicación, pues en otra conferencia se verá ello con más amplitud.

El principio de funcionamiento de la célula fotovoltaica es conocido desde hace muchos años, pero su desarrollo y aplicación se hizo evidente con el desarrollo de los satélites artificiales y los viajes espaciales que aprovechan la energía solar para su actuación.

El rendimiento de una célula fotovoltaica es del 12 al 15% y su costo en sus comienzos de uso que era de 100 U\$S/W ha bajado sensiblemente en los últimos años y continuará bajando aún más si se consiguen las siguientes condiciones:

- a. que se produzcan paneles fotovoltaicos del orden de los KW o MW;
- b. que se desarrolle una planta industrial multimegawatt;
- c. que se resuelva eficazmente el problema del almacenamiento en base a batería de acumuladores especiales.

En Sdé Boker se ha realizado últimamente una instalación experimental de paneles fotovoltaicos con espejos laterales que hacen aumentar la producción de energía. Esta instalación que ustedes seguramente visitarán forma parte de un complejo de instalaciones diversas de experimentación para el aprovechamiento de la energía solar.

6. Aplicación de la energía solar para calentamiento de agua en viviendas, hoteles, hospitales, industrias, etcétera .

a. Vivienda familiar.

1. Sistema a termosifón

Figura 16. Unidad simple a termosifón

Este sistema a termosifón se emplea cuando el tanque de acumulación del agua caliente y el colector solar se encuentran en la azotea o terraza del edificio.

El colector que recibe los rayos solares calienta el agua que circula por las tuberías que posee, la que por convección penetra al tanque en la parte superior y sale por la parte inferior para completar el ciclo. El agua de consumo sale por una tubería independiente, existiendo además otra tubería que hace ingresar agua de la red de alimentación, para reponer la que se ha consumido.

Estos sistemas funcionan bien cuando hay radiación solar y mantienen durante un tiempo el agua caliente en el tanque cuando desaparece aquella. Cuando la temperatura del agua en el tanque baja a un cierto valor, un termostato hace operar un calefactor eléctrico que la hace aumentar y mantener así caliente el agua de consumo.

2. Sistema a circulación forzada:

Figura 17. Circuito abierto.

Cuando el tanque de acumulación del agua caliente se encuentra en el interior de la vivienda y el colector solar en la azotea o terraza, la circulación del agua no puede hacerse por termosifón, sino que requiere forzosamente el uso de una bomba de circulación que se ubica junto al tanque acumulador.

Aquí pueden presentarse dos variantes: FIGURA 17.

- A circuito abierto:

Figura 18. Sistema solar para calentamiento

de agua en viviendas colectivas .

En este caso el agua de calentamiento por la energía solar se mezcla con el agua de consumo, en forma similar al caso del termosifón.

- b. A circuito cerrado:

En este caso, el tanque de acumulación posee un doble revestimiento (doble camisa) por cuyo espacio circula el agua de calentamiento. Esta doble camisa cumple la función de intercambiador de calor, y por lo tanto el agua de consumo se calienta en forma indirecta.

En ambas variantes existe también el termostato que pone en marcha el calefactor eléctrico para mantener la temperatura del agua. También en ambos casos existe la entrada de agua de la red de alimentación para compensar el consumo.

La ventaja del sistema de circuito cerrado es que las tuberías del circuito de agua de calentamiento no sufren del proceso de incrustaciones por cuanto el líquido que circule por ella no está en contacto con la atmósfera.

- b. Viviendas multifamiliares:

Figura 18. Sistema para calentamiento

de agua en viviendas colectivas.

Pueden considerarse dos casos:

- I. Viviendas colectivas o en propiedad horizontal (Edificios de pisos) :

En todos estos casos, los colectores solares están en la azotea del edificio y el tanque de acumulación, cuando es común a todos los departamentos, se encuentra en el sótano, lo más cercano posible a la entrada de agua de la red.

En este caso también existe la posibilidad de mezclar el agua caliente de consumo con la que se calienta por la radiación solar FIGURA 18 o independizar ambos circuitos, para lo cual el tanque debe tener intercambiador de calor o ser de doble camisa. FIGURA 19.

Una tercera variante, que tiene aplicación cuando se trata fundamentalmente de edificios nuevos, es incluir en cada vivienda un tanque individual con intercambiador de calor tipo doble camisa FIGURA 20.

De esta manera cada vivienda posee su consumo independiente de las restantes. Además todo el sistema posee una tercera tubería que hace equilibrar el recorrido de las tuberías de alimentación, proporcionando así agua caliente a la misma temperatura a cada uno de las distintas viviendas.

## II. Viviendas individuales dispersas (normalmente al mismo nivel)