

Capítulo 3

Energía fotovoltaica y fototérmica

Como se mencionó anteriormente, la energía solar puede ser aprovechada en la generación de energía eléctrica (fotovoltaica) o de calor (fototérmica), para lo cual existen sistemas de captación y transformación que serán detallados en el presente capítulo.

3.1 Energía fotovoltaica

La energía eléctrica se ha convertido en una necesidad para la humanidad, facilita muchas actividades de la vida diaria (lavar, cocinar, trabajar, comunicarse) y lo más importante, incrementa la productividad al aumentar el tiempo de iluminación.

En la tabla 3.1 se muestra la proporción de los distintos tipos de plantas de generación de energía eléctrica en México. Actualmente el 45% de la electricidad generada proviene de plantas termoeléctricas (CFE, 2009a).

Tipo de generación	Capacidad efectiva[MW]	Porcentaje
Termoeléctrica	22,668.69	45%
Hidroeléctrica	11,094.90	22%
Carboeléctrica	2,600.00	5%
Geotermoeléctrica	964.50	2%
Eoloeléctrica	85.25	0%
Nucleoeléctrica	1,364.88	3%
Termoeléctrica (Productores Independientes de ciclo combinado termoeléctrico)	11,456.90	23%
Total	50,236.12	100%

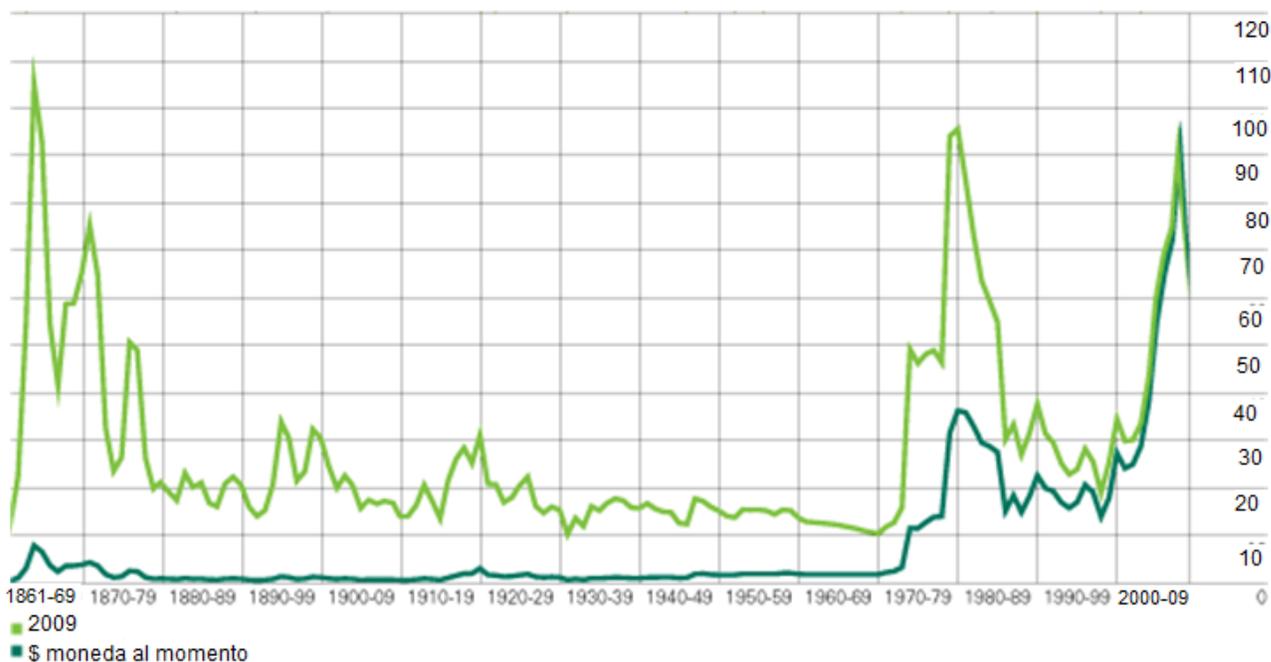
Fuente: CFE, 2009a

Tabla 3.1: Capacidad instalada por tipo de generación

El petróleo es la fuente primaria más utilizada en la generación de energía; como se mencionó en el capítulo 2, sus reservas han disminuido notablemente, en oposición a su precio que va en aumento. La figura 3.1 muestra las fluctuaciones del precio del petróleo; la línea superior es una equivalencia de dichos precios en el valor que el dinero tendría en 2009, mientras que la inferior es el precio real en cada año señalado.

Precios del Petróleo 1861-2009

Dólares (EU) por barril



Fuente: BP, 2009

Figura 3.1: Aumento en el precio del petróleo

El encarecimiento del petróleo genera un aumento en el precio de la energía eléctrica, lo que obstaculiza para algunos el uso de este servicio. Para no depender de esta fuente energética se requiere la utilización de fuentes que sean renovables como la energía fotovoltaica, obtenida al transformar en electricidad la energía solar (ANES, 2009).

3.1.1 Características de la energía fotovoltaica

Para la elaboración de este subtema se tomó como base las publicaciones de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES, 2009) que brinda información útil y completa sobre esta energía y sus principales características.

Los sistemas fotovoltaicos funcionan mediante una propiedad llamada “efecto fotoeléctrico”, que consiste en transformar la luz en energía eléctrica sin ningún paso intermedio. Esta conversión ocurre a nivel atómico, los materiales que poseen esta propiedad son capaces de absorber fotones de la luz solar (luz visible) y emitir electrones libres, que al ser capturados forman una corriente eléctrica.

El efecto fotoeléctrico fue descubierto por el físico francés Bequerel en 1839, quien observó que algunos materiales producían electricidad al estar expuestos a la luz. Más tarde Einstein, en 1905, profundizó esta investigación, fundamentando las bases de la energía fotovoltaica.

El primer sistema fotovoltaico fue una batería solar construida en 1954 en los laboratorios. Fue en la década de los 60's cuando se encontraron otras aplicaciones para este tipo de energía gracias a la industria espacial, y en los 70's a causa de la crisis energética.

Los dispositivos en los que se realiza la transformación de energía solar a eléctrica se conocen como “generadores fotovoltaicos”, y están compuestos por un conjunto de unidades mínimas llamadas “celdas solares”, que se conectan para formar “paneles solares” (ANES, 2009).

Las celdas solares están construidas con materiales semiconductores y cubiertas por una capa antirrefleтора. Para su funcionamiento tienen una rejilla delgada semiconductor tratada, por medio de la cual se forman polos positivo y negativo para generar un campo eléctrico, además se agregan materiales conductores en cada polo del campo para formar un circuito eléctrico; al llegar la luz solar los electrones se excitan, los átomos del material semiconductor son capturados en el circuito, produciendo así la corriente eléctrica. La figura 3.2 muestra estructura de la celda:

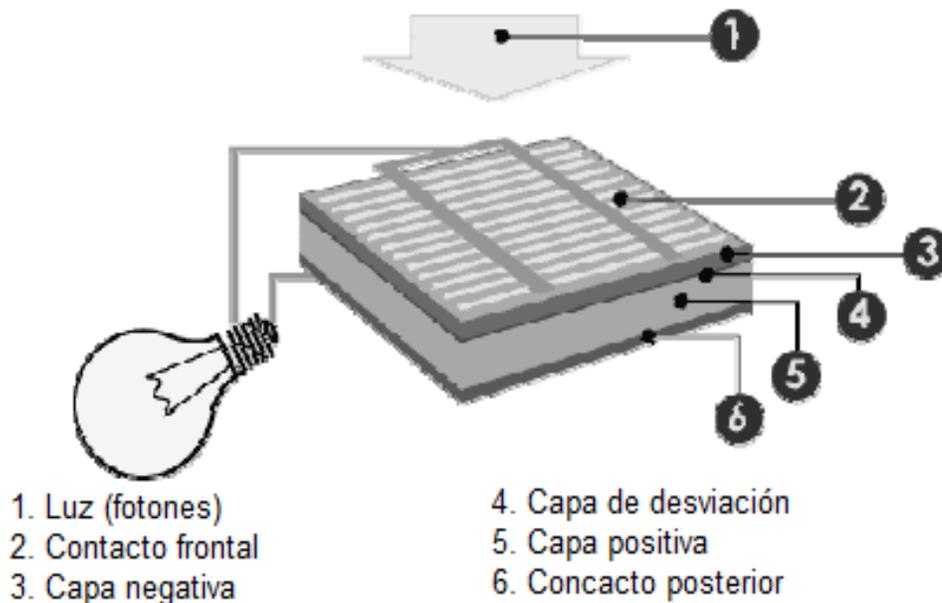


Figura 3.2: Celda Solar

Las celdas solares se deben conectar entre sí para formar los módulos. El voltaje obtenido depende de la cantidad de celdas que compongan el módulo y la cantidad de luz recibida por éste. A su vez pueden conectarse varios módulos para formar un “arreglo” y, del mismo modo, a mayor área del arreglo más electricidad se produce. Los arreglos producen corriente directa y pueden ser conectados en serie o en paralelo, según se requiera, para obtener los voltajes o corrientes deseados.

Los módulos tienen como características principales (CONAE, 2009a):

- Potencia de pico (Wp): Es la potencia suministrada por el módulo en condiciones estándar (radiación solar de $1000\text{W}/\text{m}^2$ y temperatura ambiental de 25°C).
- Corriente nominal (A): Corriente nominal suministrada por el módulo en el punto de trabajo.
- Tensión nominal (V): tensión de trabajo del módulo.

Los módulos suelen tener una potencia de entre 50 y 150 Wp según el tipo y eficiencia de las celdas que los conforman.

Para lograr absorber la mayor cantidad de energía posible se han explorado materiales que permitan una mayor eficiencia, entendiéndose por ésta la cantidad de luz que es transformada en energía eléctrica; en promedio se alcanza una eficiencia de alrededor de 35% con sistemas en los que se superponen varias celdas; sin embargo actualmente hay sistemas de mayor eficiencia y se ha experimentado con materiales como arseniuro de galio, diseleniuro de indio con cobre y telurio de cadmio para mejorarla.

El material más utilizado en las celdas sigue siendo el silicio, que se encuentra en 3 formas, dependiendo de su estructura:

- Silicio monocristalino: con una eficiencia de 15% a 17%
- Silicio policristalino: con una eficiencia de 12% a 14%
- Silicio amorfo: con una eficiencia menor al 10%

Para utilizar sistemas fotovoltaicos es necesario considerar su orientación y características principales:

a) Orientación de los arreglos fotovoltaicos. La luz solar viaja en línea recta desde el Sol a la Tierra; una parte de ésta se dispersa (radiación difusa), otra se absorbe y otra cae en la superficie en línea recta (radiación directa) (Martínez, 2006).

Los paneles solares generan electricidad aún sin radiación directa; es decir, aunque el día esté nublado seguirán transformando la luz en energía. Sin embargo, para su funcionamiento óptimo debe aprovecharse la mayor

cantidad de radiación directa posible, para lo cual se toma en cuenta la orientación hacia el Sol. En el hemisferio norte, el panel debe orientarse hacia el sur, mientras que en el hemisferio sur debe orientarse hacia el norte.

La inclinación ideal del panel es en ángulo perpendicular a los rayos del Sol a medio día, y es parecido al ángulo de latitud de la región en la que se va a instalar (CONAE, 2009a).

b) Características principales de los sistemas fotovoltaicos. Se define como *sistema fotovoltaico el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica* (CONAE, 2009a).

Un sistema de generación de energía eléctrica consta de los siguientes componentes adicionales al panel: cables, estructura de soporte, convertidores CD-CA, un controlador de carga y baterías.

Las baterías no son necesarias para el funcionamiento del sistema, sin embargo son elementos importantes; almacenan energía para la noche o para períodos de escasez solar, de modo que se cuente con energía aún cuando el panel no está generándola. Sus desventajas son sus tiempos de vida cortos (de aproximadamente 5 años) y costos elevados.

Los sistemas fotovoltaicos se clasifican en tres (Martínez, 2006):

- Sistemas solares autónomos o fotovoltaicos domiciliarios: En éstos el panel solar genera electricidad directamente para la casa o edificio en el que se encuentra instalado.
- Sistemas solares conectados a la red pública: En éstos la generación de electricidad del panel es entregada por completo a la red pública; cuando este tipo de sistema se utiliza en un domicilio, el usuario entrega toda su energía durante el día a la red y ésta se la devuelve en la noche.
- Sistemas solares de emergencia: son utilizados cuando no hay, temporalmente, una red de distribución pública.

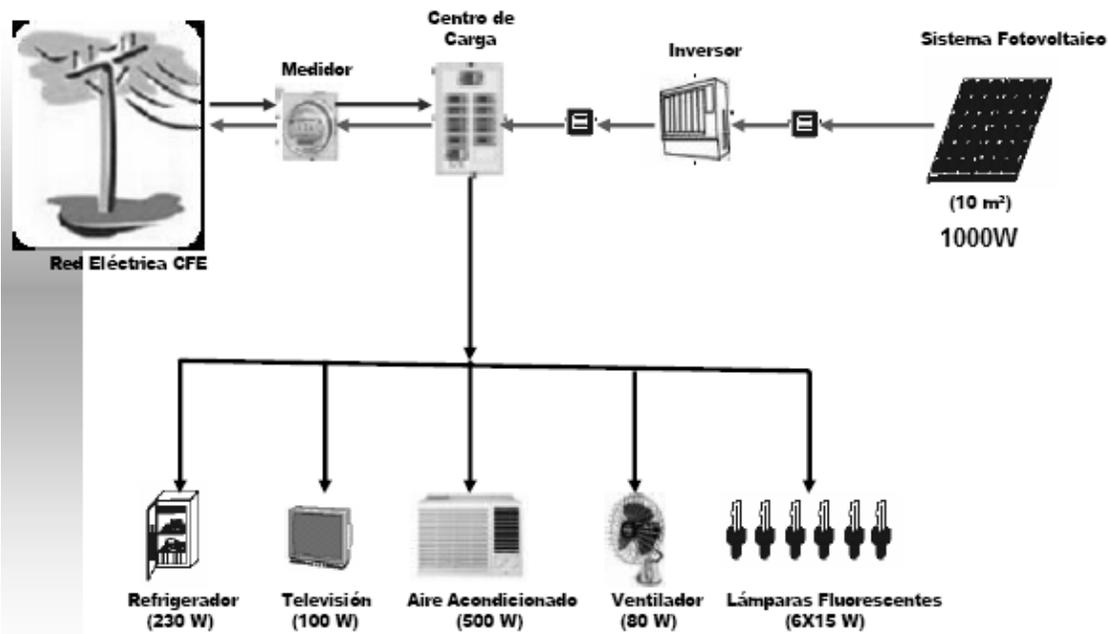
En este documento se propone para los asentamientos irregulares, un sistema de generación de energía solar conectado a la red pública para los asentamientos irregulares; tal es el caso del Vecindario Fotovoltaico Valle de las Misiones, ubicado en Mexicali, Baja California Norte; donde el gobierno diseñó un conjunto de casas cuyos techos tienen paneles fotovoltaicos con capacidad de 1000 W, conectados directamente a la red de distribución eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad CFE (IIE, 2009).

El arreglo anterior confiere a la red de distribución toda la energía generada por los paneles solares a lo largo del día; cuando el habitante de la vivienda

necesita electricidad, CFE la brinda equilibrando a final de mes lo que se otorgó a la red y lo que se empleó, por medio de un medidor bidireccional.

El panel solar de 1000 W suele ser suficiente para cubrir la necesidad energética; sin embargo, en caso no cubrir la demanda, se complementa con la red eléctrica pagando la diferencia; en algunos casos CFE queda debiendo electricidad a los usuarios, que se descuenta del recibo próximo.

Para los cálculos realizados en el capítulo siguiente para asentamientos irregulares se supone que un panel de 1000 W es suficiente para cubrir la necesidad energética: un refrigerador (400 W), 10 focos ahorradores (30 W c/u), una televisión (100 W) y algún aparato adicional; no se obtuvieron datos del consumo energético real del asentamiento. La figura 3.3 muestra la conexión que debería tener el sistema y un ejemplo de la utilización de los 1000 W; en ese caso se emplean un ventilador y aire acondicionado dadas las necesidades climáticas de Mexicali; para un asentamiento irregular podrán ser sustituidos por otros aparatos eléctricos según las necesidades de la vivienda como un horno de microondas o una lavadora.



Fuente: IIE, 2009

Figura 3.3: Sistema de generación de energía eléctrica de 1000 W

El sistema consta de un panel solar conectado a un inversor porque se genera corriente eléctrica directa y para su utilización debe transformarse a corriente eléctrica alterna. Posteriormente está unido al centro de carga, donde se encuentran los interruptores que controlan el uso de la energía en la

vivienda, que va a su vez conectado al medidor bidireccional para registrar la entrada y salida de energía eléctrica hacia y desde la red de distribución.

La ventaja de utilizar este arreglo reside en que no se necesita una batería; al conceder la energía generada a la red de distribución no será necesario almacenarla. Si los 1000 W del panel cubren la necesidad eléctrica de la vivienda no se deberá cubrir ninguna cuota de electricidad mensual, en caso contrario se compensará el consumo con energía de la red y se pagará una cuota correspondiente a la tarifa de CFE.

3.1.2 Afectación ambiental

La energía solar fotovoltaica está considerada una de las energías renovables menos dañinas para el ambiente. Al generarse por medio de la transformación de la luz solar no requiere combustibles y no se producen emisiones contaminantes, vibraciones ni ruido; cabe señalar que sí se forman residuos peligrosos al utilizar baterías y los materiales con los que se fabrican los paneles.

El impacto visual de la energía solar fotovoltaica no suele ser grande, pero depende de la magnitud de los paneles solares y su ubicación; en las viviendas se puede incluir el panel solar como un decorativo arquitectónico y generar la energía directamente en el lugar de consumo, lo que disminuye las pérdidas que se tendrían al transportarla.

En la tabla 3.2 se observa un listado de contaminantes atmosféricos y riesgos ambientales, ocasionados por distintas fuentes de generación energética; en ésta puede apreciarse un análisis de los efectos de cada uno mediante el uso de una escala de 1 a 5, según el grado de afectación ambiental que recomienda *Ecologistas en acción* (2009).

	Carbón	Petróleo	Gas natural	Nuclear	ESFV	ESFT
SO₂, NO_x	5	4	2	2	1	1
CO₂	5	5	5	2	1	1
CH₄	3	2	4	1	1	1
Partículas	3	3	1	1	2	1
Metales pesados	3	2	1	1	2	1
Almacenamiento de residuos	3	2	1	4	2	2
Catástrofes	2	3	3	5	1	1
Intrusión visual	3	4	4	3	2	2
Ruido	2	1	1	1	1	1
Terreno ocupado	4	2	2	2	2	2
Seguridad y salud	3	3	2	3	1	1
TOTAL	36	31	26	25	16	14

ESFV: Energía solar fotovoltaica y ESFT: Energía solar fototérmica

Fuente: Ecologistas en acción, 2009

Tabla 3.2: Análisis de la afectación ambiental por la generación de electricidad

Como puede observarse en la tabla, las energías solares fotovoltaica y fototérmica (ESFV y ESFT) ocasionan una afectación ambiental menor que las demás; cabe señalar que, si bien el daño ambiental es muy reducido éste no se considera nulo porque existen diversos aspectos que se deben considerar (CECU, 2009):

a) Contaminación producida por el proceso de fabricación de los componentes. Al elaborar paneles fotovoltaicos se llevan a cabo diversos procesos, dependiendo de la tecnología utilizada en su fabricación se emiten distintos contaminantes. Los sistemas fotovoltaicos más usados son los de silicio, éste es muy abundante pero debe ser purificado, para lo que se requieren agentes agresivos como el ácido sulfúrico, que deberán disponerse adecuadamente para evitar daños al ambiente o a la gente.

Además del material activo (silicio en este caso), el panel se conforma de diversos materiales; se utiliza aluminio en los marcos, vidrio para encapsular y acero para las estructuras. Cabe mencionar que la producción, extracción y transporte de los componentes que se necesitan para fabricar el panel solar forman un proceso contaminante pues se generan emisiones de gases de efecto invernadero por combustión, se generan residuos peligrosos y se requiere energía convencional.

Actualmente se obtiene silicio reciclado de los desechos de la industria electrónica y de paneles solares más viejos, el reciclaje de estos últimos evita que desprendan gases tóxicos y formen residuos peligrosos.

b) La utilización del suelo. El terreno necesario para producir energía fotovoltaica depende de la instalación:

- Las instalaciones descentralizadas requieren un terreno mínimo; los paneles se instalan en tejados, fachadas y terrazas de los edificios ya existentes, o en áreas de suelo no utilizado.
- Los sistemas centralizados, que generan electricidad a gran escala, requieren grandes extensiones de terreno, dependen de la eficiencia de conversión de los módulos y las características de insolación del lugar.

La tabla 3.3 muestra una comparación de las distintas tecnologías de generación de electricidad y el espacio que requeriría su instalación para producir cada GWh de energía durante 30 años.

Tecnología	Espacio [m ² /GWh] (30 años)
Carbón	3642
Fototérmica	3561
Fotovoltaica	3237
Eólica	1225
Geotérmica	404

Fuente: Ecologistas en acción, 2009

Tabla 3.3: Requerimiento de suelo por GW de energía generado en 30 años

Se requieren espacios muy amplios de insolación directa para captar la energía solar y los suelos de estos lugares no están exentos de sufrir algún impacto.

c) El impacto visual. A pesar de que la energía solar se ha vuelto más común en los últimos años, la población aún no está acostumbrada a esta tecnología y la rechaza por cuestiones estéticas (Armstrong, 2009).

El impacto visual de estos sistemas depende de su tamaño; como se mencionó anteriormente, este problema es menor cuando las instalaciones son descentralizadas, sin embargo los sistemas fotovoltaicos de mayor tamaño impactan inevitablemente en el paisaje.

Es necesario considerar que los paneles solares tienen superficies reflectantes, por lo que es preciso que su orientación no obstaculice puntos de observación, esta interferencia puede minimizarse también al respetar las distancias y emplear árboles que desvíen la luz, siempre y cuando no hagan sombra al panel.

d) El impacto sobre la flora y la fauna. Cuando se utiliza un sistema fotovoltaico descentralizado el impacto sobre la flora y la fauna prácticamente no existe, no daña suelos ni genera ruido o contaminación. Los sistemas centralizados sí pueden ocasionar una alteración del ecosistema; como requieren un territorio amplio y sin sombras es necesario remover la vegetación cercana, lo que podría desencadenar la desaparición de alguna especie o cambios en el clima.

No hay una fuente de generación de energía que esté exenta de afectar al ambiente; se deben comparar los efectos negativos que trae consigo cada una para seleccionar la menos dañina, y hacer un estudio específico para el lugar en el que se quiera instalar la planta, para determinar así cuál es la más indicada según las características y requerimientos.

Para los asentamientos irregulares se recomienda el empleo de sistemas fotovoltaicos descentralizados; la flora, la fauna y el terreno no sufrirían alteraciones y los habitantes de la zona se beneficiarían.

3.1.3 Diseño y costos

Los cálculos para diseñar un sistema solar fotovoltaico aquí mencionados, están basados en el texto escrito por Francisco Gimeno (2002).

a) Ubicación geográfica de la instalación. La orientación del panel solar depende de dónde se instalará. Una vez conocida la orientación se debe tener el dato de la radiación media anual en la zona.

Algunos medidores antiguos reportan la medición de la insolación en una unidad llamada “Langley”, que son calorías por centímetro cuadrado. La equivalencia para 1kwh/m² es 86.2069 cal/cm². Considerando el dato antes mencionado para la radiación solar en la ciudad de México, que es 5.3 kWh/m², la equivalencia en Langleys será la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Energía solar Langleys} &= \text{radiación solar} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] * \frac{86.2069 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right]}{1 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]} && \text{(ec. 3.1)} \\ &= 5.3 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] * \frac{86.2069 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right]}{1 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]} = 456.89657 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right] \end{aligned}$$

Cuando el rendimiento de un panel solar es aproximadamente 20%, se puede considerar:

$$\begin{aligned} \text{Energía solar total} &= \text{Energía solar Langleys} * \text{rendimiento} && \text{(ec. 3.2)} \\ &= 456.89657 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right] * 0.2 = 91.3793 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right] \end{aligned}$$

Posteriormente debe definirse el ángulo de inclinación de los paneles para aprovechar al máximo la radiación; este se determina según la latitud de la posición geográfica de la instalación, la latitud de la Ciudad de México es de 19°24". Por estar ubicados en el hemisferio norte el panel deberá ir orientado hacia el sur.

b) Demanda diaria de energía. Para determinar la demanda diaria debe hacerse un estudio de la media de consumo anual de energía de los receptores, y los valores máximos y mínimos requeridos para generar la energía eléctrica deseada; para ello es necesario calcular los subsistemas que componen una central solar fotovoltaica, que son:

1. Cálculo del número de módulos fotovoltaicos. Dependiendo de la capacidad del sistema fotovoltaico que se requiera debe calcularse el número de módulos necesarios, para determinarlo se requiere conocer la capacidad de generación por cada panel que se instalará. La ecuación que deberá utilizarse será:

$$Num. de paneles en paralelo = \frac{Consumo (diario)}{Generación(1 panel)} \quad (ec. 3.3)$$

2. Cálculo de la capacidad de las baterías. Si el sistema fotovoltaico va conectado con un medidor bidireccional a la red de distribución este cálculo no será necesario; en caso de no estar conectados es preciso calcular la capacidad de las baterías que se requieren. La ecuación que debe utilizarse es:

$$Capacidad de batería = \frac{consumo * días autonomía}{Profundidad de descarga} \quad (ec. 3.4)$$

Siendo *consumo* la capacidad en cantidad de amperes por hora al día que tienen las baterías a utilizar, *días autonomía* el tiempo que debe operar el sistema sin radiación solar y *profundidad de descarga* es la descarga final que se entrega en porcentaje.

3. Cálculo de la sección del conductor. Como se trabaja con tensiones continuas de bajo valor (12 o 24 volts) las intensidades son muy elevadas; no dimensionar correctamente los semiconductores electrónicos y el cableado eléctrico puede ocasionar pérdidas importantes. La sección del conductor se determina por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 * L * I}{\left(\frac{1}{\rho}\right)^3 \Delta V_{AB}} \quad (ec. 3.5)$$

donde:

S: Sección, en mm²

L: longitud del cable, en m

I: Intensidad de corriente que circula por los cables en [A]

ΔV_{AB} : Caída de tensión en el cableado en [V]

ρ : Resistividad, en $\Omega mm^2/m$

factor 2: Se multiplica por éste para considerar la ida y vuelta del cableado

4. Costo de los paneles solares. Este costo es variable y debe determinarse al momento de instalar el sistema, pues los precios de los paneles cambian dependiendo de la empresa, la ciudad y la tecnología. Debe realizarse una cotización para encontrar la opción óptima.

5. Costo total. Al costo de los paneles solares debe sumársele el importe del cableado y el del convertidor de corriente, resultando entonces la siguiente ecuación:

$$Costo total = paneles + cableado + convertidor \quad (ec. 3.6)$$

Este costo total puede diferirse en pagos anuales utilizando la siguiente ecuación, útil en caso de conseguir un financiamiento:

$$\text{Costo anual} = \frac{\text{Costo total}}{\text{tiempo de vida útil}} \quad (\text{ec. 3.7})$$

c) Obtención del punto de equilibrio. Para conocer el beneficio económico generado al utilizar paneles solares es conveniente obtener el punto de equilibrio, por medio del cual se puede determinar el tiempo en el que se recupera la inversión económica inicial. Para la obtención de este cálculo se considera un consumo energético promedio per cápita de 270 kWh por bimestre (Arroyo, 2005); considerando un promedio de 5 habitantes por vivienda (PRIA, 2009) se tiene un consumo promedio de 675 kWh mensuales.

Panel fotovoltaico:

$$Y = \text{Costo del panel solar} \quad (\text{ec. 3.8})$$

Para el consumo energético convencional:

$$Y = (675\text{kWh})(\text{tarifa CFE} \frac{\$}{\text{kWh}})X \quad (\text{ec. 3.9})$$

Igualando las ecuaciones 3.8 y 3.9 se tiene:

$$\text{Costo del panel solar} = (675\text{kWh})(\text{tarifa CFE} \frac{\$}{\text{kWh}})X \quad (\text{ec. 3.10})$$

Despejando la ecuación 3.10:

$$X = \frac{\text{Costo del panel solar}}{(675\text{kWh})(\text{tarifa CFE} \frac{\$}{\text{kWh}})}$$

siendo:

X = meses en que se recupera la inversión

El costo de estos sistemas suele ser elevado; su adquisición podría facilitarse mediante financiamientos con bajo interés. Para los asentamientos irregulares se podría solicitar ayuda a la Delegación, pues el gobierno de la Ciudad de México se encuentra impulsando proyectos y campañas de mejora ambiental y podría dedicar a esta causa cierta cantidad del presupuesto destinado a éstos.

En el siguiente subtema se mencionan algunas propuestas de sistemas solares más económicos para generación de energía térmica, aprovechables también en estos asentamientos.

3.2 Energía fototérmica

Muchas actividades de la vida diaria, como cocinar y bañarse, requieren de una fuente de calor que suele provenir de la quema de combustibles fósiles, los cuales son agotables y generan emisiones contaminantes; para evitar su uso puede aprovecharse la energía solar: una fuente natural, limpia, renovable y gratuita. La energía solar térmica o energía fototérmica es aquella que se obtiene al transformar la radiación solar en calor transmitido a un fluido de trabajo (CONAE, 2009b).

En los asentamientos irregulares se genera calor con gas LP y leña; se podrían sustituir aprovechando el calor del sol para cocinar, secar granos (cuando existan actividades de agricultura), hervir agua para beber y calentar agua para bañarse.

Según la encuesta aplicada en Ocotla, actualmente el combustible más utilizado es el gas LP; este gas presenta algunos inconvenientes, se encuentra almacenado en cilindros que pueden estar en mal estado y al no contar con una buena instalación pueden presentar fugas, lo cual es una amenaza para la salud de los habitantes del asentamiento por la toxicidad del gas y es un riesgo de explosión. Por otro lado cuando se termina el gas almacenado en el cilindro, se debe esperar a la compañía suministradora para rellenarlo; debido a la localización de los asentamientos irregulares es posible que pasen días antes de que acudan al lugar, por lo que el usuario no goza de energía térmica en estos periodos, según mencionaron los habitantes de Ocotla (PRIA, 2009).

A diferencia del combustible mencionado, la energía solar fototérmica es inagotable y no depende de ninguna compañía suministradora. Existen diversos sistemas de captación para colectarla según las actividades en las que será aprovechada que en este capítulo se describen.

3.2.1 Clasificación

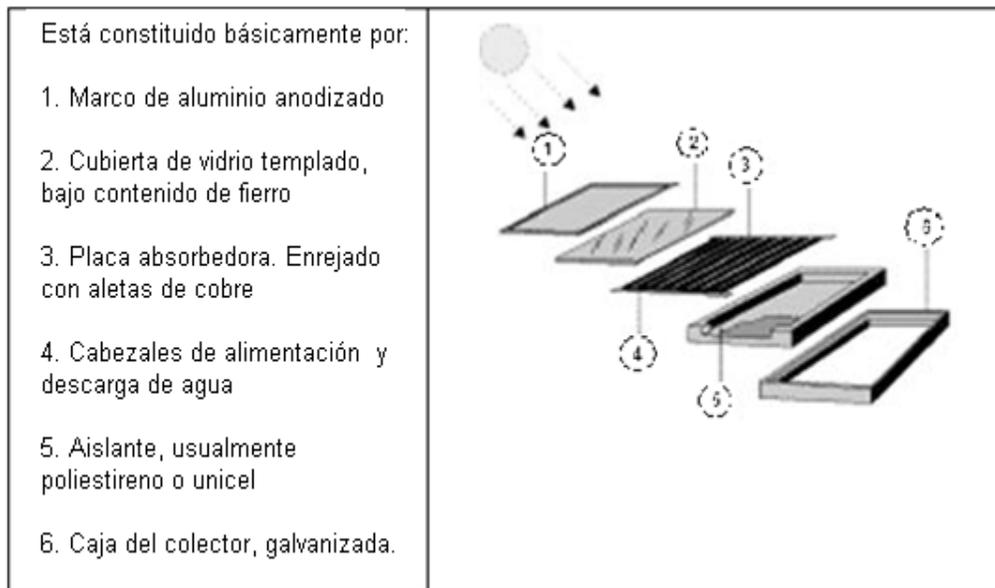
Los sistemas que se utilizan para obtener la energía fototérmica se llaman “colectores solares” y se clasifican según su almacenamiento en:

- Almacenamiento en medio único: La energía térmica es almacenada directamente en el mismo fluido que circula por el sistema; presentan una eficacia de 90%.
- Almacenamiento en medio dual: El calor se almacena en un medio distinto al fluido de trabajo que se calienta en los colectores. Éstos tienen una eficiencia del 70%.

Asimismo, los colectores solares se clasifican en tres categorías según la temperatura de trabajo: de baja, media y alta temperatura. A los colectores de

media y alta temperatura se les conoce como “concentradores solares”; se diferencian de los otros en que la radiación colectada se refleja a una superficie de menor área, la cual concentra la energía alcanzando temperaturas mayores (CONAE, 2009b).

a) Colectores de baja temperatura: Se les conoce como “colector solar plano”; mediante absorbedores elevan la temperatura del fluido de trabajo entre 40°C y 80°C; se utilizan principalmente en calentadores de agua para baño y albercas. En la figura 3.4 se muestran sus componentes:

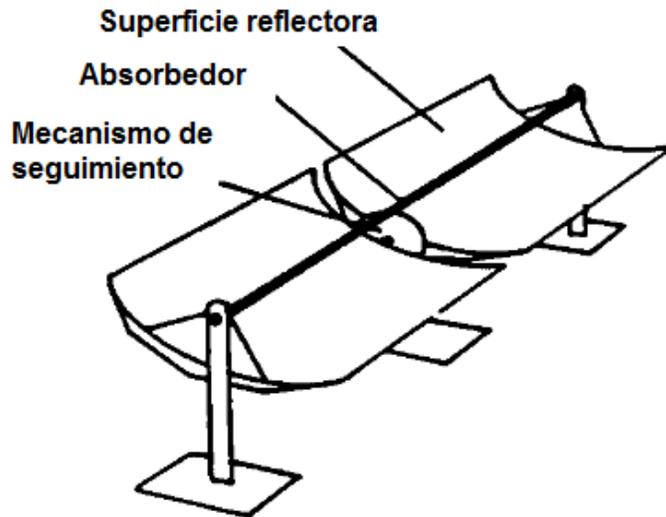


Fuente: CONAE, 2009b

Figura 3.4: Colector solar plano.

b) Colectores de temperatura media: Concentran la radiación solar para elevar la temperatura del fluido de trabajo entre 100°C y 300°C. Se les conoce como “concentrador de canal parabólico”, su funcionamiento se basa en dirigir la radiación mediante espejos hacia un receptor de menor tamaño. Se utilizan únicamente en zonas de alta radiación solar y se requieren amplios terrenos para elevar el fluido a una temperatura suficiente, por lo que no se emplean con mucha frecuencia.

Utilizan reflectores parabólicos, a lo largo del foco de la parábola se alberga un tubo hacia el que se enfoca la radiación, por el que se conduce el fluido de trabajo, que suele ser aceite térmico o vapor de agua. La figura 3.5 muestra un ejemplo.

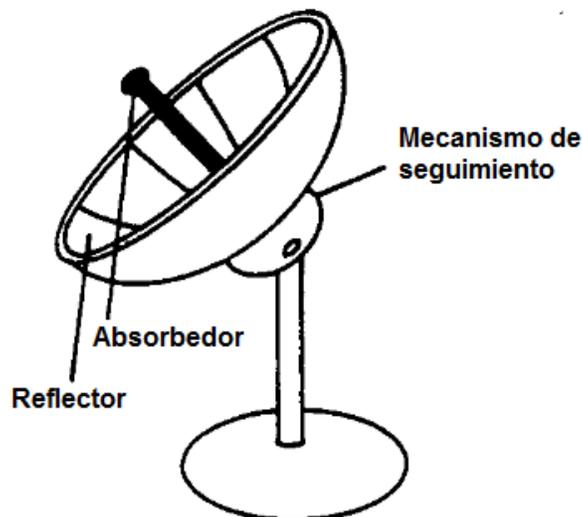


Fuente: Kaplan, 2009

Figura 3.5: Concentrador solar de canal parabólico.

c) Colectores de alta temperatura: Con este tipo de colectores se pueden alcanzar temperaturas mayores de 500°C. Dentro de éstos se encuentran los “concentradores de plato parabólico” y los “sistemas de torre central”. El calor generado suele utilizarse para generación de electricidad.

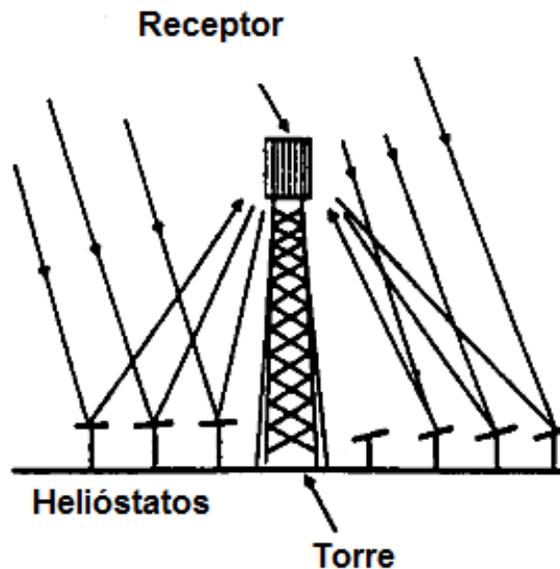
Los platos o discos parabólicos son superficies paraboidales compuestas de una serie de espejos que concentran la radiación solar hacia un receptor, éste forma parte de un ciclo termodinámico productor de electricidad (SENER, 2005). En la figura 3.6 se pueden observar sus componentes principales:



Fuente: Kaplan, 2009

Figura 3.6: Concentrador solar de plato o disco parabólico

Los sistemas de torre central son plantas que utilizan espejos planos llamados helióstatos, con los que se refleja la radiación solar hacia un receptor que se encuentra sobre una torre para concentrarla, que hace las veces de caldera, como se puede apreciar en la figura 3.7. Por medio de un fluido, el calor es colectado y enviado a la base de la torre para su utilización en generación de electricidad (SENER, 2005).



Fuente: Kaplan, 2009

Figura 3.7: Concentrador solar de torre central

La mayor temperatura que puede alcanzarse con la tecnología actual por medio de concentradores solares es de 3800K.

3.2.2 Aplicaciones de la energía solar en asentamientos irregulares

Muchos de los dispositivos creados para aprovechar la energía solar se componen de tecnologías relativamente simples, por lo que pueden ser utilizadas tanto en comunidades urbanas como rurales y para actividades complejas (como generar electricidad) o sencillas (como calentar agua).

Los asentamientos irregulares tienen un estilo de vida variable según su cercanía a la ciudad, pero ya sea vida urbana o rural puede considerarse a la energía solar como una fuente viable. Almanza y Muñoz (1994) proponen las siguientes alternativas de utilización de esta energía:

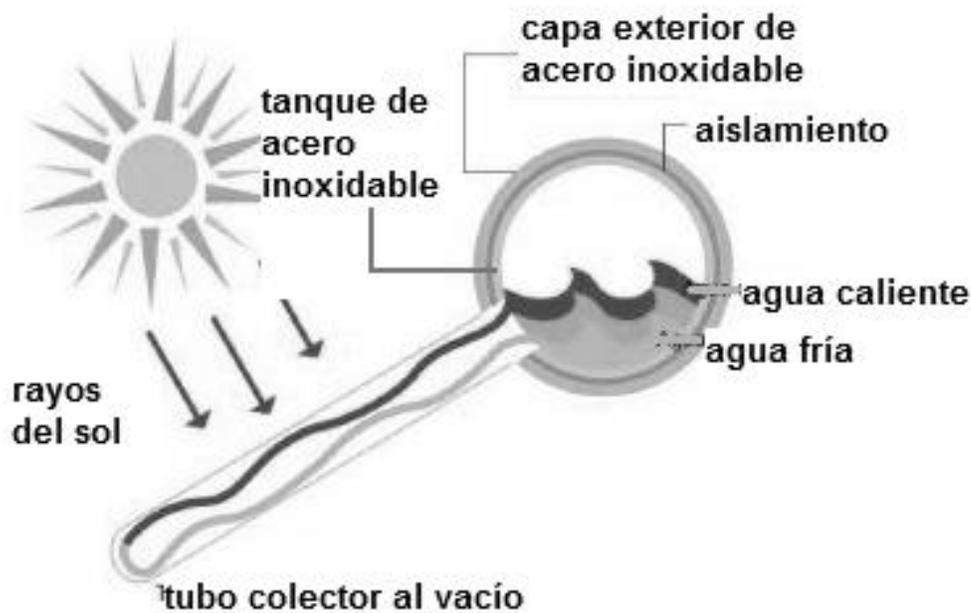
- Calentar agua para su uso en baños, digestores de metano o cocinas.
- Calentar aire que se puede utilizar en secar granos, madera, pescado.
- Cocinas solares para cocer alimentos.

- Irrigación y bombeo de agua de pozos (bombas solares).
- Desalación de agua salobre (con mucha cantidad de sal) existente en el subsuelo.

a) Calentar agua para su uso en baños, digestores de metano o cocinas:

Los calentadores de agua son colectores solares planos que, por medio de materiales negros absorbentes, podrían calentar suficiente agua para su uso en baños, en la cocina o en digestores.

Los captadores poseen un tanque para almacenar el agua caliente conectado a una tubería, cubiertos con un material aislante térmico y una capa impermeable para evitar pérdidas de calor. El agua alcanza temperaturas entre 40°C y 80°C dependiendo de la época del año y las condiciones ambientales de la región; comercialmente tienen una capacidad de 150 a 200 litros. Un esquema del funcionamiento de los calentadores de agua se muestra en la figura 3.8:



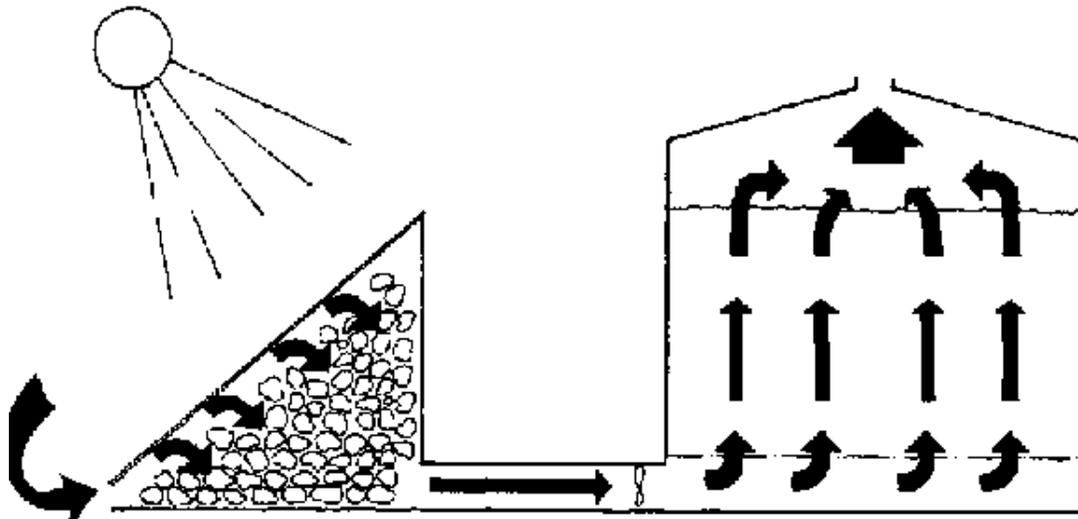
Fuente: Proenergy, 2009

Figura 3.8: Calentador solar de agua

b) Calentar aire que se puede utilizar en secar granos, madera, pescado:

Hay varios tipos de calentadores solares que eliminan la humedad de alimentos o materiales; su funcionamiento general es el explicado en la figura 3.9: se calienta un colector solar formado por un grupo de piedras amontonadas en una caja de paredes negras que absorben la energía del sol, el aire penetra por la parte inferior atravesando las piedras previamente calentadas por el sol y se calienta a su paso, ingresa al silo del grano por la

parte inferior auxiliado por un ventilador y sale por la abertura superior (FAO, 2009).



Fuente: FAO, 2009

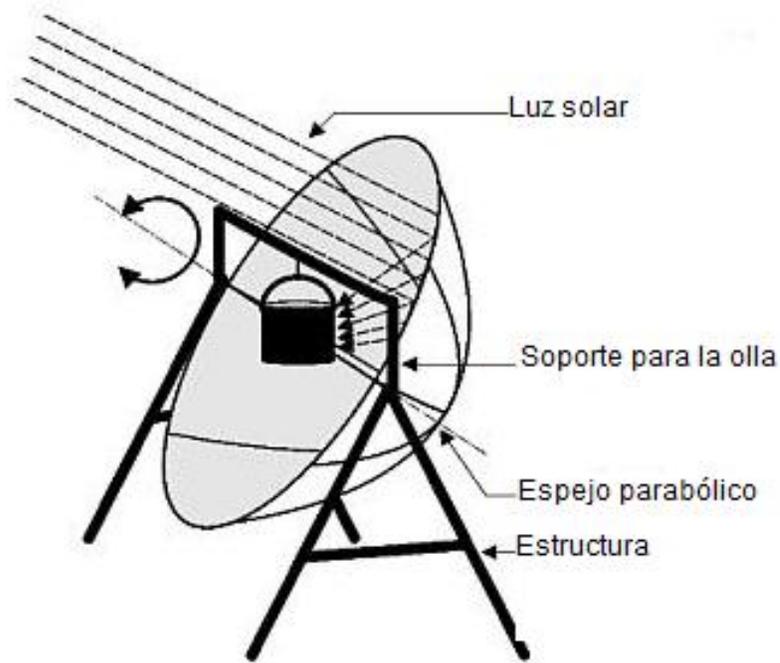
Figura 3.9: Secador de granos

c) Cocinas solares para cocer alimentos: Las cocinas solares son dispositivos que captan energía solar transformándola en calor aprovechable para cocinar en la intemperie. Constan de un espejo cóncavo que concentra la radiación en una pequeña área, sólo concentran la radiación directa, por lo que únicamente pueden utilizarse con cielo despejado y deben orientarse a la posición del sol. El espejo puede ser de diferentes materiales como lámina de aluminio troquelado, lámina de acero inoxidable o lámina negra quemada y deben limpiarse frecuentemente para eliminar el polvo y mantener su reflectancia.

También hay cocinas solares diseñadas para usarse dentro de una habitación, pero se limitan a la cocción mediante el uso del agua caliente obtenida de calentadores solares como los previamente mencionados.

Los dos principales tipos de cocinas solares son:

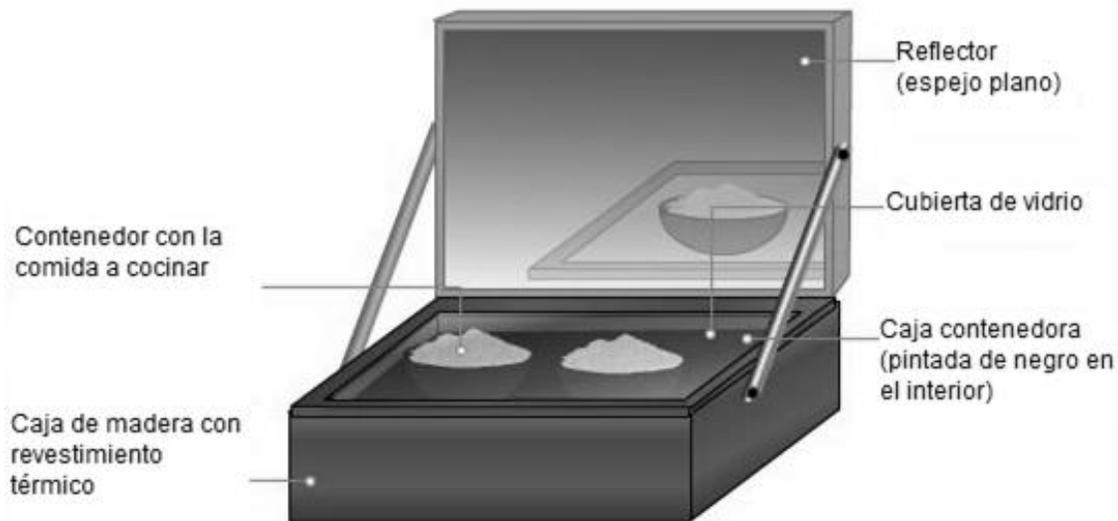
- **De concentración:** concentran la radiación solar en un punto a través de un reflector parabólico, en éste se coloca la olla que cocinará los alimentos. Generan altas temperaturas y permiten freír alimentos o hervir agua. Un esquema de una cocina de concentración solar se muestra en la figura 3.10.



Fuente: Ciencia al día, 2009

Figura 3.10: Cocina solar de concentración

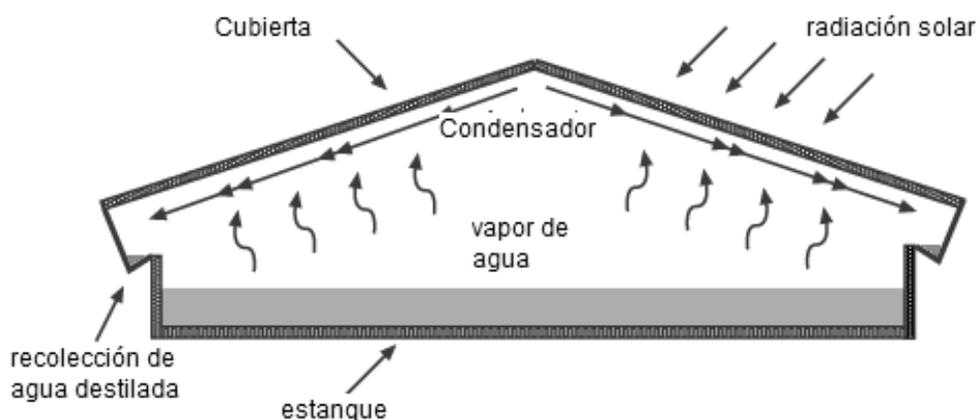
- **De Horno o caja:** Es una caja térmicamente aislada, diseñada para capturar la energía solar y mantener caliente su interior, los alimentos no se queman ni se cuecen en exceso. Este tipo de cocina solar es de fácil construcción a nivel doméstico y cada día es más popular en México y en el mundo. La figura 3.11 muestra un esquema de éstas:



Fuente: <http://image.tutorvista.com/content/sources-energy/construction-of-solar-cooker.jpeg>

Figura 3.11: Cocina solar de caja

d) Desalación de agua salobre: Se puede realizar a distintas escalas y es muy útil para las regiones en las que se encuentra mucha agua salobre o contaminada en el subsuelo para removerle las sales y adecuarla para el consumo humano. Este proceso consiste en concentrar la radiación solar y aprovechar su energía térmica para elevar la temperatura del agua, provocando su evaporación para recuperarla con un condensador, habiéndose separado de las sales, metales pesados y otros contaminantes físicos, que además podrán aprovecharse más adelante pues quedan asentadas en el fondo del recipiente (Agri-Nova, 2009). Un ejemplo de la configuración de un desalador solar se muestra en la figura 3.12:



Fuente: <http://news.soliclima.com/?seccio=noticiesprof&accio=veure&id=131>
Figura 3.12: Sistema de desalación solar de agua salobre.

3.2.3 Afectación ambiental

La energía solar térmica causa un impacto bajo sobre el ambiente, similar aunque aún menor al ocasionado por la energía solar fotovoltaica (ver subtema 3.1.2), pues los materiales con los que están fabricados los colectores y concentradores solares son menos agresivos para el medio porque no contienen silicio que genere residuos peligrosos.

De igual forma que los procesos de fabricación de los paneles solares, los de los colectores requieren energía y transporte que generan emisiones y residuos contaminantes. Asimismo su utilización a gran escala genera problemas en los ecosistemas, ya que puede ocasionar alteraciones en la vegetación y fauna de la zona y producir contaminación visual al modificar el paisaje.

En su utilización a pequeña escala se considera que no genera una afectación negativa, porque generalmente se utiliza para suplir alguna otra tecnología que ocasiona un daño igual o mayor al ambiente, como la

combustión de gas. La tabla 3.2 muestra un comparativo entre la energía solar y otras tecnologías, en ésta se señala que los mayores problemas de daño ambiental de la energía fototérmica son el terreno ocupado, la intrusión visual y el almacenamiento de residuos; tiene una calificación muy baja dentro de la escala por lo que se puede concluir que su impacto sobre el ambiente es mínimo y es la opción menos dañina.

3.2.4 Diseño y costos

El diseño de los colectores solares varía según su aplicación y requerimientos. A continuación se presentan las alternativas de utilización recomendadas para los asentamientos irregulares.

Calentador solar de agua

Hay distintos modelos y tecnologías para los calentadores solares de agua, estas tecnologías marcan la diferencia en su eficiencia, tiempos de vida y precio.

Existen dos tipos de calentadores solares; los de gravedad utilizan esta fuerza junto con la transferencia de calor por convección para mover el agua y calentarla, y los de presión que cuentan además con una bomba que provoca un movimiento más rápido del agua dentro del calentador; éstos últimos son más eficientes y confiables pero más caros.

Según la Comisión Nacional para Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2009) la vida útil de los calentadores solares de agua varía entre 15 y 20 años. Para escogerlos se debe tomar en cuenta la cantidad de habitantes de la vivienda en donde quiera instalarse y la cantidad de agua promedio que utiliza la misma, pues esto indicará el tamaño ideal del equipo.

Para determinar las características del calentador solar que se requiere, podrá utilizarse la ecuación 3.11.

$$\text{Capacidad calentador} = (\text{Habitantes}) * (\text{litros/hab} - \text{día}) \quad (\text{ec.3.11})$$

Una vez habiendo determinado la capacidad del calentador se deben buscar las distintas alternativas que existen en el mercado para determinar su costo. Para ello, debe hacerse una cotización, comparar opciones y seleccionar la más adecuada, como se presenta en el capítulo 4.

Del mismo modo que en la cotización para los paneles solares, el costo del sistema puede ser elevado, por lo que sería recomendable que el pago no se hiciera en una exhibición sino en mensualidades o pagos anuales.

a) Costo anual. Una vez habiendo evaluado las opciones puede obtenerse el costo anual considerando la ecuación 3.12.

$$\text{Costo anual por el calentador} = \frac{\text{costo del calentador}}{\text{años de vida útil}} \quad (\text{ec. 3.12})$$

Los calentadores solares reducen el consumo de gas en un 75%; las familias marginadas pagan entre \$360 y \$450 mensuales de gas LP (Rosas, 2007); si se considera la reducción de este consumo por utilizar los calentadores solares, se lograría que únicamente costearan el 25%; es decir, se pagan actualmente \$405 en promedio, con el calentador abonaría únicamente una cantidad de \$101.25 al mes.

En total, el costo mensual por el calentador solar y el gas que se requerirá, sería de:

$$\text{Costo mensual total} = \text{costo mensual del calentador} + 101.25 \quad (\text{ec. 3.13})$$

b) Obtención del punto de equilibrio. Una vez habiendo determinado el costo del calentador solar y sabiendo el consumo normal de gas LP pueden modelarse dos ecuaciones que, al igualarlas, darán como resultado el número de meses en los que la inversión queda recuperada (Punto de equilibrio).

Siendo X el número de meses, Y el costo total y empleando los costos mencionados anteriormente, las ecuaciones que deberán modelarse son:

Para el calentador solar:

$$Y = \text{Costo del calentador} + 101.25X \quad (\text{ec. 3.14})$$

Para el consumo de gas LP normal:

$$Y = 405X \quad (\text{ec. 3.15})$$

Igualando las ecuaciones 3.14 y 3.15 se tiene:

$$\text{Costo del calentador} + 101.25X = 405X \quad (\text{ec. 3.16})$$

Despejando la ecuación 3.16:

$$\text{Costo del calentador} = (405 - 101.25)X$$

$$X = \frac{\text{Costo del calentador}}{303.75}$$

siendo:

X = meses en que se recupera la inversión

Cocina solar

Como se mencionó anteriormente, hay dos tipos de cocinas solares: caja y concentración; para el caso de los asentamientos irregulares las más adecuadas son las de caja, pues son más baratas y pueden ser construidas por los usuarios.

Los costos de las cocinas solares varían significativamente de una a otra dependiendo de los materiales que se utilicen, del mismo modo varía su tiempo de vida.

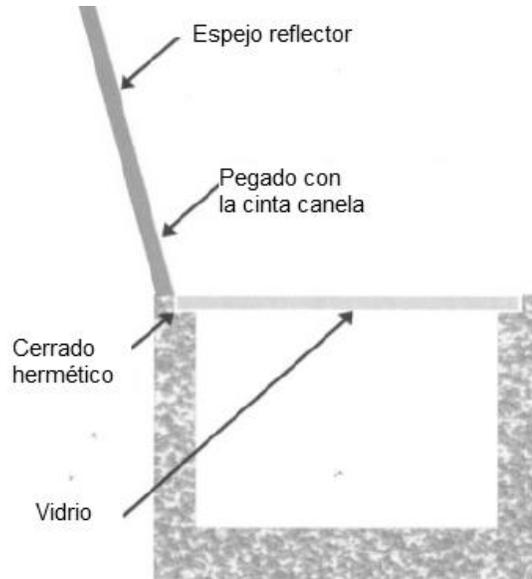
Para el caso de los asentamientos irregulares se recomienda seguir el procedimiento propuesto por el Gobierno del Estado de Aguascalientes, cuya página de Internet se menciona en la mesografía de este documento, que resulta en una cocina solar fabricada con insumos de fácil adquisición y bajo costo. Los materiales requeridos son:

- Caja de cartón de 50x50x50 cm
- Caja de cartón de 40x40x40 cm
- Vidrio de 40x40 cm de 3mm de espesor
- Espejo de 50x50 cm de 3mm de espesor
- 3 paquetes de papel aluminio
- Silicón
- Cinta canela
- 20 tiras de cartón de 50x5 cm
- Pintura
- Periódico o uncel como aislante

a) Procedimiento

1. Se forra con el material aislante la caja pequeña y se mete dentro de la grande. El forrado de la caja pequeña debe ser tan grueso como los espacios entre las dos cajas; de modo que no queden huecos entre ambas.
2. Utilizar las tiras de cartón para sellar el espacio entre ambas cajas, de modo que quede una sola caja de pared gruesa.
3. Forrar la parte interior de la caja con el aluminio; es importante sellar las orillas con silicón para evitar humedad y derramamiento de líquidos.
4. Pegar el vidrio en la superficie de la caja y el espejo en la tapa de la misma; se puede utilizar cinta canela.

- Utilizar cintas de cartón para hacer un marco al espejo y vidrio para evitar que se quiebren fácilmente y favorecer el sellado hermético. El siguiente esquema (figura 3.13) muestra más claramente la estructura de la cocina:



Fuente: Gobierno de Aguascalientes, 2009
 Figura 3.13 Horno Solar de Caja

El procedimiento es muy sencillo y los materiales son fáciles de adquirir. La FES Aragón de la UNAM estima un costo de \$150.00 por un horno o cocina solar de caja (Planeta Azul, 2009); este costo varía según el lugar de adquisición de los materiales y la calidad de éstos.

b) Obtención del punto de equilibrio

Como se mencionó anteriormente; sólo ¼ del gas LP es utilizado en la cocina, lo cual representa un costo \$101.25 mensuales. Considerando este costo puede determinarse el tiempo en el cual la inversión por la cocina solar es recuperada, por medio de las siguientes ecuaciones:

Costo por el consumo de gas LP:

$$Y = 101.25X \tag{ec. 3.17}$$

Costo de la cocina solar:

$$Y = \$150 \tag{ec. 3.18}$$

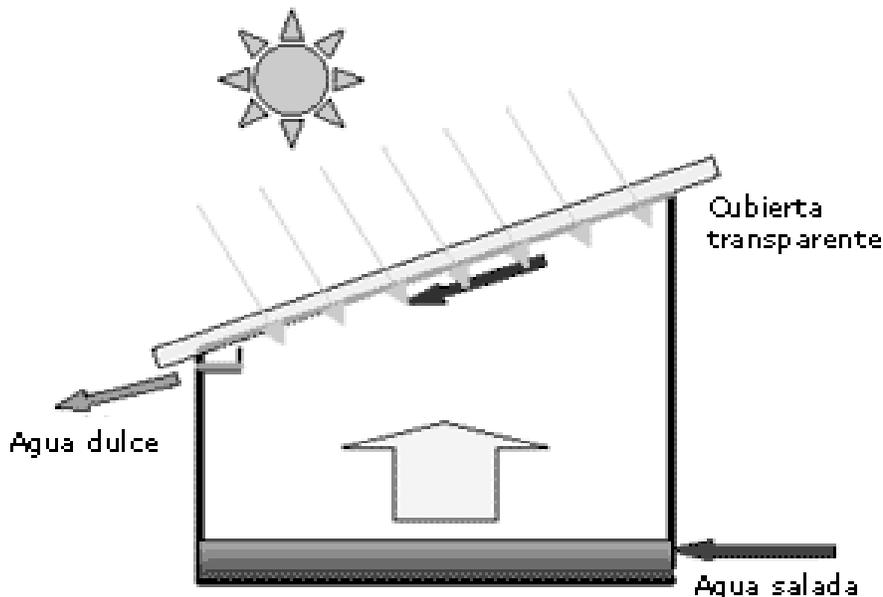
Igualando las ecuaciones 3.17 y 3.18 se tiene:

$$\$101.25X = \$150 \tag{ec. 3.19}$$

Desalación de agua

Existen sistemas muy avanzados y con la última tecnología para realizar desalación de agua, inclusive pueden utilizarse celdas fotovoltaicas con la misma finalidad; sin embargo, para hacerlo a pequeña escala, existen sistemas sencillos y económicos convenientes para los asentamientos irregulares

El proceso de desalación propuesto para este documento consiste en calentar una cámara de aire recibiendo los rayos solares a través de un cristal transparente; éste se encuentra en un recipiente en el fondo del cual se encuentra el agua salada, al absorber la energía solar el agua se evapora y se condensa en la cara interior del cristal por la acción del viento; por medio de un canal y de la inclinación del cristal, se colecta el agua condensada en otro recipiente y las sales quedan depositadas en el fondo del primer recipiente. La figura 3.14 muestra el arreglo:



Fuente: <http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.pdf>

Figura 3.14: Sistema de desalación de agua salobre

Los materiales que se requieren son:

- Un recipiente amplio de vidrio grueso donde pueda ponerse el agua salada.
- Una cubierta de cristal transparente inclinada hacia el sol con un canal por el que pueda deslizarse el agua
- Un segundo recipiente que permita la recolección del agua recuperada

Este sistema es muy sencillo y puede fabricarse por los usuarios; es de bajo costo aunque éste varía según los materiales que se utilicen.

Secador solar de granos

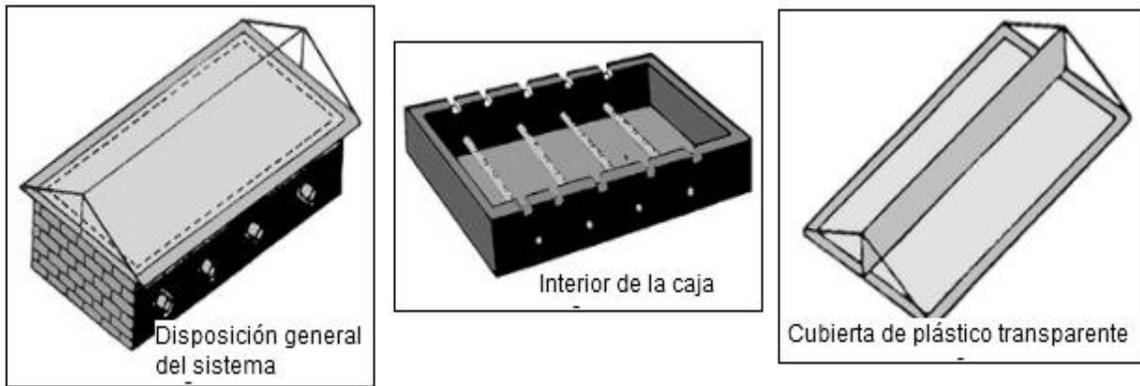
El Centro de Investigación en Energía (Bergues et al, 2009) estima el costo de los secadores solares de granos más baratos en 20 USD/m², el requerimiento del secador variará de un asentamiento a otro y de una vivienda a otra; esta tecnología sólo es aplicable a aquéllos que se dediquen a la agricultura.

En caso de requerirse este sistema, se deberá determinar la cantidad de granos que se secan al día y encontrar el tamaño óptimo del secador solar de granos que convenga, pues son prefabricados industrialmente.

Otra opción es la que propone el Instituto de Transferencias de Tecnologías Apropriadas para Sectores Marginales (ITACAB), que consiste en:

- a) Disponer de una caja negra con alta inercia térmica para evitar pérdidas de calor. Dentro de ella irán los granos
- b) La caja recibe los rayos solares directamente sobre los granos y a través de los espacios en su interior negro
- c) A través de la caja deberán acomodarse bambúes o tubos perforados que permitan el paso del aire al interior de la cámara caliente
- d) El aire pasa a través del grano y escapa por una serie de aberturas laterales
- e) La caja deberá tener una cubierta transparente de plástico enmarcado en madera con doble capa
- f) Es recomendable poner sobre los bambúes dos bandejas de malla de alambre para poner y sacar los granos con facilidad.

La siguiente figura (3.15) muestra el sistema más a detalle:



Fuente: ITACAB, 2009

Figura 3.15: Sistema de secado de granos con energía solar

Este sistema está cotizado para su uso individual en un costo de 15 USD, como se puede observar es un importe muy bajo y ya que la energía solar es gratuita sólo se debe invertir una vez; otro beneficio a considerar es que disminuye la humedad del grano de 12% a 25% en un día (ITACAB, 2009).

En el siguiente capítulo se evaluarán las propuestas recomendadas específicamente para el asentamiento irregular Ocotla para conocer la conveniencia de su empleo, haciendo un análisis de los costos y beneficios que cada una generaría.