

## **CAPÍTULO 2. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR.**

Una vez que se dieron a conocer las variables que intervienen en el empleo de la energía solar, se debe ahora mencionar las formas de trabajar con ellas en el aprovechamiento de la energía solar, es decir, nos encontramos con las tecnologías empleadas para la utilización de la energía solar.

Dentro de este segundo capítulo se encuentran algunos de los desarrollos tecnológicos que se han implementado para la utilización de la energía solar en beneficio de las personas, ya sea en un aprovechamiento directo o como fuente de generación eléctrica, dando una breve descripción y algunos ejemplos de algunas de las formas de aprovechamiento más utilizadas.

### **2.1 ESQUEMAS TERMOSOLARES.**

#### **2.1.1 COLECTORES DE CONCENTRACIÓN.**

Un colector termosolar transforma la energía solar incidente en otra forma de energía útil. Consta de un intercambiador de calor convencional en que en éstos se realizan intercambios térmicos entre fluidos con elevados coeficientes de transferencia térmica, y en los que la radiación es un factor sin apenas importancia; en un colector solar, la transferencia térmica se realiza desde una fuente energética, (el Sol), a un fluido, sin concentración de energía solar.

La gama de longitudes de onda que se aprovecha está comprendida entre 0,3  $\mu\text{m}$  y 3,0  $\mu\text{m}$ , que es una franja de radiación considerablemente más pequeña que la de la radiación emitida por la mayoría de las superficies que absorben energía.

En los colectores de placa plana, la superficie que absorbe la radiación solar es igual a la superficie que la capta. Se pueden diseñar colectores de placa plana para trabajar con temperaturas de placa absorbente comprendidas entre 40 °C y 130 °C. Estos colectores utilizan tanto la radiación solar directa como la difusa, no requieren de sistemas de seguimiento solar y prácticamente no precisan de mantenimiento. Sus aplicaciones van

enfocadas a sistemas de calentamiento de agua, calefacción de edificios y aire acondicionado.

Los colectores de concentración utilizan sistemas ópticos reflectores y en algunos casos muy particulares, refractores, para aumentar la intensidad de la radiación solar que se dirige sobre una superficie receptora que la absorbe, (lentes Fresnel y lentes de líquido).

Contra mayor sea el flujo solar sobre esta superficie, menor será la zona necesaria para conseguir el mismo efecto térmico sobre un fluido, lo que supone una reducción de las pérdidas térmicas.

Un colector reflector de media temperatura se compone de dos partes fundamentales, el concentrador y el receptor. El concentrador es la parte del colector que refleja (o refracta) la radiación solar incidente sobre el mismo, dirigiéndola hacia el receptor, que la absorbe y transmite a un fluido térmico que circula por el mismo.

Al ser el Sol la fuente de energía, es muy importante conocer la imagen del mismo reflejada sobre el receptor. El ángulo con el que el Sol se ve desde la Tierra es de aproximadamente  $32^\circ$  y este dato hay que tenerle presente, (aparte de otros propios motivados por errores de seguimiento y reflexión, así como de la dispersión de la radiación por la superficie reflectora originados por defectos de fabricación, etc.), a la hora de diseñar el dimensionamiento, tanto del concentrador, como del receptor.

Existe una amplia variedad de medios que permiten aumentar el flujo de la radiación solar sobre un receptor pudiéndose clasificar teniendo en cuenta una serie de factores, como:

- a. El que sean lentes o reflectores
- b. Por el sistema de montaje y modelo de orientación
- c. Por la magnitud de la concentración de radiación que son capaces de conseguir
- d. Por los materiales utilizados en su construcción
- e. Por los fluidos térmicos que se van a utilizar que dependen de sus aplicaciones, etc.

Una característica fundamental de estos colectores es el llamado índice de concentración ( $A_a/A_r$ ), que es la relación entre el área de la superficie de abertura del concentrador y el área de la superficie receptora.

En la Figura No. 2.1 se muestran tres secciones de sistemas de colectores de concentración; en cualquiera de ellos se enfoca la radiación con más o menos nitidez sobre un receptor que puede ser puntual o tener una geometría determinada por las características del concentrador; el índice de concentración para colectores de revolución es mucho mayor que para colectores cilíndricos.

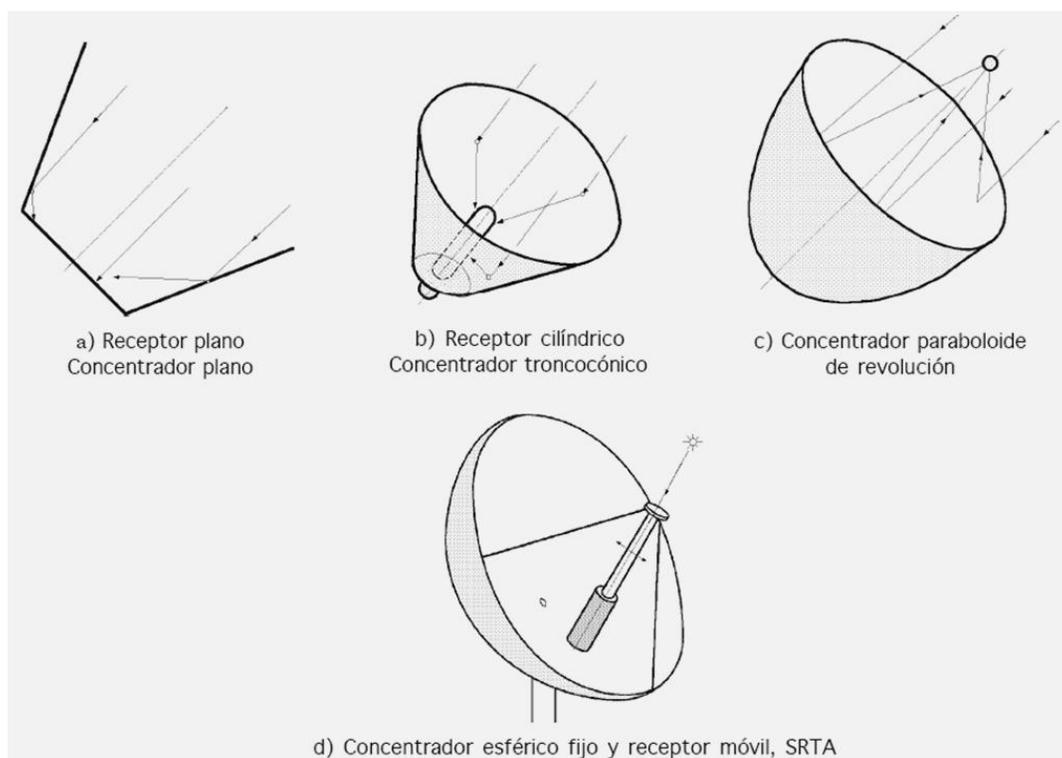


Figura No. 2.1 Algunas configuraciones de sistemas de concentración.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/>

Algunas configuraciones existentes de concentradores solares en la actualidad son las siguientes:

- Receptor plano y concentrador-reflector plano: Tiene un bajo índice de concentración, inferior a 4; se aprovecha en el receptor parte de la componente solar difusa incidente sobre el colector.
- Receptor cilíndrico y concentrador-reflector cónico: Se mejoran las características de concentración del caso anterior.
- Receptor cilíndrico y concentrador-reflector esférico: Se mejoran las características de concentración de los casos anteriores.
- Concentrador-reflector tipo paraboloide de revolución: Permite obtener relaciones de concentración muy elevadas, lo que a su vez implica elevadas temperaturas; una modificación del mismo introduce un segundo reflector que permite llevar al foco a otra posición más conveniente.
- Colector con concentrador-reflector cilíndrico parabólico y receptor tubular: Es el modelo más usado y en el que el tubo receptor se encuentra a lo largo de todas las posiciones focales. La temperatura alcanzada en el mismo puede llegar a ser del orden de los 300 °C, suficiente para muchas aplicaciones. En la Figura No 2.2.a se representa un concentrador cilíndrico parabólico, y en la Figura No 2.2.b un concentrador cilíndrico parabólico con reflector secundario.

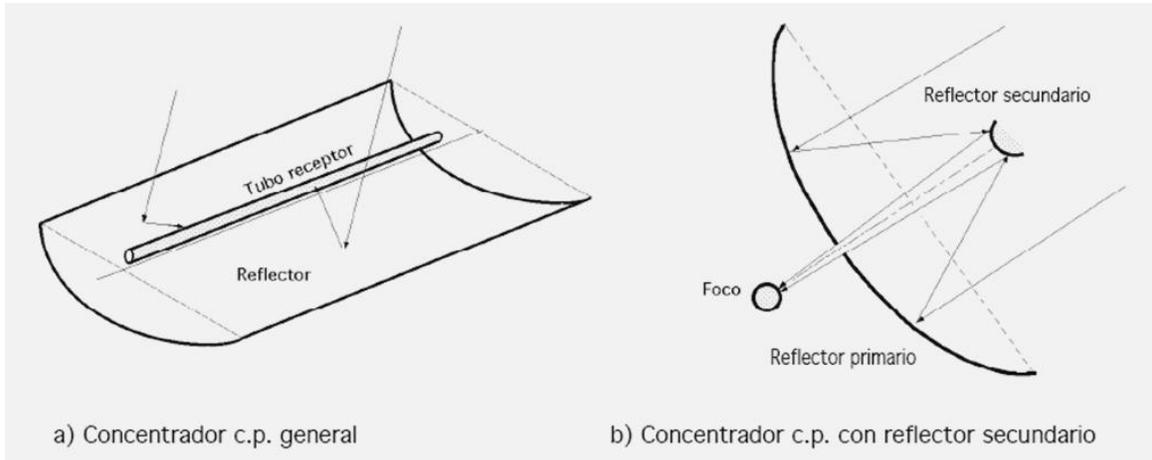


Figura No. 2.2 Concentradores cilíndrico-parabólicos.  
Fuente: <http://libros.redsauce.net/>

En el reflector Fresnel, Figura No. 2.3.a, las superficies pueden ser planas o curvas, estando diseñada cada una para reflejar individualmente la radiación sobre el receptor; su gran ventaja radica en su facilidad de construcción, siendo muy interesante su utilización en colectores solares de gran potencia y alta temperatura.

El refractor Fresnel utiliza un sistema de concentración parecido a un montaje de lentes con un punto focal único, Figura No. 2.3.b.

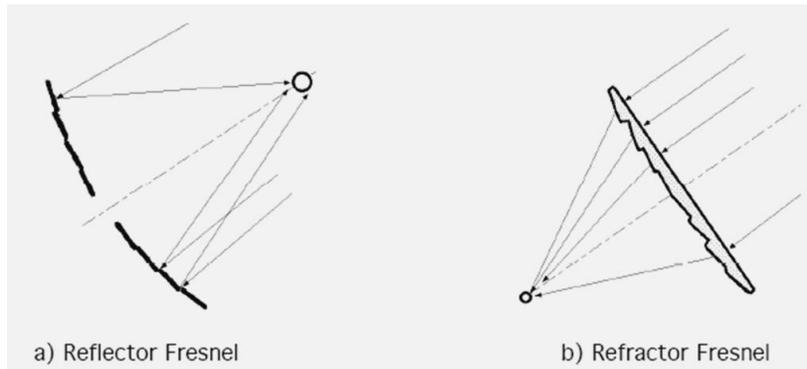


Figura No. 2.3 Concentradores fresnel.  
Fuente: <http://libros.redsauce.net/>

## 2.1.2 CALENTAMIENTO DE AGUA, CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN POR ENERGÍA SOLAR.

Las consideraciones planteadas en el diseño de sistemas de calentamiento de agua, se pueden ampliar a sistemas de calefacción y refrigeración solar. Los elementos constructivos

básicos de los calentadores de agua solares más corrientes son, el colector de placa plana y el depósito de almacenamiento.

Los colectores se conectan para cubrir una carga, (generalmente se dispone de energía auxiliar), y se tienen que incluir los medios para la circulación de agua y el control del sistema; un esquema práctico de un ejemplo de un sistema de circulación natural se muestra en la Figura No. 2.4; en este dispositivo el depósito está situado por encima del colector, y el agua circula por convección natural siempre que la energía solar en el colector aporte la suficiente energía al agua que asciende por el mismo, estableciéndose así un gradiente de densidades que provoca el movimiento del fluido por convección natural. La energía auxiliar se aplica en la parte superior del depósito, y tiene como misión mantener el agua caliente en esta zona del depósito, a un nivel de temperatura mínimo, necesario y suficiente para cubrir las cargas y mantener la circulación.

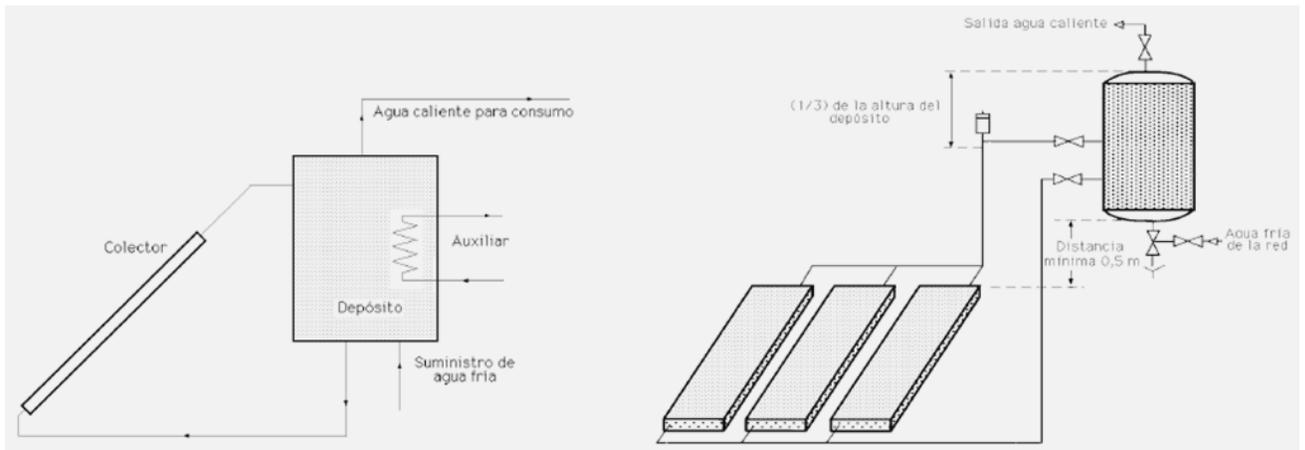


Figura No. 2.4 Calentador de agua con circulación natural, con aporte de energía auxiliar al depósito de almacenamiento.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/>

En la Figura No. 2.5 se muestran otros esquemas, con agua en circulación forzada, en los que no es necesario colocar el depósito por encima del colector, aunque sí es necesaria una bomba que, generalmente, va controlada por control diferencial que la acciona y pone en marcha cuando la temperatura detectada por un sensor colocado a la salida del colector está varios grados por encima de la temperatura del agua en la parte inferior del depósito.

También es necesaria una válvula de retención para evitar se produzca una circulación inversa durante los períodos de inactividad del colector, incluida la noche, y las correspondientes pérdidas térmicas nocturnas. En estos esquemas se muestra que la energía auxiliar se aporta al agua entre la salida del depósito de almacenamiento y la carga.

Muchos calentadores son de diseño único, por lo que funcionan tanto en convección natural como forzada, mientras que los calentadores domésticos pequeños funcionan en régimen de circulación natural y los de mayor tamaño en régimen de circulación forzada.

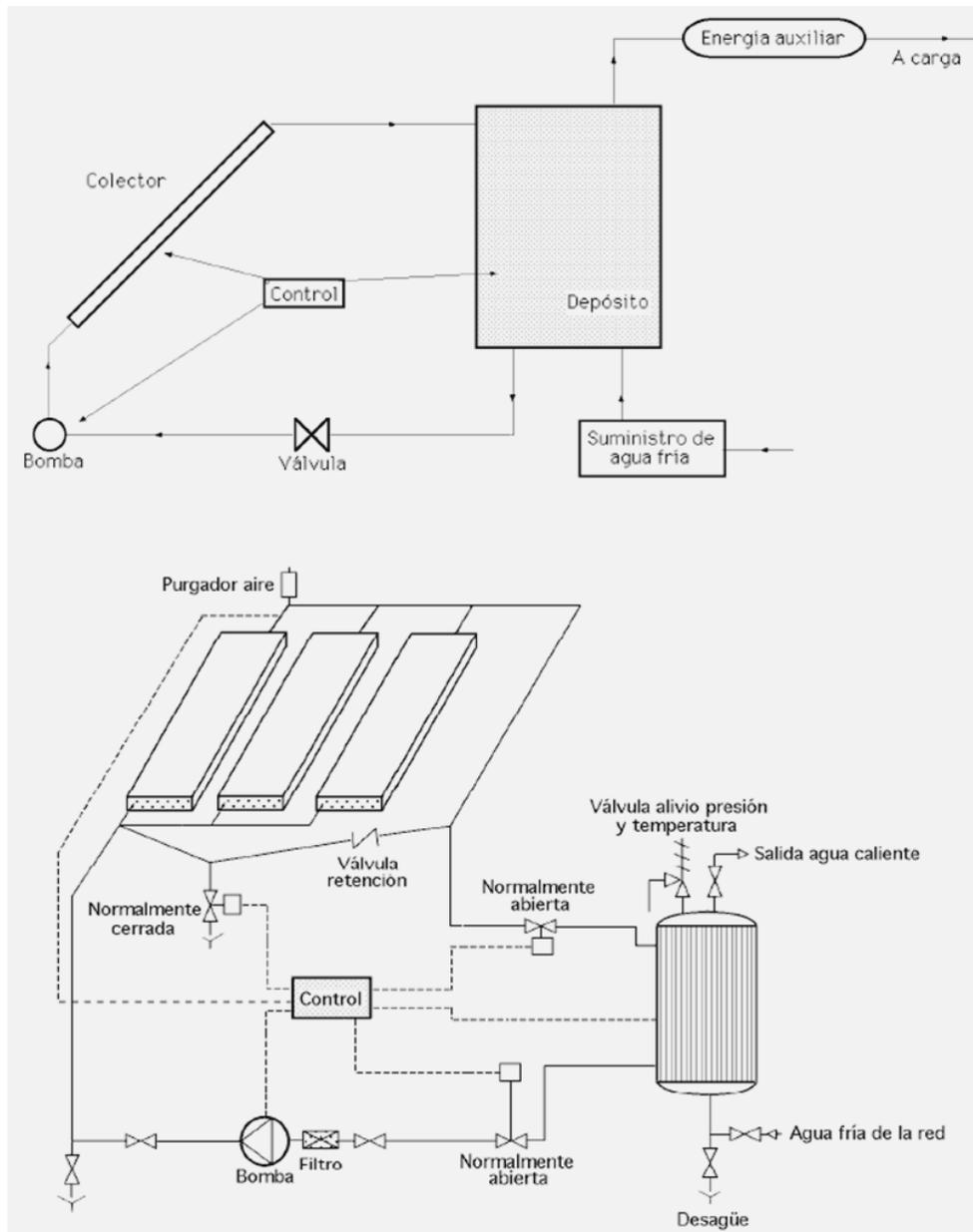


Figura No. 2.5 Calentadores de agua con circulación forzada.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/>

El tipo de colectores de placa más comúnmente utilizado se muestra esquemáticamente en la Figura No. 2.6, en la que se observa que los tubos captadores por cuyo interior circula el agua a calentar, están dispuestos paralelamente y tienen diámetros comprendidos entre 1.2 cm y 1.5 cm con una separación entre 12 y 15 cm y van soldados o embutidos tanto a la

placa colectora como a los tubos colectores distribuidores, que tienen un diámetro de 2.5 cm aproximadamente. Las placas colectoras se construyen generalmente de cobre, aunque existen sistemas que utilizan placas colectoras de hierro galvanizado; las placas de absorción se montan en una caja de metal, o de cemento, con un aislamiento de 5 a 10 cm de espesor en la cara posterior de la placa y con una o dos cubiertas de cristal, de forma que para la cámara de aire se deje una separación entre las mismas del orden de 2.5 cm.

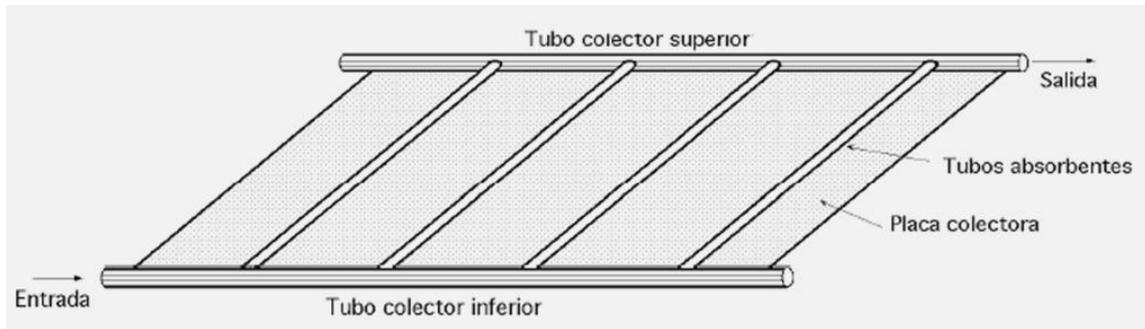


Figura No. 2.6 Placa colectora y tubos en un colector convencional.  
Fuente: <http://libros.redsauce.net/>

Las dimensiones de un colector pueden ser, normalmente, de (1,2 x 1,2) m<sup>2</sup>, pudiéndose utilizar en la instalación grupos de colectores montados en serie, en paralelo o en otras disposiciones.

Se pueden utilizar otros tipos de tubos para transferir la energía captada en la placa colectora al fluido que circula, como un tubo único en forma de serpentín en lugar de los tubos paralelos, con lo que se eliminan los colectores extremos, o un conjunto formado por una placa plana y otra ondulada unidas por soldadura eléctrica por resistencia, de tal forma que a través de las ondulaciones entre placas circula el agua, como se muestra en la Figura No. 2.7.

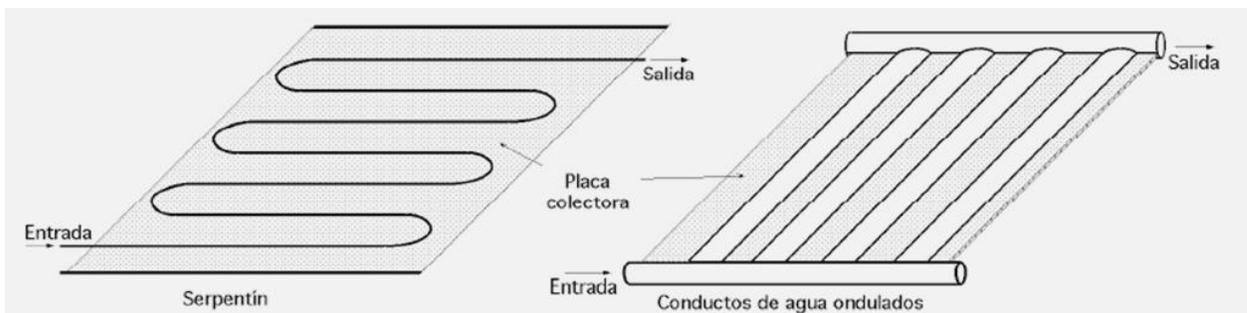


Figura No. 2.7 Alternativas para calentadores de agua de placas, a) Tubo único; b) Tubo de placa ondulada.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/>

Los depósitos de almacenamiento tienen que estar aislados térmicamente; por regla general se puede utilizar un aislamiento de lana mineral en los costados, en la parte superior, y en la inferior, de unos 20 cm de espesor; también hay que aislar térmicamente las tuberías que van desde el colector al depósito, por lo que se tienen que diseñar y calcular muy bien, para reducir al mínimo las pérdidas de carga y las caídas de presión; en unidades domésticas se utilizan tuberías de 2.5 cm de diámetro o más, con tramos de longitud tan corta como sea posible.

Es necesario que la estratificación se pueda mantener en los depósitos de almacenamiento dentro de unos límites, por lo que tanto su situación y posición, como el diseño de las conexiones de los depósitos es muy importante.

### **2.1.3 TORRES SOLARES.**

Las torres o chimeneas solares son una tecnología que combina la tecnología solar térmica, eólica y geotérmica para generar electricidad limpia basándose en un fenómeno tan simple como es la convección (el aire caliente pesa menos y tiende a ascender). La planta consta de una superficie circular de terreno que se recubre con un material transparente con una torre hueca central, el aire al calentarse asciende por la chimenea moviendo unas turbinas que se encuentran en su interior. Unas tuberías enterradas en el terreno sirven de almacenamiento térmico garantizando el funcionamiento las 24 horas del día (aún sin Sol) y además la superficie acristalada puede utilizarse como invernadero agrícola ya que la temperatura que se alcanza en su interior no supera los 40 °C.

En los años ochenta estuvo en funcionamiento en Manzanares (Ciudad Real) un primer prototipo de 50 KW funcionando durante más de 15,000 horas. Fruto de estos ensayos son varios los proyectos que se están llevando a cabo a nivel mundial entre los que destacan una planta de 40 MW en Ciudad Real España y otra de 100 MW en Australia con chimeneas de 750 y 1,000 metros de altura respectivamente.

A principios de los años 80 el ingeniero alemán Jorg Schiach se planteó la posibilidad de utilizar la energía térmica del sol para reproducir los fenómenos que rigen la generación del viento y provocar vientos artificiales de velocidad suficiente para mover una turbina eólica convencional. Para ello se basó en un principio básico de la física de los gases que es que el aire al calentarse disminuye su densidad, tendiendo a ascender hacia zonas superiores de la atmósfera dejando un vacío que será ocupado por aire frío procedente de la parte superior. Así surgió el primer diseño de la "torre solar", esta construcción consiste simplemente en una superficie de forma circular que es cubierta por un material transparente (plástico o cristal)

situado a una cierta altura, constituyendo una especie de invernadero. En la parte central del círculo se construye una torre hueca en cuyo interior se colocan una serie de turbinas eólicas.

La radiación solar atraviesa el recubrimiento transparente chocando contra el suelo y siendo de nuevo re-irradiado hacia el exterior pero en este caso con unas longitudes de onda diferentes (en el rango de los infrarrojos) que no son capaces de atravesar de nuevo el material transparente y calientan el aire que se encuentra en el interior. Éste, al aumentar su temperatura, disminuye su densidad por lo que tiende a ascender siendo dirigido hacia la chimenea en la que alcanza velocidades comprendidas entre 50 y 70 km/h.



Figura No. 2.8 Torre Solar.

Fuente: [http://media.photobucket.com/image/torres%20solares/aquiestuveayer/Torre\\_Solar.jpg](http://media.photobucket.com/image/torres%20solares/aquiestuveayer/Torre_Solar.jpg)

Las ventajas de esta tecnología que combina la energía eólica, solar y geotérmica con respecto a cada una de ellas es que se puede utilizar en zonas desérticas de gran irradiación pero que no disponen de viento, que aprovecha toda la radiación solar (difusa y directa) no sólo la directa como hace la solar térmica de concentración y que aprovecha la capacidad de almacenamiento térmico que tiene el terreno bajo el acristalamiento, pudiéndose acumular energía sin necesidad de sistemas especiales para que la torre funcione también durante las 24 horas del día (para ello dispone de un sistema de tubos auxiliares por los que circula un fluido y calienta el aire por la noche). Por otra parte, no hay ningún consumo de agua y la ocupación de terreno es similar a cualquier otro sistema de generación de energía eléctrica con la ventaja de que además el terreno cubierto con el material transparente se puede utilizar como invernadero para producción agrícola. Como principal inconveniente su bajo

rendimiento (entorno al 5%), pero como el combustible es gratuito (el sol) y la tecnología utilizada en su construcción es muy simple (plástico o cristal y una simple torre de hormigón), la electricidad generada resultará pronto competitiva.

El primer prototipo de esta tecnología fue ensayado en Manzanares España, con un campo recolector de 240 metros de diámetro y una torre de 195 metros. Estuvo en funcionamiento durante siete años (1982-1989), en unas instalaciones de Unión Fenosa, donde consiguieron demostrar la viabilidad de la tecnología con una planta que suministraba picos de 50 kW, y que se consiguió hacer funcionar de forma continuada una media de 9 horas al día, acumulando un total de 15,000 horas de funcionamiento.

En la actualidad hay dos proyectos en marcha a nivel mundial, uno de 40 MW también en España, concretamente en Fuente del Fresno (Ciudad Real) que con un presupuesto de 240 millones de euros será construido por la empresa Campo 3 en colaboración con la empresa alemana Schlaich Bergermann y la participación de la Universidad de Castilla y el Ministerio de Medioambiente español. Se tiene prevista la construcción de una torre de 750 metros de altura, un campo de 350 hectáreas de las cuales 250 podrán ser utilizadas como invernaderos hortofrutícolas y un costo de 250 millones de euros que proporcionará la energía que anualmente consumen 1,200,000 personas.

El segundo proyecto en marcha es una planta de 200 MW de potencia y 700 GWh de producción anual que se construirá en el desierto de Nuevo Gales en Australia, dará electricidad para 200,000 hogares suponiendo un ahorro de emisiones de dióxido de carbono equivalente al ahorro de 700,000 barriles de petróleo y, por lo tanto, una reducción de emisiones de dióxido de carbono de 900,000 toneladas. El costo estimado de esta planta es de 380 millones de euros y la superficie acristalada será de 20 km<sup>2</sup> con un diámetro de 5 km. La torre tendrá un kilómetro de diámetro en su base con un espesor de pared de 1 metro, la altura total será de 1 km y un espesor en la parte superior de 25 cm (el edificio más alto actualmente es la torre de comunicaciones de Toronto con 553 m). El sol calentará el aire y provocará viento con velocidades de 56 km/h que pasará a través de 32 turbinas situadas en la base de la torre con una potencia de 6.5 MW. El proyecto será llevado a cabo por la empresa Solarmissions Technologies y para la construcción serán necesarios 20 km<sup>2</sup> de plástico o cristal y 400,000 m<sup>3</sup> de hormigón.

## **2.2 EDIFICACIONES BIOCLIMÁTICAS.**

El precursor del bioclimatismo fue Víctor Olgyay, arquitecto húngaro radicado en Estados Unidos. En la década de 1950 formalizó el diseño bioclimático. La idea fue la de construir

una casa que se mantuviera fresca en el verano y caliente en el invierno; que permaneciera agradable todo el año sin la necesidad de recurrir a sistemas de calefacción o refrigeración.

El objetivo de la arquitectura bioclimática o arquitectura solar pasiva es cubrir las necesidades de sus habitantes con el menor gasto energético, independientemente de la temperatura exterior, para lo cual se diseña la edificación con el doble fin de ganar todo el calor solar posible (cuando se desea) y evitar las pérdidas de calor (a las ganancias, en verano). Para ello, se trata de estudiar a conciencia tanto el diseño de la edificación como los materiales a utilizar con miras a dar origen a una edificación ahorradora y muy confortable.

La diferencia entre la arquitectura moderna y la arquitectura solar o bioclimática es que la primera necesita enormes cantidades de energía que viene de lejos para calentarse, enfriarse, iluminarse o calentar agua, mientras que la casa solar pasiva está integrada en su ambiente, necesita poca energía y ésta la obtiene del medio, fundamentalmente del sol.

Esto se consigue mediante el aislamiento de las habitaciones de la casa, con dimensiones razonables, orientación y aberturas adecuadas y aprovechamiento de los recursos y la energía del entorno. Una casa bien aislada pierde la mitad de calor, y si está bien orientada y con aberturas convenientes gana 3 veces más energía que una casa convencional, con lo que sumados ambos conceptos, es posible gastar 6 veces menos energía que una casa convencional.



Figura No. 2.9 Edificación bioclimática.  
Fuente: [www.decopasion.com/.../casas\\_bio\\_render1](http://www.decopasion.com/.../casas_bio_render1).

Algunos requisitos que se deben tomar en cuenta para la construcción de estas casas son los siguientes:

- Conocer las variaciones horarias de temperatura se (TS) y humedad relativa (HR) a lo largo del año en el lugar donde se emplazará la obra.
- Conocer la dirección, intensidad y frecuencia horaria y a lo largo del año de los vientos dominantes en el lugar donde se emplazará la obra.
- Conocer como se comporta la nubosidad, precipitación pluvial; y además meteoros relevantes a lo largo del año en el lugar donde se emplazará la obra.
- Pasar el diagrama psicométrico de Givoni las temperaturas y humedades relativas horarias de, por lo menos el mes más frío y el más cálido de la localidad en estudio, tomando en consideración las desviaciones que puede provocar el viento para conocer las estrategias de climatización natural más apropiadas para dicha localidad.

El diagrama psicométrico de Givoni indica las estrategias de climatización natural traducidas a elementos arquitectónicos cuya finalidad es regresar a la llamada zona de confort.

Algunas pautas que se consideran en el diseño arquitectónico bioclimático son:

- En climas donde se necesite calefacción en invierno debe ubicarse el edificio en la zona donde reciba el máximo de horas de sol entre las 9 y las 15 de la Hora Solar Verdadera (HSV) (Figura No. 2.10)

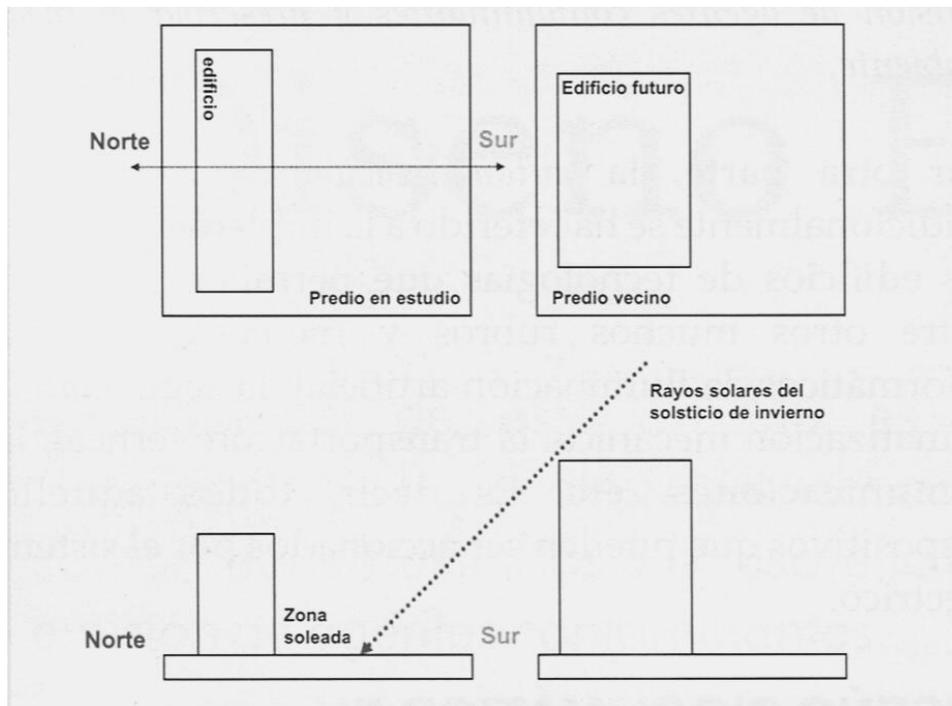


Figura No. 2.10 Posición recomendada entre dos edificaciones.

Fuente: Energía Racional FIDE Año 16 Núm. 61 pag.16

- b. La forma más eficaz de un edificio en todos los climas para minimizar las necesidades de calefacción en invierno y las de refrigeración en verano es alargada en el eje este-oeste. De esta manera la gran fachada sur se expone a las máximas ganancias térmicas en invierno, mientras que en verano se exponen sólo las pequeñas fachadas es y oeste a las ganancias solares (Figura No. 2.11).

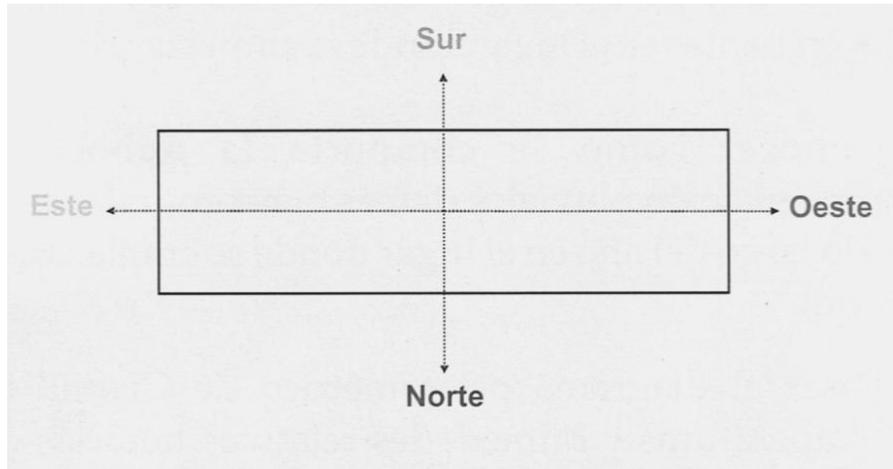


Figura No. 2.11 Posición recomendada de una edificación.

Fuente: Energía Racional FIDE Año 16 Núm. 61 pag.16

- c. La fachada norte de un edificio en climas extremos fríos representa un problema porque no está asoleada. La forma de evitar este problema es haciendo desaparecer la fachada norte por inclinación del techo o por adosamiento del edificio (Figura No. 2.12). También se puede utilizar una pared pintada con colores claros en la zona norte del terreno para rebotar insolación hacia la casa (Figura No. 2.13).

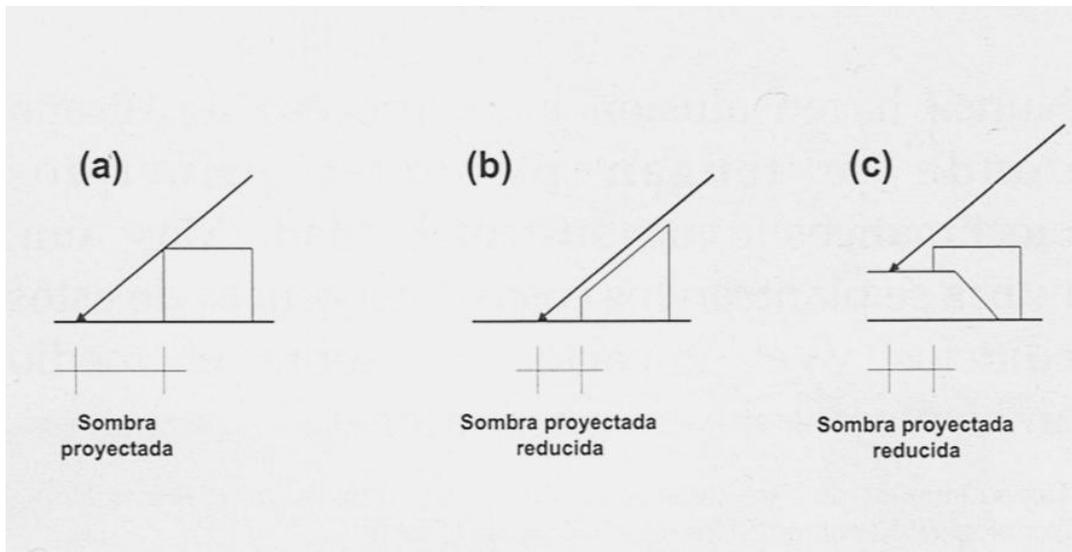


Figura No. 2.12 Adosamiento de un edificio.

Fuente: Energía Racional FIDE Año 16 Núm. 61 pag.16

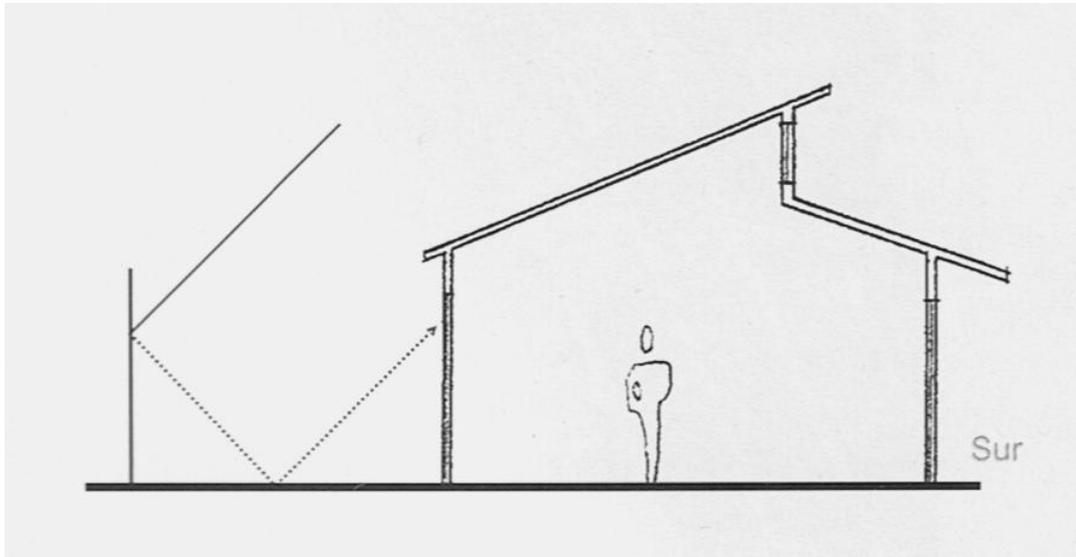


Figura No. 2.13 Rebote de la insolación hacia la edificación.

Fuente: Energía Racional FIDE Año 16 Núm. 61 pag.16

- d. En la distribución de un edificio bioclimático se reservan las áreas hacia el sur para los locales con mayores necesidades de confort térmico y lumínico. Al poniente y sobre todo al norte las de mínima necesidad de calefacción e iluminación. A esta zona se le llama “colchón térmico” (Figura No. 2.14).

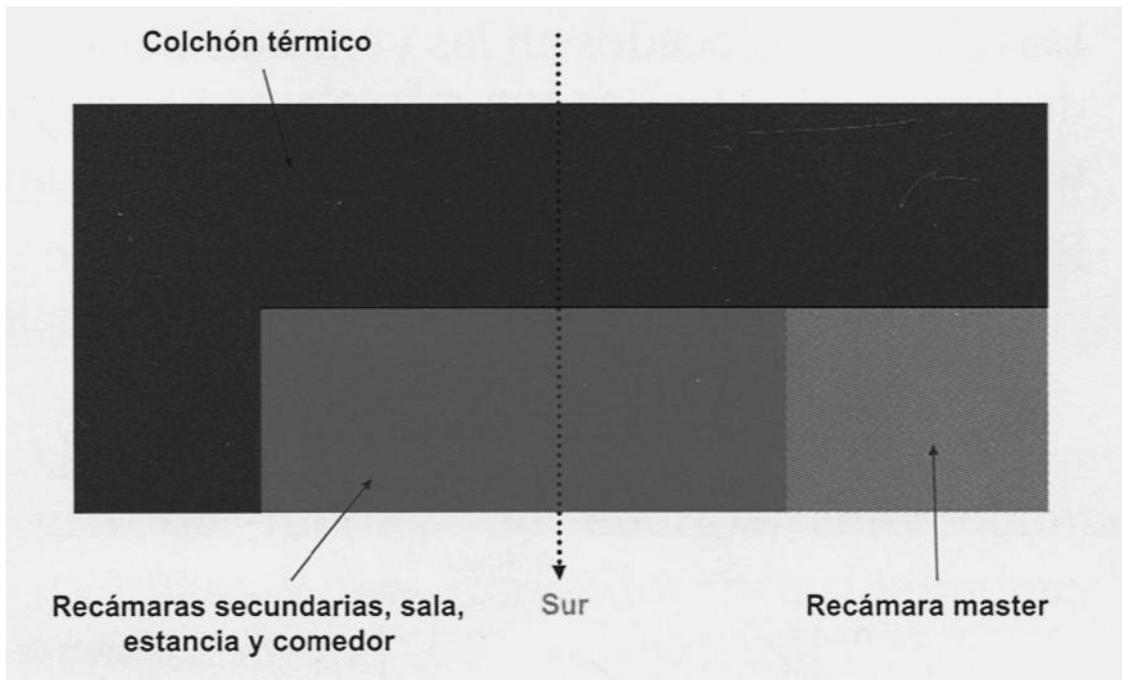


Figura No. 2.14 Colchón térmico.

Fuente: Energía Racional FIDE Año 16 Núm. 61 pag.16

- e. En climas fríos la entrada debe protegerse con una exclusiva o espacio de transición para evitar los intercambios y pérdidas térmicas entre interior y exterior (Figura No. 2.15).

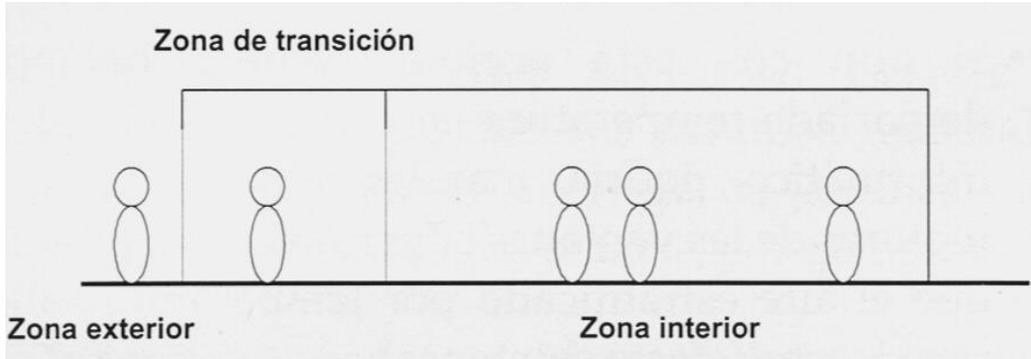


Figura No. 2.15 Configuración para proteger el interior contra pérdidas térmicas.  
Fuente: Energía Racional FIDE Año 16 Núm. 61 pag.16

- f. Las ventanas de un edificio bioclimático para captación solar deben estar orientadas en orden de preferencia hacia el sur, sudeste y sudoeste. Hacia el oeste y norte deben ser pequeñas.(Figura No. 2.16)

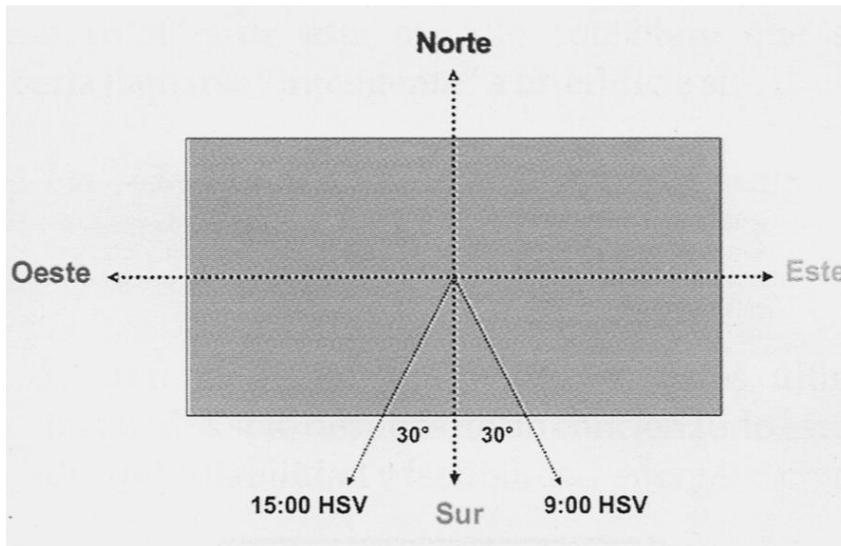


Figura No. 2.16 Orientación de las Ventanas de un edificio.  
Fuente: Energía Racional FIDE Año 16 Núm. 61 pag.16

En cuanto a los costos de construcción, la casa solar pasiva (o bioclimática) tiene un incremento del costo entre un 5 y un 10% sobre el costo habitual, debido a la mayor calidad térmica y sanitaria de los materiales y a una mayor estanqueidad y aislamiento de la vivienda, pero permitirá ahorros de un 80% en calefacción, refrigeración e iluminación, haciendo la vivienda más sana y agradable además de más respetuosa con la naturaleza.

La casa solar pasiva es aplicable a toda nueva construcción, sea vivienda unifamiliar o bloque de edificios y tan sólo requiere que el planeamiento urbanístico municipal tenga en cuenta el derecho a disfrutar del sol de las edificaciones futuras, con una distribución de las calles de acuerdo a una lógica y no de forma aleatoria o bajo intereses especulativos ajenos al bien común.

En síntesis, estas edificaciones bio-climáticas aprovechan al máximo los recursos del sol, el viento, la radiación térmica nocturna y las características térmicas de ciertos materiales de construcción, para disponer de espacios confortables y saludables con beneficios: térmicos, acústicos, energéticos, económicos y sobretodo ecológicos.

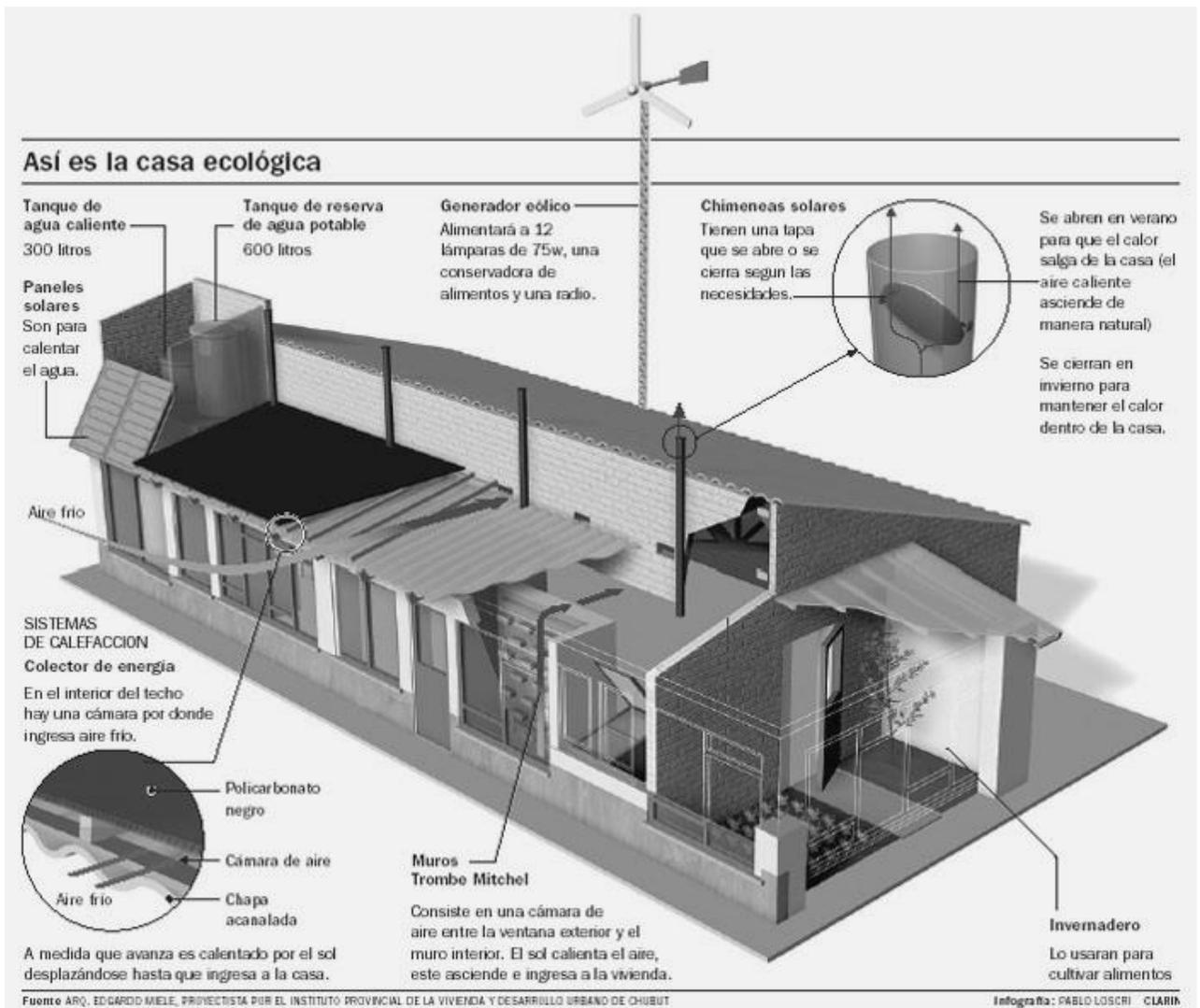


Figura No. 2.17 Edificación ecológica.

Fuente: <http://www.clarin.com/diario/2006/01/23/info29.jpg>

## 2.3 ESQUEMAS FOTOVOLTAICOS.

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del Sol en energía eléctrica. Para llevar a cabo esta conversión se utilizan unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores en los que artificialmente se ha creado un campo eléctrico constante. El material más utilizado es el silicio. Estas células conectadas en serie o paralelo forman un panel solar encargado de suministrar la tensión y la corriente que se ajuste a la demanda.

En una primera gran división las instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en dos grandes grupos: instalaciones aisladas de la red eléctrica e instalaciones conectadas a la red eléctrica.

En el primer tipo, la energía generada a partir de la conversión fotovoltaica se utiliza para cubrir pequeños consumos eléctricos en el mismo lugar donde se produce la demanda. Es el caso de aplicaciones como la electrificación de viviendas alejadas de la red eléctrica convencional, básicamente electrificación rural; servicios y alumbrado público: iluminación pública mediante farolas autónomas de parques, calles, monumentos, paradas de autobuses, refugios de montaña, alumbrado de vallas publicitarias, etc. Con la alimentación fotovoltaica de luminarias se evita la realización de zanjas, canalizaciones, necesidad de adquirir derechos de paso, conexión a red eléctrica, etc.; aplicaciones agrícolas y de ganado: bombeo de agua, sistemas de riego, iluminación de invernaderos y granjas, suministro a sistemas de ordeño, refrigeración, depuración de aguas, etc.; señalización y comunicaciones: navegación aérea (señales de altura, señalización de pistas) y marítima (faros, boyas), señalización de carreteras, vías de ferrocarril, repetidores y reemisores de radio y televisión y telefonía, cabinas telefónicas aisladas con recepción a través de satélite o de repetidores, sistemas remotos de control y medida, estaciones de tomas de datos, equipos sismológicos, estaciones meteorológicas, dispositivos de señalización y alarma, etc. El balizamiento es una de las aplicaciones más extendida, lo que demuestra la alta fiabilidad de estos equipos. Por su parte, en las instalaciones repetidoras, su ubicación generalmente en zonas de difícil acceso obligaban a frecuentes visitas para hacer el cambio de acumuladores y la vida media de éstos se veía limitada al trabajar con ciclos de descarga muy acentuados.

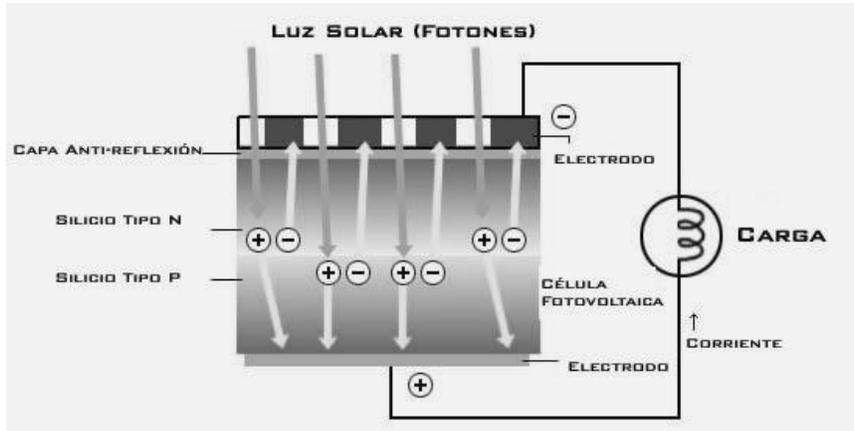


Figura No. 2.18 Funcionamiento de una célula fotovoltaica.

Fuente:<http://www.reportfotografia.com/clima/Imagen/Esquema%20Celula%20Fotovoltaica.jpg>

En cuanto a las instalaciones conectadas a la red se pueden encontrar dos casos: centrales fotovoltaicas, (en las que la energía eléctrica generada se entrega directamente a la red eléctrica, como en otra central convencional de generación eléctrica) y sistemas fotovoltaicos en edificios o industrias, conectados a la red eléctrica, en los que una parte de la energía generada se invierte en el mismo autoconsumo del edificio, mientras que la energía excedente se entrega a la red eléctrica. También es posible entregar toda la energía a la red; el usuario recibirá entonces la energía eléctrica de la red, de la misma manera que cualquier otro abonado al suministro

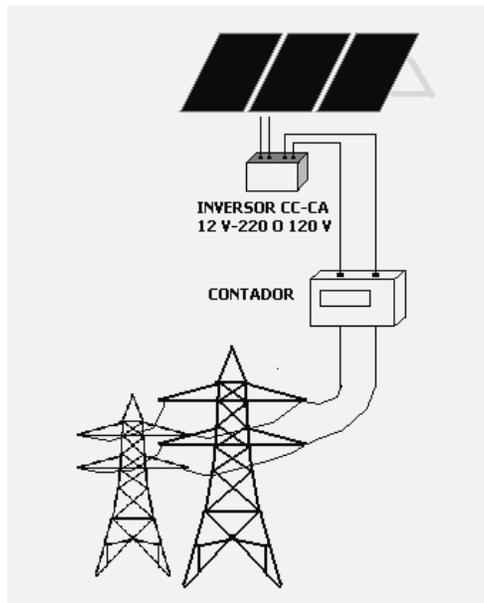


Figura No. 2.19 Esquema de sistema conectado a red.

Fuente:<http://www.sitiosolar.com/Imagenes/Imagenes%20ewlectrificacion%20casas/Esquema%20conectado%20a%20red.PNG>

Ventajas:

- a. Al no producirse ningún tipo de combustión, no se generan contaminantes atmosféricos en el punto de utilización, ni se producen efectos como la lluvia ácida, efecto invernadero por CO<sub>2</sub>, etc.
- b. El silicio, elemento base para la fabricación de las células fotovoltaicas, es muy abundante, no siendo necesario explotar yacimientos de forma intensiva.
- c. Al ser una energía fundamentalmente de ámbito local, evita pistas, cables, postes, no se requieren grandes tendidos eléctricos, y su impacto visual es reducido. Tampoco tiene unos requerimientos de suelo necesario excesivamente grandes (1 kWp puede ocupar entre 10 y 15 m<sup>2</sup>).
- d. Prácticamente se produce la energía con ausencia total de ruidos.
- e. Además, no precisa ningún suministro exterior (combustible) ni presencia relevante de otros tipos de recursos (agua, viento).

Inconvenientes:

- a. Impacto en el proceso de fabricación de las placas: extracción del silicio, fabricación de las células.
- b. Explotaciones conectadas a red: Necesidad de grandes extensiones de terreno Impacto visual.

Barreras para su desarrollo:

- a. De carácter administrativo y legislativo: falta de normativa sobre la conexión a la red
- b. De carácter inversor: inversiones iniciales elevadas
- c. De carácter tecnológico: necesidad de nuevos desarrollos tecnológicos
- d. De carácter social: falta de información

Para llevar a cabo la conversión fotovoltaica se utilizan dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores en los que artificialmente se ha creado un campo eléctrico constante (mediante una unión p-n).

Cuando sobre un semiconductor incide una radiación luminosa con energía suficiente para romper los enlaces de los electrones de valencia y generar pares electrón-hueco, la existencia de una unión p-n separa dichos pares, afluyendo electrones a la zona n y huecos a la zona p, creando en resumen una corriente eléctrica que atraviesa la unión desde la zona n a la p, y que puede ser entregada a un circuito exterior (saliendo por la zona p y entrando por la n). De esta manera, cuando se expone una célula solar a la luz del sol se hace posible la circulación de electrones y la aparición de corriente eléctrica entre las dos caras de la célula.

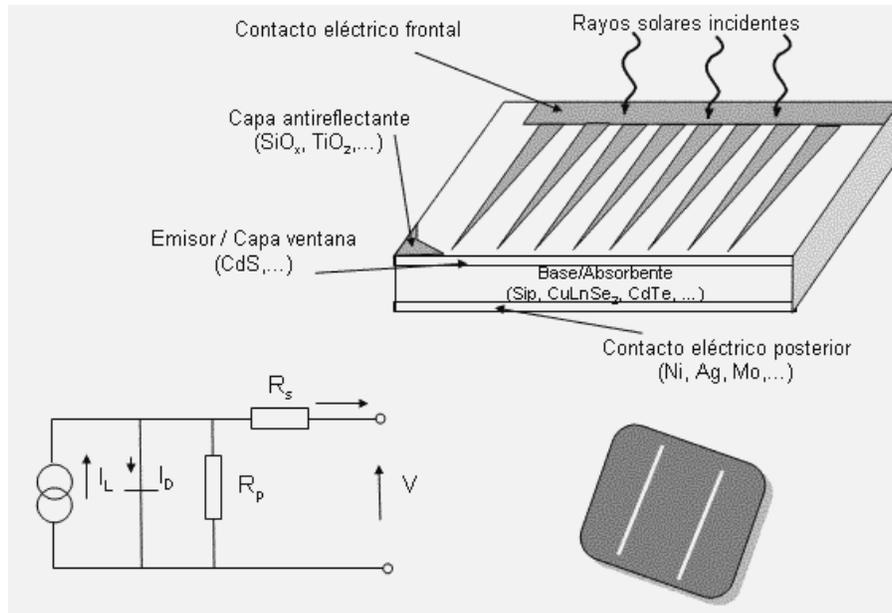


Figura No. 2.20 Conversión fotovoltaica.

Fuente: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/arauca/87061/figuras/Figura%2063.GIF>

### 2.3.1 FABRICACIÓN DE LAS CELDAS SOLARES.

A partir de las rocas ricas en cuarzo, por ejemplo cuarcita se obtiene silicio de alta pureza (de alrededor del 99%) y se funde. Una vez fundido se inicia la cristalización, resultando, si el tiempo es suficiente, lingotes de silicio cristalino. El proceso de corte es muy importante ya que puede suponer pérdidas de hasta el 50% de material.

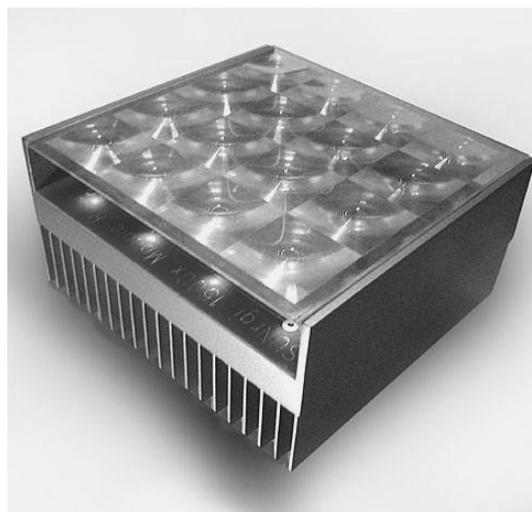


Figura No. 2.21 Fabricación de celdas solares.

Fuente: <http://www.gruponeva.es/userfiles/sunrgi-solar-power%5B1%5D.jpg>

Tras el proceso de corte se procede al decapado, que consiste en eliminar las irregularidades y defectos debidos al corte, así como los restos de polvo o residuos que pudiera haber. Una vez limpia se le realiza un tratamiento anti-reflectante para obtener una superficie que absorba más eficientemente la radiación solar. Formación de la unión p-n mediante la deposición de varios materiales (boro y fósforo generalmente), y su integración en la estructura de silicio cristalino. Finalmente provee a la célula de contactos eléctricos adecuados.

Hay tres tipos de celdas solares en la actualidad y son los siguientes:

- a. Silicio Monocristalino: Material de silicio caracterizado por una disposición ordenada y periódica de átomo, de forma que sólo tiene una orientación cristalina, es decir, todos los átomos están dispuestos simétricamente. Presentan un color azulado oscuro y con un cierto brillo metálico. Alcanzan rendimientos de hasta el 17%.
- b. Silicio Policristalino: Silicio depositado sobre otro sustrato, como una capa de 10-30  $\mu\text{m}$  y tamaño de grano entre 1  $\mu\text{m}$  y 1 mm. Las direcciones de alineación van cambiando cada cierto tiempo durante el proceso de deposición. Alcanzan rendimientos de hasta el 12%.
- c. Silicio amorfo: Compuesto hidrogenado de silicio, no cristalino, depositado sobre otra sustancia con un espesor del orden de 1  $\mu\text{m}$ . No existe estructura cristalina ordenada, y el silicio se ha depositado sobre un soporte transparente en forma de una capa fina. Presentan un color marrón y gris oscuro. Las células de silicio amorfo (no cristalino) parecen tener unas perspectivas de futuro muy esperanzadoras. Esta tecnología permite disponer de células de muy delgado espesor y fabricación más simple y barata, aunque con eficiencia del 6-8%. Su principal campo de aplicación en la actualidad se encuentra en la alimentación de relojes, calculadoras, etc. Son muy adecuadas para confección de módulos semitransparentes empleados en algunas instalaciones integradas en edificios.

Los módulos fotovoltaicos están compuestos por un conjunto completo, medioambientalmente protegido, de células interconectadas. En general las células tienen potencias nominales próximas a 1 Wp, lo que quiere decir que con una radiación de 1000  $\text{W}/\text{m}^2$  proporcionan valores aproximados de tensión y de corriente de 0.5 V y 2 A, respectivamente. Para obtener potencias utilizables para aparatos de mediana potencia, hay que unir un cierto número de células con la finalidad de obtener la tensión y la corriente requeridas. Para tener más voltaje hay que conectar varias células en serie. Conectando 36 (dimensiones normales, 7.6 cm de diámetro) se obtienen 18 V, tensión suficiente para hacer funcionar equipos a 12 V, incluso con iluminaciones mucho menores de 1  $\text{kW}/\text{m}^2$ . La unidad básica de las instalaciones fotovoltaicas es, pues, la placa fotovoltaica, que contiene entre 20 y 40 células solares; estas placas se conectan entre sí en serie y/o paralelo para obtener el

voltaje deseado (12 V, 14 V, etc.). Estas células interconectadas y montadas entre dos láminas de vidrio que las protegen de la intemperie constituyen lo que se denomina un módulo fotovoltaico.

### **2.3.2     *INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS DE LA RED***

Los componentes básicos de una instalación fotovoltaica son los siguientes:

- a. Subsistema de generación: Grupo de paneles fotovoltaicos interconectados para el aprovechamiento de la radiación solar del lugar.
- b. Subsistema de acumulación: Regulador de carga y grupo de baterías. El regulador de carga se encarga, principalmente, de evitar la descarga profunda de las baterías o la sobrecarga de las mismas, alargando de esta forma su vida útil. Las baterías acumulan la energía producida por el sistema de generación para que la vivienda disponga de suministro en los momentos en que ninguno de los generadores de la instalación está produciendo energía por falta de sol. Y también en los momentos en que la demanda energética de la misma es superior a la generada en esos instantes por los paneles FV.
- c. Subsistema de acomodación de energía a las cargas: Convertidor CC-CC o seguidor de potencia. Cuando no todos los receptores de continua tienen la misma tensión nominal. Convertidor CC-CA. Dado que la vivienda dispone de equipos a alimentar con CA, sí que será preciso incluir en el sistema un convertidor CC-CA.

#### **2.3.2.1    *GENERADOR FOTOVOLTAICO.***

Se conocen popularmente como paneles solares o placas solares. Son los encargados de transformar la energía del sol en energía eléctrica. Su orientación ideal es hacia el sur geográfico y con una inclinación equivalente a la latitud del lugar donde se vaya a realizar la instalación.

#### **2.3.2.2    *REGULADOR DE CARGA.***

Dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobredescargas profundas. El regulador de tensión controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga.

Los reguladores actuales introducen microcontroladores para la correcta gestión de un sistema fotovoltaico. Su programación elaborada permite un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Incluso los hay que memorizan datos que permiten conocer cual ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado. Para ello, consideran los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga y descarga, y capacidad del acumulador.

El sistema de regulación tiene básicamente dos funciones:

- a. Evitar sobrecargas y descargas profundas de la batería, ya que esto puede provocar daños irreversibles en la misma. Si, una vez que se ha alcanzado la carga máxima, se intenta seguir introduciendo energía en la batería, se iniciarían procesos de gasificación o de calentamiento que acortarían sensiblemente la duración de la misma.
- b. Impedir la descarga de la batería a través de los paneles en los periodos sin luz.

### 2.3.2.3 *INVERSOR.*

La mayoría de los aparatos electrodomésticos convencionales necesitan para funcionar corriente alterna a 127 V y 60 Hz de frecuencia. Puesto que los paneles como las baterías trabajan siempre en CC, es necesaria la presencia de un inversor que transforme la corriente continua en alterna. Las principales características vienen determinadas por la tensión de entrada del inversor, que se debe adaptar a la del generador, la potencia máxima que puede proporcionar la forma de onda en la salida (senoidal pura o modificada, etc.), la frecuencia de trabajo y la eficiencia, próximas al 85%. Se basan en el empleo de dispositivos electrónicos que actúan a modo de interruptores permitiendo interrumpir las corrientes e invertir su polaridad.

Se pueden distinguir varios tipos de inversores:

- a. Inversores de conmutación natural. También son conocidos como inversores conmutados por la red, por ser ésta la que determina el fin del estado de conducción en los dispositivos electrónicos. Su aplicación es para sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Actualmente están siendo desplazados por los inversores de conmutación forzada tipo *PWM (Pulse-Width Modulation)*, conforme se desarrollan los transistores de tipo *IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)* para mayores niveles de tensión y corriente.
- b. Inversores de conmutación forzada o autoconmutados. Son para sistemas FV aislados. Permiten generar corriente alterna mediante conmutación forzada, que se

refiere a la apertura y cierre forzados por el sistema de control. Pueden ser de salida escalonada (onda cuadrada) o de modulación por anchura de pulsos (*PWM*), con los que se pueden conseguir salidas prácticamente senoidales y por tanto con poco contenido de armónicos.

Con los inversores tipo PWM (Modulación por ancho de pulsos) se consiguen rendimientos por encima del 90%, incluso con bajos niveles de carga. Se basan en el empleo de dispositivos electrónicos que actúan a modo de interruptores permitiendo interrumpir las corrientes e invertir su polaridad.

#### 2.3.2.4 BATERÍAS.

La función prioritaria de las baterías es la de acumular la energía que se produce para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo.

Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el generador fotovoltaico pueden entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos. Las baterías de plomo-ácido se aplican ampliamente en los sistemas de generación fotovoltaicos. Dentro de la categoría plomo-ácido, las de plomo-antimonio, plomo-selenio y plomo-calcio son las más comunes. La unidad de construcción básica de una batería es la celda de 2 V. Dentro de la celda, la tensión real de la batería depende de su estado de carga, si está cargando, descargando o en circuito abierto.

Se puede hacer una clasificación de las baterías en base a su capacidad de almacenamiento de energía y a su ciclo de vida (numero de veces en que la batería puede ser descargada y cargada a fondo antes de que se agote su vida útil). La cantidad de energía que es capaz de almacenar una batería depende de su capacidad, que se mide en amperios hora.

### 2.4 ESQUEMAS TERMOELÉCTRICOS.

En general, una central termoeléctrica es un sistema capaz de generar energía eléctrica a partir de energía térmica mediante lo que se conoce como ciclo de potencia, y para poder desarrollar este ciclo se necesita una fuente de energía primaria a partir de la cual obtener la energía térmica necesaria. Las plantas solares termoeléctricas concentran los rayos solares sobre un fluido que alcanza el grado de ebullición; el vapor es usado para mover una turbina que genera electricidad. Su eficacia está más que comprobada aunque sus costos de instalación muy superiores a los de una planta termoeléctrica convencional (basada en la

combustión) está frenando su distribución a nivel comercial. Si la fuente de energía primaria es la radiación solar, la central termoeléctrica se denomina Central Energética Termosolar (CET). Al contrario que una instalación fotovoltaica, una CET no genera electricidad directamente a partir de la radiación solar, sino que transforma esta radiación en energía térmica que es aportada a un ciclo de potencia convencional y este transforma esa energía térmica en energía mecánica. Posteriormente, mediante un generador eléctrico se transforma la energía mecánica en energía eléctrica, siendo ésta última la que se inyecta a la red eléctrica y llega a los puntos de consumo.

Las CETs pueden incorporar un sistema de almacenamiento de energía, lo que permite seguir suministrando energía en ausencia de radiación solar. Dependiendo de la capacidad del sistema de almacenamiento, así será el intervalo de tiempo diario durante el cual se podrá seguir suministrando energía eléctrica. Las CETs en las que la única fuente de energía es la radiación solar se califican como sistemas sólo-solar. Si la radiación solar, como fuente de energía primaria, es complementada con el aporte energético de un combustible convencional, la central se denomina híbrida.

En la Figura No. 2.22 se representan los componentes básicos de una CET en la que se ha incluido un sistema de almacenamiento y un apoyo con combustible fósil. En realidad, únicamente el concentrador y el receptor son sistemas específicos de una CET y forman lo que se denomina campo solar, el resto son sistemas comunes para cualquier central termoeléctrica.

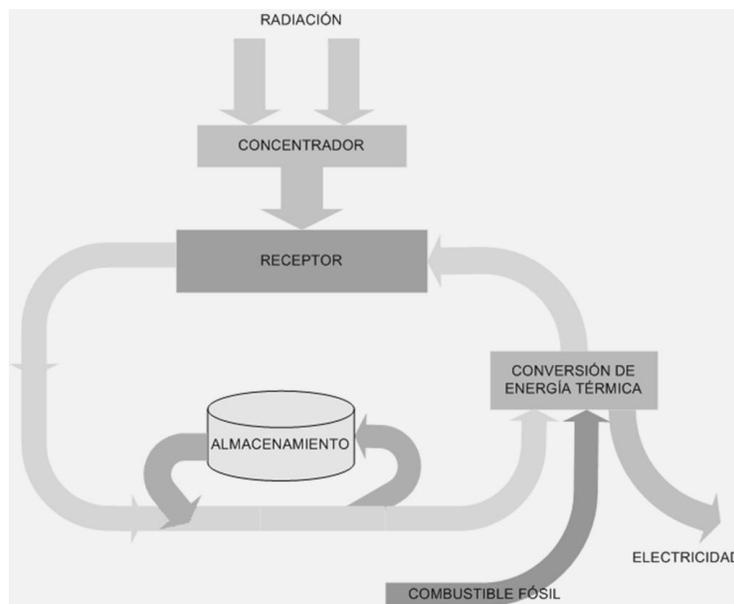


Figura No. 2.22 Esquema básico de funcionamiento de una CET  
Fuente: Tecnología termosolar, Agencia Andaluza de la Energía, 2008.

El sistema concentrador está constituido por superficies reflectoras que interceptan, concentran y reflejan la radiación solar dirigiéndola hacia el receptor que se encarga de captar esta radiación concentrada e introducirla en el sistema. Como el objetivo es concentrar los rayos solares sobre la superficie del receptor, el sistema concentrador debe disponer de un mecanismo de control que le permita seguir la trayectoria del sol de modo que siempre se encuentre enfocado hacia él. Una vez que la radiación concentrada llega al receptor, éste la convierte en energía térmica mediante una transferencia de energía al fluido de trabajo. Por último, el sistema de conversión de energía térmica transforma esta energía en energía eléctrica.

### **2.4.1 CONFIGURACIONES DE CENTRALES SOLARES TERMOELÉCTRICAS.**

#### **2.4.1.1 CENTRALES DE COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS (CCP).**

En este tipo de centrales el campo solar lo constituyen filas paralelas de colectores cilindro parabólicos (CCP), pudiendo cada fila albergar varios colectores conectados en serie. Cada colector está compuesto básicamente por un espejo cilindro-parabólico que refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo receptor colocado en la línea focal de la parábola, es decir, concentran la radiación solar en dos dimensiones. Aunque el valor máximo teórico de la razón de concentración de un CCP está en torno a 200, en la práctica, los valores usuales de este parámetro están entre 30 a 80 veces. Como consecuencia de la concentración de la radiación solar se produce un calentamiento del fluido que circula por el interior del tubo receptor.

Este tipo de sistemas pueden operar de manera eficiente calentando el fluido que pasa por su interior hasta temperaturas del orden de los 400 °C. A continuación se muestran los principales elementos de este sistema de concentración solar.



Figura No. 2.23 Colectores cilindro-parabólicos de alta temperatura.

Fuente: [http://www.renewableenergyworld.com/assets/images/story/2005/11/1/2126\\_Schott\\_pic.jpg](http://www.renewableenergyworld.com/assets/images/story/2005/11/1/2126_Schott_pic.jpg)

#### 2.4.1.2 CENTRALES DE RECEPTOR CENTRAL O TORRE.

Consisten en un campo de helióstatos (espejos) que siguen la posición del sol en todo momento (elevación y acimut) y orientan el rayo reflejado hacia el foco colocado en la parte superior de una torre.

En la figura se representa este tipo central. En este caso la concentración se realiza en tres dimensiones y no en dos como en las centrales cilindro parabólicas, esto hace que el fluido de trabajo que circula por el receptor puede alcanzar temperaturas por encima de los 500 °C. Los órdenes de concentración son de 200 a 1000 y las potencias unitarias de 10 a 200 MW.

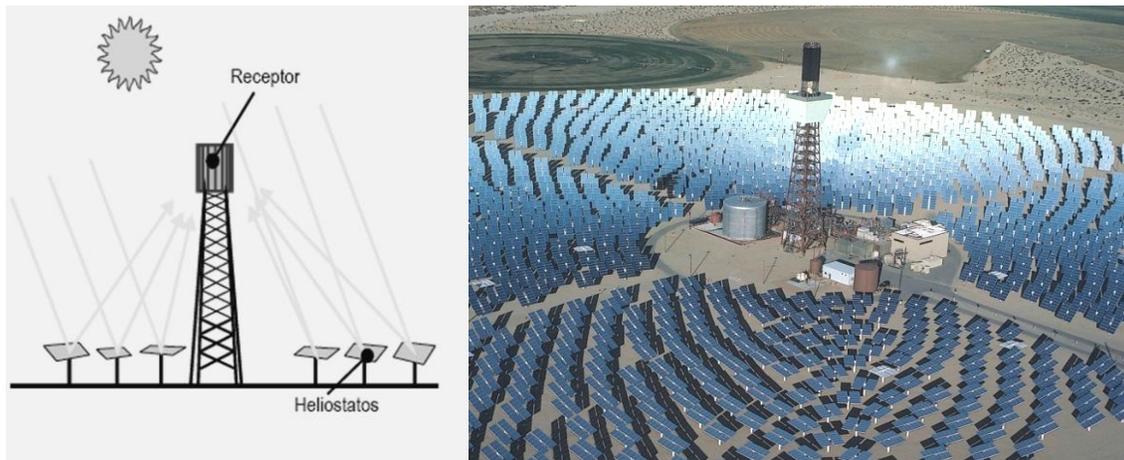


Figura No. 2.24 Centrales termoelectricas de torre central.

Fuente: [http://www.solartechsl.com/images/img\\_temosolar.jpg](http://www.solartechsl.com/images/img_temosolar.jpg)

### 2.4.1.3 CENTRALES DE DISCO PARABÓLICO.

Son pequeñas unidades independiente formadas por un reflector con forma de paraboloide de revolución que concentra los rayos en el receptor situado en el foco del paraboloide y que, a su vez, integra el sistema de generación eléctrica basado en un motor Stirling. Una variante de este tipo de centrales son las que en lugar de un reflector dispone de varios reflectores de modo que el conjunto forma una estructura que se asemeja a un paraboloide de revolución. En la figura se representan ambas posibilidades.

Al igual que en las centrales de receptor central, la concentración se realiza en tres dimensiones e incluso se alcanzan mayores concentraciones, esto permite trabajar con temperaturas de operación aún más elevadas, por encima de los 700 °C. Los niveles de concentración pueden ir desde 1000 hasta 4000 y, para tamaños de disco normales, en torno a los 10 m. de diámetro, las potencias unitarias van de 5 a 25 kWe.

Los sistemas de disco parabólico se caracterizan por su alta eficiencia, modularidad, autonomía de operación y capacidad de hibridación, no sólo con sistemas de energía convencional, sino también con otros sistemas termoeléctricos.

De los tres tipos de CETs, es el sistema que ha alcanzado la mayor eficiencia pico de conversión (29.4%) de radiación solar en energía térmica.

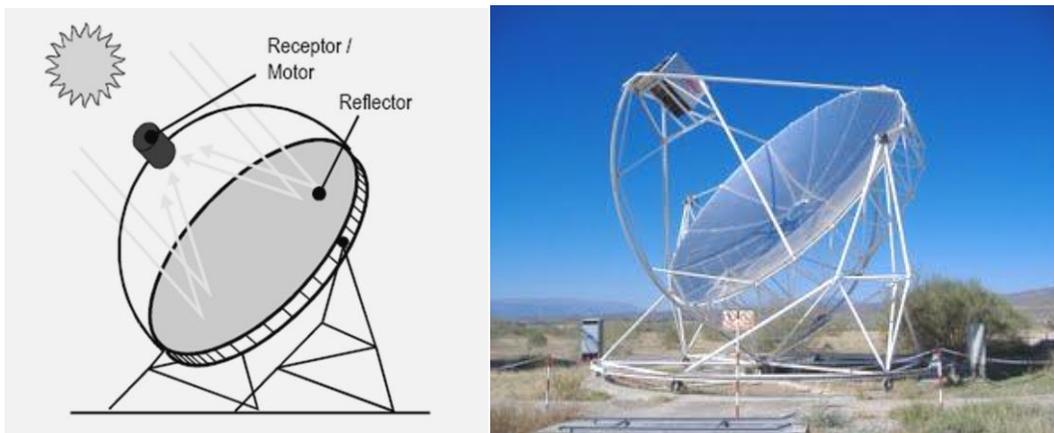


Figura No. 2.25 Centrales de Disco parabólico.

Fuente:

[http://1.bp.blogspot.com/\\_P39PE8mabYM/R7xBn5dj4nI/AAAAAAAAACY/g6AP2rvlvnc/s320/DSCF0982.JPG](http://1.bp.blogspot.com/_P39PE8mabYM/R7xBn5dj4nI/AAAAAAAAACY/g6AP2rvlvnc/s320/DSCF0982.JPG)

### **2.4.2 VENTAJAS DE LAS CENTRALES SOLARES TERMOELÉCTRICAS.**

Las centrales termoeléctricas son capaces de producir electricidad a partir de un recurso inagotable como es el Sol sin emitir emisiones contaminantes. Las principales ventajas de este tipo de central frente a las convencionales se indican a continuación:

A lo largo de la vida útil de una central termoeléctrica se producen emisiones de gases contaminantes asociados a las diferentes actividades relacionadas con la misma, siendo la más evidente las emisiones derivadas de su propio funcionamiento. En este sentido las centrales termoeléctricas (sin hibridación) al emplear como fuente de energía primaria la radiación solar carecen de emisiones y liberan de emisiones contaminantes a la atmósfera. Este panorama es muy distinto al que presentan las centrales termoeléctricas que emplean combustibles fósiles de carbón o derivados del petróleo.

Al ser el Sol la fuente de energía primaria de las centrales termoeléctricas, no existe una extracción de recurso ni un transporte del mismo, realizándose su acondicionamiento en la propia central, de ahí que suelen ocupar grandes extensiones de terreno en el que se ubican los espejos que concentran la radiación solar sobre el receptor para que éste sea capaz de transformar la energía solar en energía térmica. En este sentido, en el caso de las centrales termoeléctricas convencionales, el uso de la fuente energética implica una extracción del recurso que suele tener lugar en yacimientos geológicos de otros lugares o países.

Posteriormente se requiere su transporte para que llegue a la central. Además el recurso debe ser acondicionado para que alcance las características exigidas por la central. Las dos primeras actividades conllevan unos costes sociales (sobreexplotación laboral, etc.), medioambientales (residuos radiactivos, etc.) además de unos riesgos medioambientales (catástrofes de vertidos por hundimiento de barcos, etc.). Por otra parte el acondicionamiento del recurso suele llevarse a cabo en instalaciones adicionales siendo el impacto ambiental de dichas instalaciones elevados, así como el de las infraestructuras de distribución asociadas. Todos estos costos no se computan a la hora de considerar diferencias entre centrales, cuestión ésta que se debería tener en cuenta a la hora de evaluar centrales termoeléctricas desde el punto de vista de un sistema energético responsable que conduzca hacia un desarrollo sostenible.

Existen diversos ejemplos que ponen de manifiesto el rechazo social que supone la construcción de una central termoeléctrica convencional en una zona puesta que la población, en general, las concibe como una amenaza medioambiental y una fuente de residuos que altera el ecosistema y acaba afectando a su entorno de manera negativa.

La percepción general por parte de la sociedad de la bondad de las energías renovables junto a la nula emisión de gases por parte de una central termoeléctrica supondría un completo giro a esta problemática por su elevada aceptación social. El uso de centrales termoeléctricas permite esquemas descentralizados de generación de energía eléctrica que conseguirían evitar pérdidas en el transporte de energía ya que se conseguiría aproximar espacial y temporalmente la producción al consumo. Adicionalmente se aumenta la posibilidad de permitir la cogeneración y, por consiguiente, existiría un aumento en la eficiencia del sistema energético.

Paralelamente un esquema descentralizado de producción eléctrica supondría que las centrales se encontraran más cerca de los usuarios finales concienciándolo en la importancia del ahorro de energía eléctrica, evitando así el actual despilfarro energético.