

Capítulo 3. CENTRALES SOLARES Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

3.1 CENTRALES ELÉCTRICAS TERMOSOLARES¹

Las centrales eléctricas termosolares son instalaciones destinadas a aprovechar la radiación del Sol para generar energía eléctrica. Las plantas de generación termoeléctricas (CET) son sin duda una de las tecnologías energéticas renovables que pueden hacer un aporte considerable de electricidad no contaminante en el mediano plazo. Estas instalaciones producen electricidad casi de la misma forma que las centrales convencionales que queman carbón o petróleo. La diferencia es que obtienen su energía primaria utilizando un campo de espejos concentrando radiación solar y convirtiéndola en vapor o gas a alta temperatura para hacer funcionar una turbina y un generador.

En el siguiente diagrama se muestra el esquema básico de una central termoeléctrica solar.

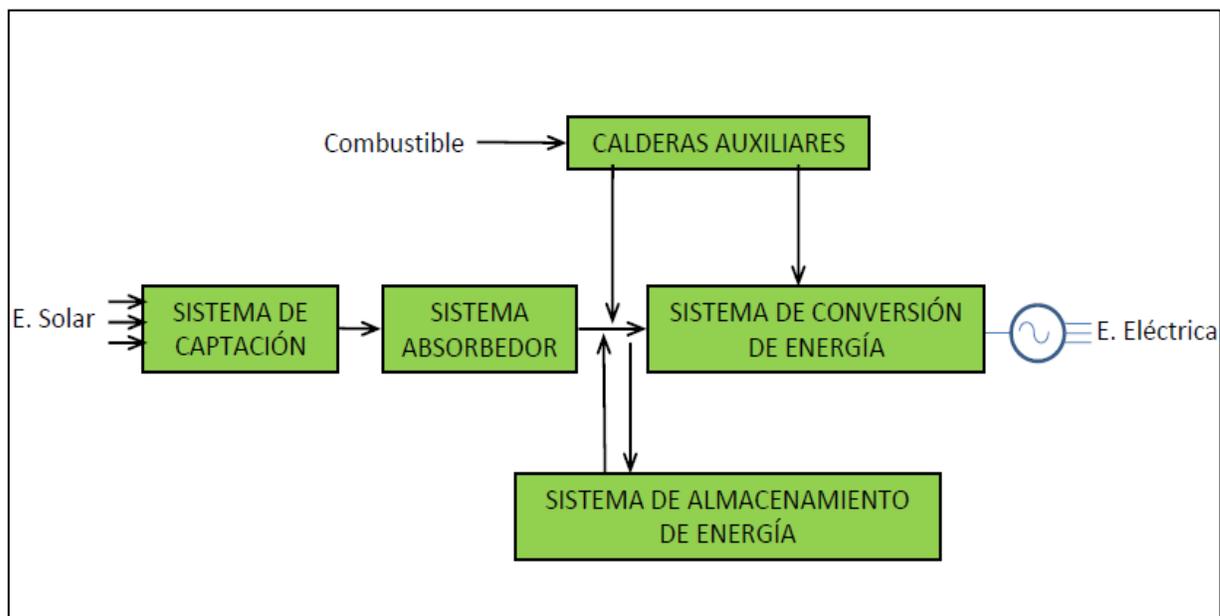


Figura 3.1: Estructura básica de una central eléctrica termosolar.

Fuente: <http://solstice.crest.org/renewables/re-kiosk/solar/>

Habitualmente se usan concentradores solares por reflexión para alcanzar las temperaturas requeridas en la operación de los ciclos termodinámicos. Los tres conceptos de concentración solar más utilizados son:

¹ Optimización Proyectos de Centrales Termosolares, Santiago Sabugal, octubre-noviembre 2009.

Sistemas de Baja y media Concentración (Temperaturas entre 100°C y 400°C)

- *Concentradores cilindro-parabólicos*

Sistemas de Alta Concentración (Temperaturas entre 500°C y 1500°C)

- *Sistemas de torre o de receptor central*
- *Discos parabólicos*

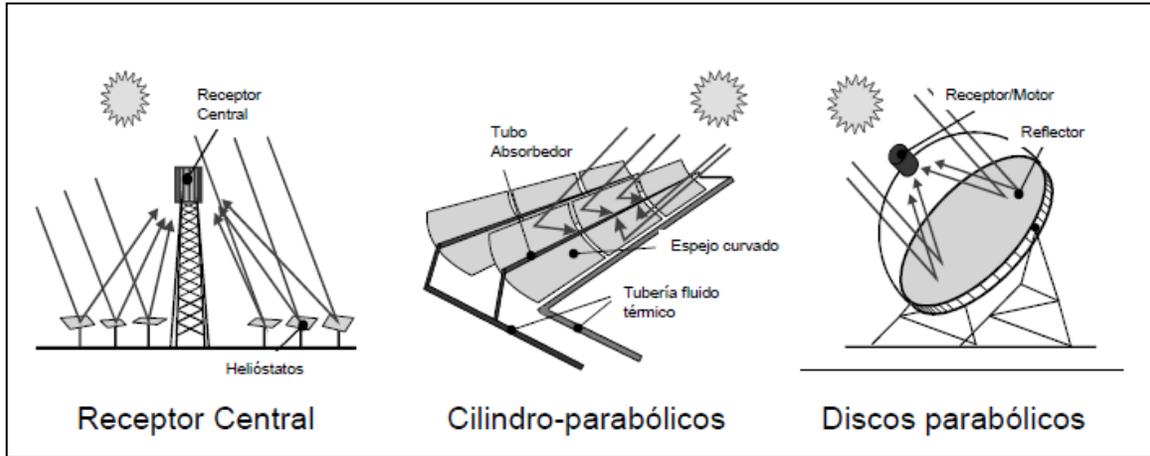


Figura 3.2: Distintas tecnologías termosolares para la generación de electricidad.

Fuente: <http://www.nodo50.org/panc/Ere.htm#sterm>

Con cualquiera de estas tres tecnologías se busca concentrar los rayos solares para poder generar electricidad.

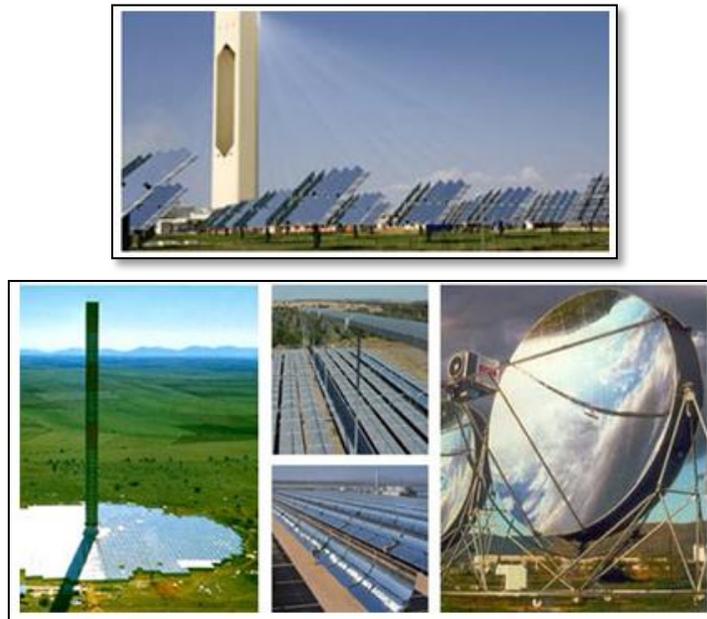


Figura 3.3: Diferentes tecnologías utilizadas en centrales termoeléctricas solares.

Fuente: <http://www.google.com.mx/images?q=discos%20parabolico&rls=com.microsoft:es-mx:IE>

El rendimiento global en generación de electricidad de una central termosolar está alrededor de 16 % y 20 % de eficiencia.

En términos generales todas estas instalaciones solares tienen incorporado un dispositivo que permite almacenar una cierta cantidad de energía en forma de calor para disminuir en lo posible las variaciones que puede presentar la radiación solar a lo largo del día. Más adelante hablaremos de esto con un poco más a detalle.

3.1.1 Central termoeléctrica solar tipo concentrador Cilíndrico-Parabólico (CCP)²

En este tipo de centrales el campo solar lo constituyen filas paralelas de colectores Cilíndricos-Parabólicos (CCP), logrando albergar en cada varios colectores conectados en serie. Cada colector está compuesto básicamente por un espejo cilíndrico-parabólico que refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo receptor colocado en la línea focal de la parábola como se muestra en la siguiente imagen.

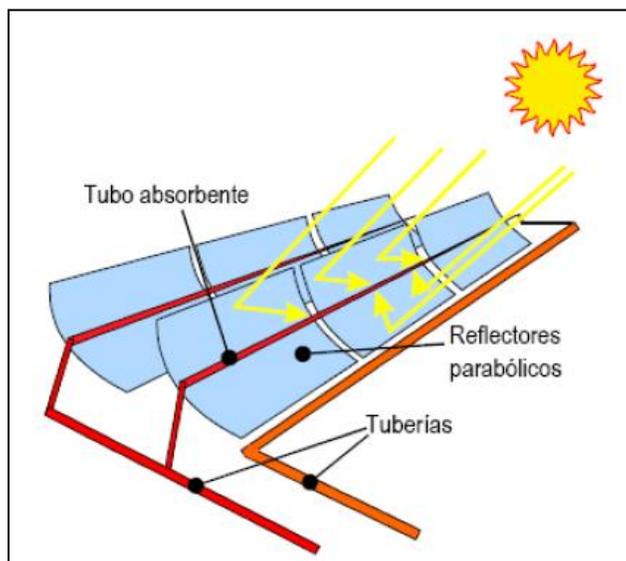


Figura 3.4: Esquema de funcionamiento del Colector Cilíndrico-Parabólico.

Fuente: <http://www.ises.org/International Solar Energy Society>.

Los reflectores de espejo en forma de canal sirven para concentrar luz solar en los tubos del receptor térmicamente eficiente situados en la línea focal del canal. En estos tubos circula un fluido de transferencia del calor, como un aceite térmico sintético. Calentado a unos 400°C por los rayos solares concentrados, se bombea este aceite en una serie de intercambiadores de calor para producir vapor sobrecalentado. Este vapor se convierte en energía eléctrica en un generador de turbina de gas convencional, que puede ser parte de un ciclo de vapor convencional o integrado en una turbina de ciclo combinado de vapor y gas.

² Centrales Energéticas Termosolares de Alta Temperatura Solúcar Energía, S.A.

El campo solar de una central con colectores cilíndricos-parabólicos se compone de decenas de hileras de colectores cilindro-parabólicos con una altura de aproximadamente seis metros y una longitud de varios cientos de metros. A pesar de sus enormes dimensiones, se trata de equipos ópticos de alta precisión alineados con una precisión de menos de un milímetro. Las hileras fluyen en dirección norte-sur y siguen al sol a lo largo del día de este a oeste.

En la imagen siguiente se muestra el esquema básico de la operación de una central eléctrica termosolar de colectores Cilíndricos-Parabólicos (CCP's).

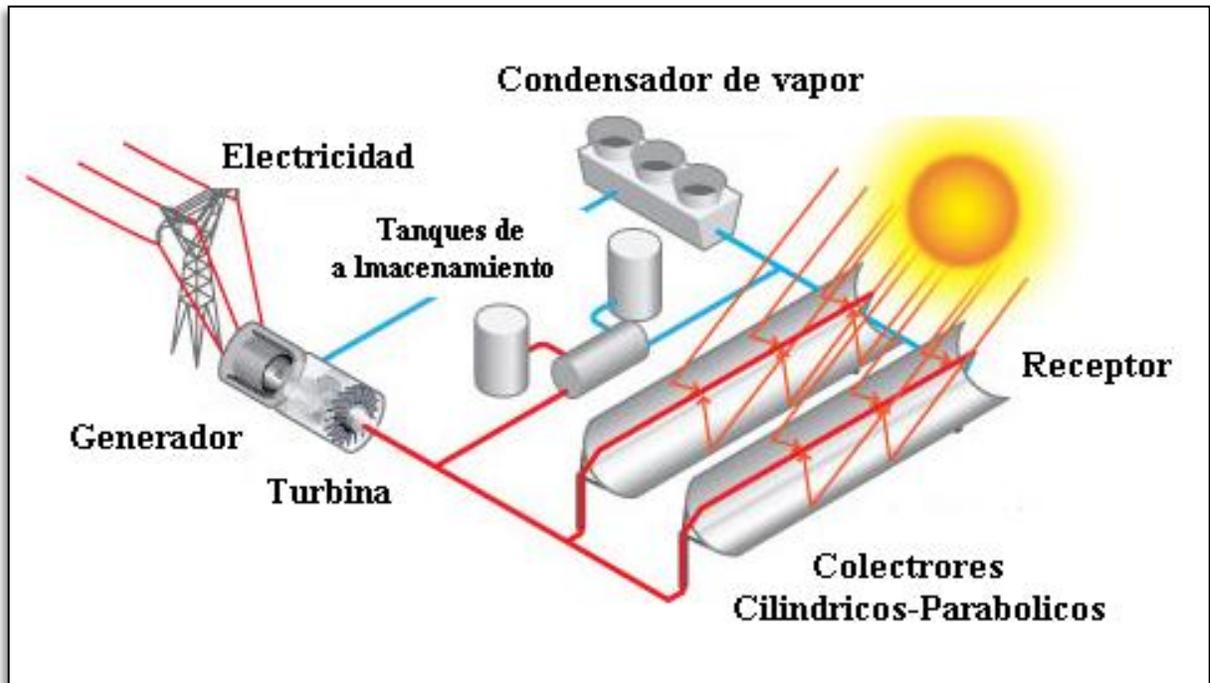


Figura 3.5: Esquema General de una central termoeléctrica solar tipo colectores Cilíndricos-Parabólicos.

Fuente: <http://www.solardev.com/>

Los colectores Cilindro-Parabólicos utilizan un fluido de transferencia de calor que, al circular a través del tubo receptor, absorbe en forma de energía térmica la energía radiante procedente del Sol, y la transporta hasta el bloque de potencia. El tipo de fluido que se utilizan en los colectores cilindro-parabólicos depende de la temperatura a la que se desee calentar. Si las temperaturas son moderadas, es decir, menores que 200° C, se puede utilizar agua desmineralizada o etilenglicol como fluidos de trabajo. En cambio, se utilizan aceites sintéticos en aquellas aplicaciones donde se vayan a utilizar temperaturas elevadas, aproximadamente entre 200° C y 450° C.



Figura 3.6: Concentrador Cilíndrico-Parabólico.

Fuente: http://www.solstice.crest.org/renewables/seia_slrthrm/

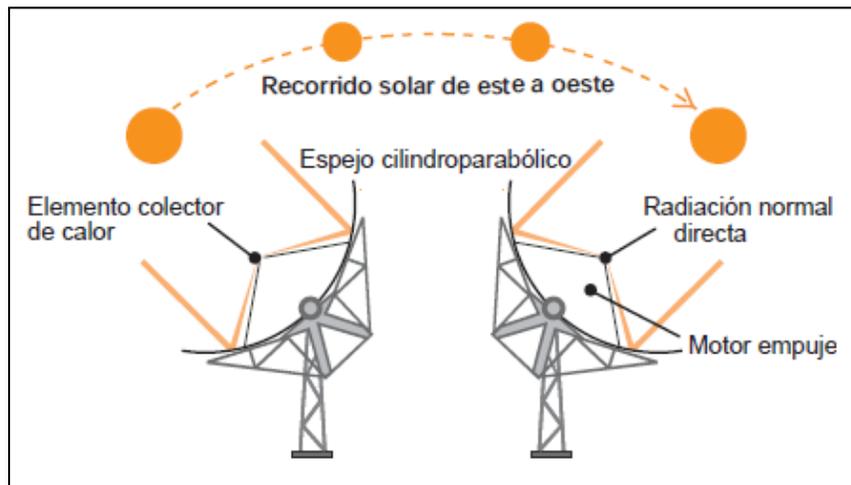


Figura 3.7: Recorrido solar del colector Cilíndrico-Parabólico

Fuente: *Manuales sobre energía renovable: Solar Térmica/*

3.1.1.1 Ventajas, inconvenientes y aplicaciones de la tecnología

Las ventajas principales que presenta este tipo de tecnología son:

- Comercialmente disponible, más de 10.000 millones de kWh de experiencia operacional; operan a una temperatura potencial de hasta 500°C (400°C comercialmente probados).
- Rendimiento anual comercialmente probado del 14% de la producción solar eléctrica a la red.
- Costes de inversión y operación comercialmente probados.

- Mejor empleo del terreno.
- Demanda de material más baja.
- Concepto híbrido probado.
- Capacidad de almacenamiento.

Las desventajas que presenta esta tecnología son:

- El uso de aceites como medios de transferencia de calor restringe las temperaturas de operación a 400°C, lo que origina calidades de vapor moderada.
- Utilización de mucho terreno y agua.

Estas centrales pueden ser conectadas a la red del sistema eléctrico nacional, ya que presentan unidades de generación hasta de 80 MW, lo que representaría una gran aportación al sistema y así poder ayudar a satisfacer las demandas de energía eléctrica en el país.



Figura 3.8: Central termosolar tipo concentradores Cilíndrico-Parabólico.
Fuente: Manuales sobre energía renovable: Solar Térmica/

3.1.2 Central Termoeléctrica Solar Tipo Torre Central.³

Esta central consiste en campo de heliostatos concentra la radiación en un receptor situado en la parte alta de una torre. Por el receptor se hace circular un fluido que se calienta a elevada temperatura, Lo que permite generar vapor. El vapor se utiliza en una turbina para generar electricidad. El número de paneles varía entre 100 y 300, pero en determinadas instalaciones llegar a los 2,000 elementos. Pueden ocupar una superficie de terreno de una hectárea.

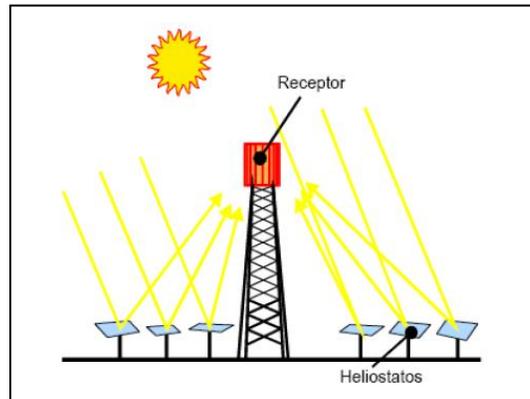


Figura 3.9: Concentrador tipo Torre Central
Fuente: <http://homepage.mac.com/uriarte/maprad.html>

La Figura anterior representa este tipo central, en este caso la concentración se realiza en tres dimensiones y no en dos como en los CCP, 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 3.10: Central termosolar Tipo Concentrador de Torre Central.
Fuente: <http://homepage.mac.com/uriarte/maprad.html>

³ A. Colmenar, Castro, "Energía Solar Térmica de Media y Alta temperatura", PROGENSA, España, 2000.

En este tipo de centrales eléctricas se usa un conjunto circular de grandes espejos de tracción individual para concentrar la luz solar en un receptor central montado en lo alto de una torre de altura comprendida entre 60 y 100 metros, el cual aloja el horno solar en su parte más alta. Un medio de transferencia de calor en este receptor central absorbe la radiación altamente concentrada reflejada por los heliostatos y la convierte en energía térmica para ser usada en la generación subsiguiente de vapor sobrecalentado para el funcionamiento de la turbina. Los medios de transferencia de calor usados hasta ahora incluyen agua/vapor, sales fundidas, sodio líquido y aire. Si se presuriza un gas o incluso aire en el receptor, puede usarse alternativamente para hacer funcionar una turbina de gas (en lugar de producir vapor para una turbina de vapor).

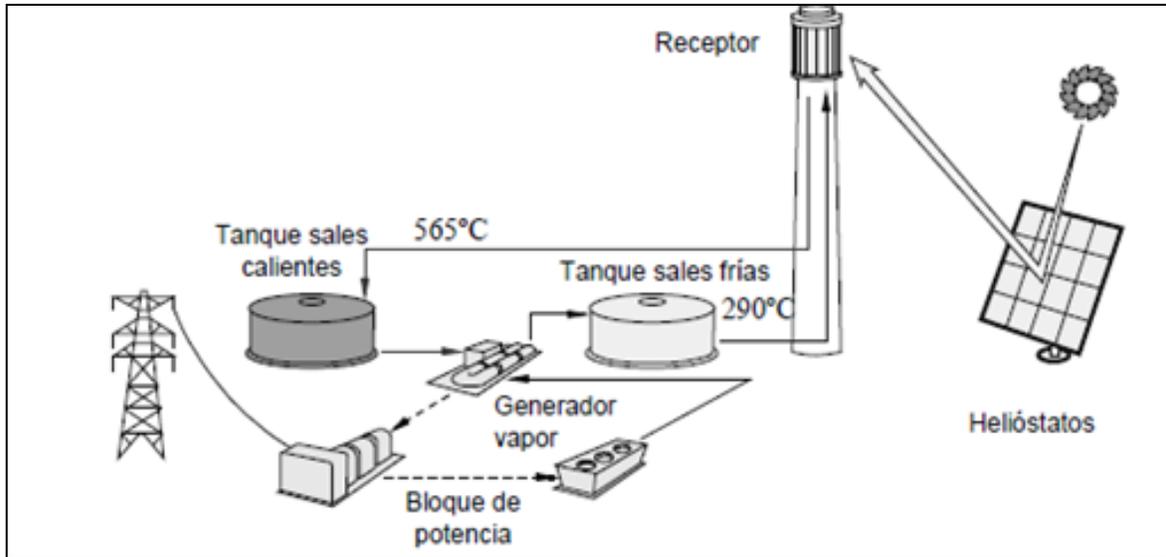


Figura 3.11: Esquema general de una central termoeléctrica solar tipo torre central.

Fuente: <http://homepage.mac.com/uriarte/maprad.html>

El receptor tiene una serie de tubos por los que circula un fluido primario (agua, sodio, sales fundidas o aire) que transmite la energía recibida a un fluido secundario que, convertido en vapor, acciona una turbina. En algunas instalaciones, es el propio fluido primario quien, convertido en vapor por efecto de la radiación solar, acciona directamente la turbina, sin necesidad del fluido secundario. En determinadas centrales, el fluido primario transmite la energía previamente al dispositivo de almacenamiento, y luego se sigue el ciclo termodinámico tradicional.

Con esta tecnología se pueden conseguir elevadas temperaturas, del orden de 2000 °C, con los que se puede obtener energía calorífica aplicable a la transformación en energía mecánica, que no pueden realizar otros sistemas de concentración más sencillos.

La orientación de los paneles reflectores se encarga a un ordenador que determina el ángulo que deberá tomar cada uno de ellos, dependiendo de la incidencia de la luz en su superficie; de esta forma todos los heliostatos proyectan el máximo de luz sobre la zona de la torre donde se encuentra ubicado el elemento a calentar.

Las partes más importantes de este tipo de centrales son:

- *Helióstatos:* Tienen la función de captar la radiación solar y dirigirla hacia al receptor. Están compuestos por una superficie reflectante, una estructura que le sirve de soporte, y mecanismos que permiten orientarlo para ir siguiendo el movimiento del sol. Las superficies reflectantes más empleadas actualmente son de espejos de vidrio.
- *Fluido portador de calor:* Es el dispositivo que transfiere el calor recibido a un fluido de trabajo, que puede ser agua, sales fundidas, etc. Este fluido es el encargado de transmitir el calor a la otra parte de la central termosolar, generalmente a un depósito de agua, obteniéndose vapor a alta temperatura para producción de electricidad mediante el movimiento de una turbina.
- *Torre:* Sirve de soporte al receptor, que debe situarse a cierta altura sobre el nivel de los helióstatos con el fin de evitar, o al menos reducir, las sombras y los bloqueos.
- *Caldera:* Es la parte de la central solar en la que convergen los rayos solares reflejados por los helióstatos, alcanzando una gran temperatura. Al alcanzar esa gran temperatura, calienta el agua que pasa por ella y la transforma en vapor.
- *Acumulador:* Almacena la energía calorífica que no ha sido utilizada, ejemplo de los clásicos termos de agua caliente, para su posterior empleo en ausencia de radiación solar.

La central eléctrica termosolar de torre central es el sistema de colector solar por concentración, más adecuado para la generación de energía eléctrica de elevada potencia, tiene capacidad para proporcionar potencias del orden de los megavatios, esto los hace especialmente apropiados para aplicaciones industriales.

A pesar de que este sistema mejora su rendimiento con respecto a otros colectores de concentración y fotovoltaicos, tiene por el contrario una menor confiabilidad, debido al gran número de heliostatos que hay que controlar (que actúan independientemente mediante su propio sistema) y por tanto su mantenimiento se hace más complicado.

3.1.2.1 Ventajas, inconvenientes y aplicaciones de la tecnología

Ventajas:

- Una vez realizada la instalación y hecha la inversión inicial, no se originan gastos posteriores (a excepción del mantenimiento); el consumo de energía eléctrica es totalmente gratuito.
- No usa combustibles, eliminando la incomodidad de tener que aprovisionarse y el peligro de su almacenamiento.
- Impacto ambiental nulo: la energía solar no produce desechos, ni residuos, basuras, humos, polvos, vapores, ruidos, olores, etc.

- Buenas perspectivas a medio plazo de altas eficiencias de conversión con colección solar operando a temperaturas de hasta 1000°C potenciales (565°C probados a 10MW).
- Almacenamiento a altas temperaturas.
- Operación híbrida posible.

Inconvenientes:

- Necesidad de instalar la central en zonas donde se perciba la radiación solar durante más horas diarias y más días al año.
- Menor rendimiento que otros sistemas.
- Mayor complejidad mecánica que otros sistemas de aprovechamiento de energías renovables.
- Peligro por las altas temperaturas que se alcanzan.
- Necesidad del empleo de acumuladores de calor para cuando no exista la suficiente radiación solar.
- Valores de rendimiento anual proyectados, costes de inversión y operación todavía no vistos en operación comercial.

Estas centrales pueden también pueden ser conectadas a la red del sistema eléctrico nacional gracias a su proceso que alcanza altas temperaturas, con unidades de generación hasta de 10 MW.

3.1.3 Central termoeléctrica solar tipo Disco parabólico Stirling.⁴

Esta tecnología termosolar consiste en tener concentradas un gran número de 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.

⁴ ENERGIA SOLAR TERMOELÉCTRICA, *European Solar Thermal Power Industry Association (ESTIA)*



Figura 3.12: Concentrador solar de Disco-Stirling.

Fuente: <http://www.el-universal.com.mx/notas/598046.html>

3.1.3.1 Configuración de la tecnología

Los sistemas Disco-Stirling son adecuados para la generación descentralizada de energía eléctrica a partir de la energía solar y generalmente tienen una capacidad de 10 a 50 kW cada uno. Su concentrador parabólico sigue al sol continuamente, reflejando los rayos paralelos entrantes sobre su zona focal. El intercambiador de calor solar situado en la zona focal del concentrador absorbe la radiación solar concentrada, calentando el medio portador de calor (helio o hidrógeno). Un motor Stirling convierte este calor en energía mecánica, que es a su vez transformada en energía eléctrica por un generador acoplado directamente al eje del motor.

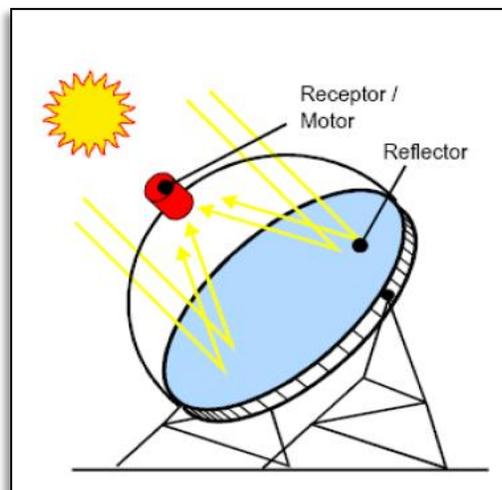


Figura 3.13: Esquema funcional de sistema Disco Parabólico.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Costo-beneficio>

Los principales componentes de un Sistema Disco-Stirling son:

- Concentrador parabólico.
- Motor Stirling.
- Sistema de seguimiento solar.

El concentrador es uno de los elementos claves del sistema Disco-Stirling. El concentrador de nuestro sistema de 10 kW tiene con un diámetro de 8,5 m. Se compone de facetas tipo “sándwich” fabricadas de plástico reforzado con fibra de vidrio. Se fijan espejos de vidrio delgado a la superficie con pegamento, garantizando una alta reflectividad permanente del 94%.



Figura 3.14: Concentrador solar Disco Parabólico.
.Fuente: <http://www.blogenergiasrenovables.com/>

El motor Stirling lleva acoplado un alternador, de manera que dentro de un mismo bloque situado en el foco del disco concentrador se realiza la transformación de la energía luminosa en electricidad que se puede inyectar en la red eléctrica ó bien destinarla a consumo directo en alguna aplicación próxima al lugar de emplazamiento.



Figura 3.15: Motor Stirling montado en un concentrador solar de Disco Parabólico.
.Fuente: <http://www.solarviews.com/span/sun>

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 termosolares.

Los discos parabólicos han evolucionado tanto en EEUU como en Europa hacia la construcción de unidades autónomas conectadas a motores Stirling situados en el foco. Los sistemas disco/Stirling han demostrado la mayor eficiencia de conversión de radiación solar en energía eléctrica con valores máximos del 30 % y hasta un 25 % de promedio diario en unidades de 7 a 25 kW. Debido a la curvatura parabólica del concentrador y a la baja relación distancia focal/diámetro ($f/D = 0,6$), se pueden conseguir altas relaciones de concentración por encima de 3.000. Esto permite alcanzar muy altas temperaturas de operación entre 650 y 800 °C, dando lugar a eficiencias en el motor Stirling del orden del 30 al 40 %.

3.1.3.2 Ventajas, inconvenientes y aplicaciones de la tecnología

Ventajas:

- Eficiencia de conversión muy alta máxima de solar a eléctrica de aproximadamente un 30%.
- Los sistemas disco-Stirling destacan por su implantación modular y alto rendimiento, sin consumo de agua asociado.
- Operación híbrida posible.
- Experiencia operacional de los primeros prototipos.

Inconvenientes:

- Fiabilidad tiene que mejorar
- Todavía por conseguir los costes proyectados de producción en masa.

Esta tecnología tiene aplicaciones independientes o pequeños sistemas aislados, la unidad mayor construida hasta la fecha es de 25 kW.



Figura 3.16: Central eléctrica termosolar tipo colector disco Stirling.
Fuente: <http://www.instalacionenergiasolar.com/energia/radiacion-solar.html>

3.1.4 Central termosolar tipo CCP con almacenamiento térmico ⁵

La tecnología de colectores cilindro parabólicos tiene la variante para almacenar energía térmica de forma que pueda ser utilizada en períodos de no-insolación. El almacenamiento térmico implica sobredimensionamiento del campo solar y aumento del factor de capacidad anual de la planta. En condiciones de insolación buena, un campo de colectores cilindro parabólicos tiene un factor anual de capacidad del 25%. Con almacenamiento térmico, este factor de capacidad se puede incrementar hasta el 50% o incluso más.



Figura 3.17: Central termosolar con almacenamiento térmico (Andasol, España).
Fuente: www.SolarMillennium.de

⁵ Fuente: www.SolarMillennium.de

3.1.4.1 Sistema de almacenamiento térmico

Desde el punto de vista de la producción de la energía eléctrica, un sistema solar debe dar una salida estacionaria, independientemente de la variabilidad de la radiación solar. Para ello se hace necesario el uso de un sistema de almacenamiento, que permita al bloque de potencia trabajar de forma continua y prevenir los riesgos derivados de las citadas oscilaciones en la radiación solar directa.

Un almacenamiento térmico fiable y de buen rendimiento es una condición básica para introducir los sistemas de producción de electricidad a media temperatura en el mercado. En general, la economía, el rendimiento y las estrategias de operación se ven beneficiadas por su presencia. Es destacable que casi todas las experiencias con plantas termosolares disponen de algún sistema de almacenamiento.

3.1.4.2 Almacenamiento en un único tanque

El almacenamiento en un único tanque puede utilizar la opción de fluido de trabajo único, haciendo uso del efecto termoclino, o puede emplear un material de relleno dentro del tanque al que se le transfiera la energía térmica, y en ese caso se denomina almacenamiento en tanque dual.

3.1.4.3 Almacenamiento en un único tanque con efecto termoclino

El almacenamiento en termoclino se basa en la estratificación que se produce en el tanque por diferencia de densidad del fluido de trabajo, al existir diferentes niveles de temperatura. El funcionamiento es en doble ciclo, carga y descarga. La carga se produce extrayendo el fluido frío de la parte baja del tanque y calentarlo en el campo solar, de donde se envía de nuevo, ya caliente, a la parte alta del tanque. Al ser menos denso, quedará en la parte fría sin mezclarse. El proceso continúa hasta que termina de cargarse completamente. El proceso de descarga consiste en sacar el fluido caliente de la parte alta y, una vez enfriado, devolverlo a la parte baja del tanque. El proceso de carga y descarga se puede realizar simultáneamente manteniendo unos caudales y temperaturas semejantes en ambos procesos o creando previamente una reserva que permita extraer más de lo que entra.

Con objeto de que el fluido no se mezcle al entrar en el tanque con el que ya está dentro, es muy importante que exista un difusor en la entrada de la parte alta que distribuya en fluido entrante sobre la capa superior del fluido ya almacenado, de tal forma que no se cree ninguna perturbación que origine una mezcla no deseada. Igualmente, la toma inferior de donde extrae la bomba correspondiente, debe ser tal que no se cree ningún remolino en la masa de fluido que pueda provocar pérdida de la estratificación.

Este sistema es válido para fluidos con baja conductividad térmica, como pueden ser el agua, el aceite, y las sales fundidas a baja temperatura, que son capaces de mantener su estratificación natural en depósitos adecuadamente diseñados.

3.1.4.4 Almacenamiento en dos tanques

Este sistema tiene dos tanques aislados térmicamente (tanque caliente y tanque frío) de tal manera que el volumen de cada uno sea tal que pueda contener la totalidad del fluido de trabajo. En este caso se puede trabajar a alta temperatura y a presión atmosférica o más elevada que ésta. Durante la carga, se llena el tanque caliente con el fluido de trabajo procedente del campo solar, y se vacía el tanque frío, de donde sale el fluido que alimenta el campo solar. En la descarga, el fluido caliente cede su energía para posteriormente introducirse en el tanque frío.

El almacenamiento en dos tanques es imprescindible cuando se está utilizando un fluido de conductividad térmica relativamente elevada, como son el sodio y las sales fundidas.

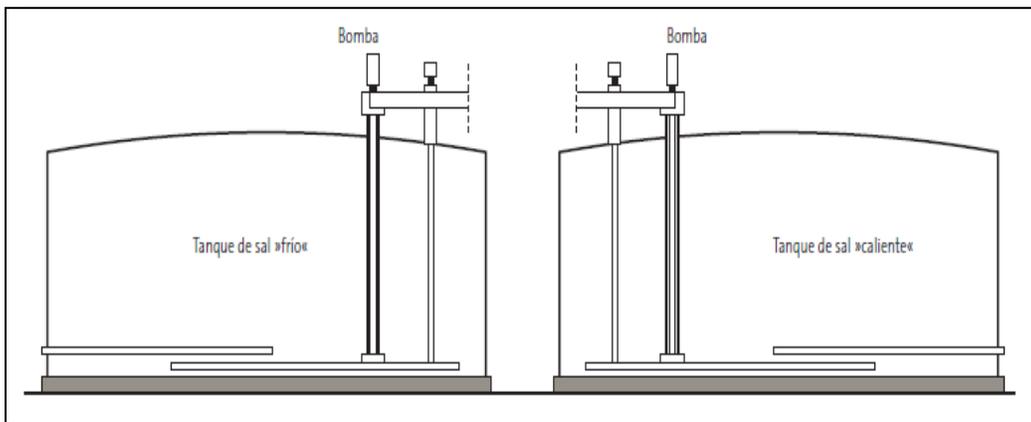


Figura 3.18: Almacenamiento térmico en dos tanques.

Fuente: www.SolarMillennium.de

3.1.4.5 Almacenamiento térmico utilizando aceite

Este tipo de almacenamiento fue el que implementó la primera de las plantas SEGS (Winter et al., 1990). El sistema disponía de 3260 m³ de aceite mineral Caloría HT-43, que se almacenaba en dos tanques, uno frío, a 241°C, y uno caliente, a 307 °C. La capacidad total de almacenamiento era de 118.9 MW_{th}, lo que le permitía hacer funcionar el alternador durante dos horas y media aproximadamente a plena carga, 14.7 MW. Los tanques estaban fabricados de acero al carbono y tenían un aislamiento térmico de fibra de vidrio de 12 cm de espesor. Este sistema estuvo funcionando hasta 1999, cuando un incendio lo destruyó. El aceite mineral es muy inflamable, y ya no se usó más en las posteriores plantas SEGS, que operaban a mayores temperaturas.

Hubo además otras razones que influyeron en que este tipo de sistemas no volviera a utilizarse en una planta de aceite, tales como la inversión total, las exigencias de un tanque de gran tamaño y su poca flexibilidad.

3.1.4.6 Almacenamiento térmico utilizando sales fundidas

Por sus características, estos sistemas de almacenamiento pueden ser utilizados en plantas de CCP's siendo una de las líneas de investigación más activas.

La solución más viable en la actualidad, para aplicar a plantas solares de CCPs, es la del almacenamiento indirecto en dos tanques de sales fundidas. El esquema básicamente consiste en hacer circular fluido portador de calor a través del campo de colectores, para posteriormente transferir su energía térmica, a través de un cambiador de calor, a sales fundidas calientes, en un tanque de almacenamiento térmico. Cuando el ciclo de potencia está parado, se hace recircular el flujo de sales hacia el cambiador de calor para recalentar el fluido de transferencia térmica. En caso contrario, el sistema se comporta como un generador de vapor convencional.

Otro desarrollo innovador consiste en emplear una sal fundida a menor temperatura como fluido de transferencia de calor. Esto permite utilizar el mismo fluido en el campo solar y en el sistema de almacenamiento, dando lugar a un sistema de almacenamiento directo y eliminando la presencia de un costoso cambiador de calor intermedio. Además, el campo solar puede operar a más altas temperaturas, incrementando el rendimiento del ciclo de potencia y reduciendo el costo del almacenamiento térmico.

Por último, proyectos recientes llevados a cabo por la universidad de Alabama y el NREL están investigando la posibilidad de utilizar, tanto en el campo de colectores como en el almacenamiento térmico, nuevos fluidos conocidos como sales orgánicas (o líquidos iónicos). Las sales orgánicas son similares en muchos puntos a las sales inorgánicas, que históricamente son las que se han utilizado en las aplicaciones solares. Su principal ventaja es que muchas de estas sales son líquidas a temperatura ambiente. Además, se pueden sintetizar de forma artificial de manera que cumplan los requisitos necesarios para la aplicación solar a la que se destinan.

El desarrollo de un sistema de almacenamiento viable y de bajo coste es esencial para la tecnología de colectores cilindro parabólicos. Ahora mismo parece que la tecnología con menor riesgo tecnológico en proyectos a corto plazo es la de almacenamiento indirecto en dos tanques de sales fundidas; aunque existen muchas otras tecnologías en investigación que podrían mejorar notablemente el costo y el funcionamiento del almacenamiento térmico.⁶

3.1.4.7 Funcionamiento de la central termosolar con almacenamiento en dos tanques

Una central termoeléctrica solar de colectores cilindros-parabólicos con almacenamiento de energía térmica se compone esencialmente de tres aéreas:

- El campo colector de radiación solar con el circuito de fluido térmico.
- El sistema de almacenamiento.

⁶ *Almanza, Rafael, "Ingeniería de la Energía Solar II", Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 2003*

- El bloque de potencia con turbina, generados y circuito de refrigeración.

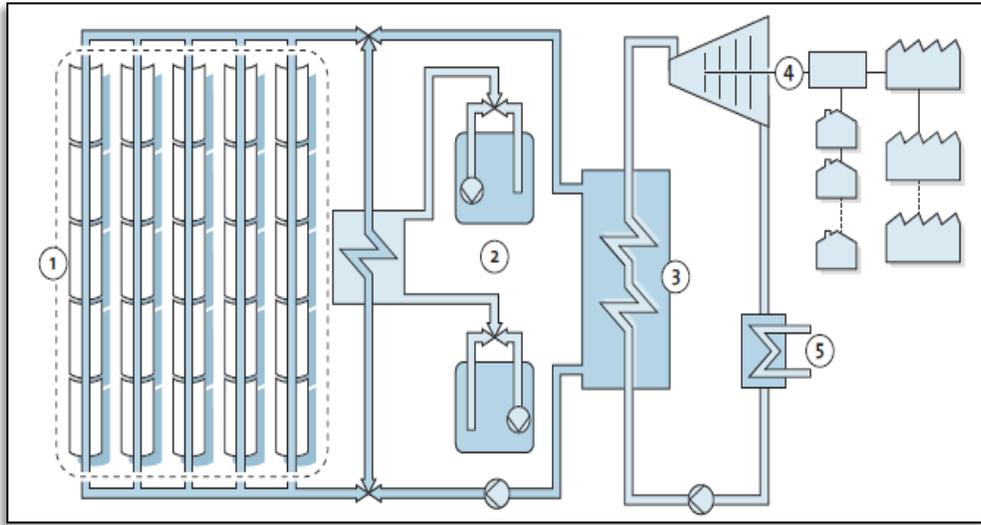


Figura 3.19: Esquema básico de una central termosolar tipo CCP con almacenamiento térmico.

Fuente: www.SolarMillennium.de

- 1.-Campo solar.
- 2.- Acumulador.
- 3.-Intercambiador de calor.
- 4.-Turbina y generador eléctrico.
- 5.-Condensador.

El proceso y funcionamiento de una central termoeléctrica solar de colectores Cilíndricos-Parabólicos a lo largo de un día es el siguiente:

1.- Por la mañana

Después de la salida del Sol, los colectores empiezan a seguir al sol. Los espejos cilíndricos- parabólicos concentran los rayos del sol a tubos absorbedores por los cuales circula un aceite sintético resistente a la temperatura como medio de transferencia de calor .Este fluido a su vez transfiere su energía térmica a cambiadores de calor .El vapor producido allí impulsa la turbina y el generador conectado produce electricidad.

2.- Durante el medio día

En las horas de alta irradiación el campo solar suministra suficiente energía para producir electricidad y cargar el almacenamiento al mismo tiempo. El sistema de almacenamiento térmico esta relleno con una sal liquida. El sistema de dos tanques se compone de un deposito caliente de unos 380 °C y un deposito frio de unos 280 °C. Al cargar el almacenamiento se bombea salfria al tanque caliente por un cambiador de calor aceite/sal.

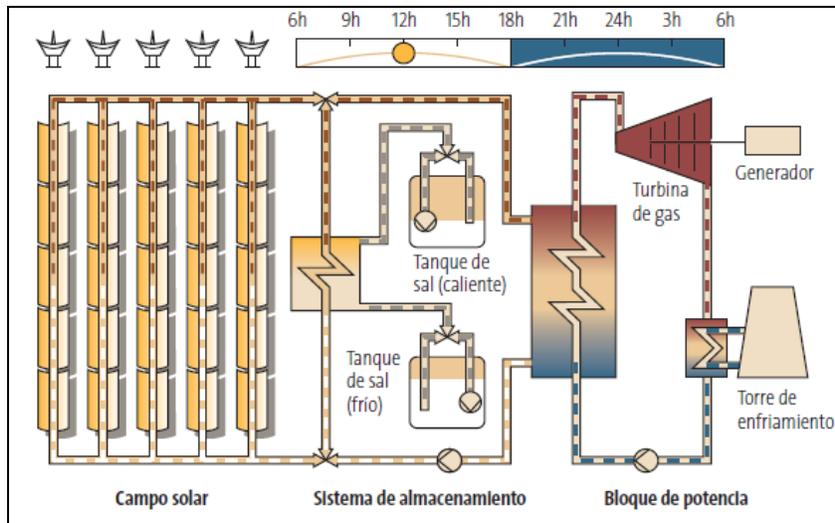


Figura 3.20: Funcionamiento de la central termosolar tipo CCP con almacenamiento térmico durante el medio día.

Fuente: www.SolarMillennium.de

3.- Por la tarde y en horas de cielo cubierto

Por la tarde o en horas de cielo nublado, el campo solar junto con el almacenamiento térmico puede suministrar la energía necesaria para la operación de la turbina. Para esto la sal caliente bombea al depósito frío devolviendo la energía térmica al circuito de aceite.

4.- Por la noche

Después de la puesta de sol la energía térmica se suministra exclusivamente por el sistema de almacenamiento. Con el dimensionamiento correspondiente de almacenamiento y campo solar se puede operar la central hasta 24 horas con energía solar.

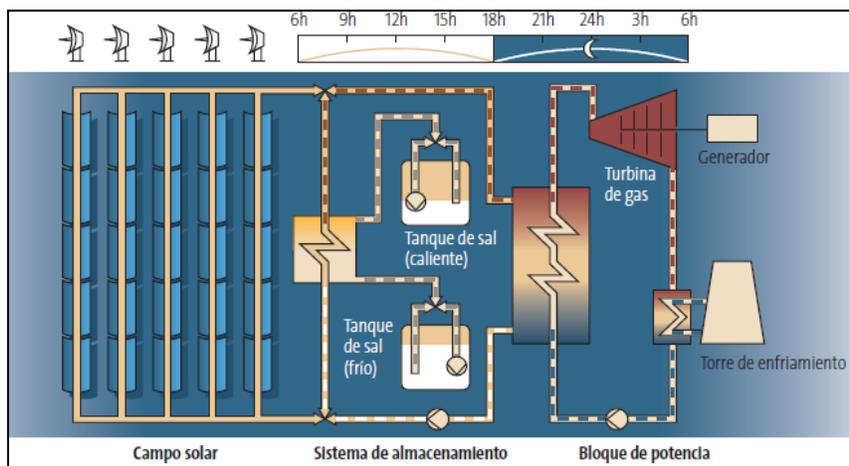


Figura 3.21: Funcionamiento de la central termosolar tipo CCP con almacenamiento térmico durante la noche.

Fuente: www.SolarMillennium.de

El calor requerido para tal fin se almacena en una mezcla de sales líquidas compuesta por un 60% de nitrato de sodio (NaNO_3) y por un 40% de nitrato de potasio (KNO_3). Ambas sustancias se utilizan como conservantes en la producción de alimentos o bien como abonos, entre otros. Cada central termoeléctrica dispone de un acumulador de sal líquida que trabaja a presión atmosférica y que incluye dos tanques, de 14 [m] de altura y de 36 [m] de diámetro cada uno. Al bombear la mezcla de sal líquida (tiene una temperatura inicial de aproximadamente 290 °C) del tanque "frío" al tanque "caliente", la misma absorbe calor adicional hasta alcanzar aprox. 390 °C. La energía térmica almacenada en los tanques puede accionar la turbina para un periodo de 7.5 horas.

La transferencia de calor en la central se lleva a cabo por medio del sistema HTF (Fluidos térmicos intercambiables) el cual consiste en transportar el calor captado por los concentradores cilindro parabólicos hasta el ciclo agua-vapor, para que este pueda generar vapor con el que accionar la turbina.

A continuación mencionaremos algunas de las características más importantes del sistema de almacenamiento.

- Está diseñado para almacenar aproximadamente 1000 MWh
- Se necesitan unas 28,800 toneladas de sales.
- La carga térmica se lleva a cabo en 7.7 horas con un intercambio térmico HTF -sales de 131 MW.
- La descarga del almacenamiento para vaciar el tanque caliente en 8.5 horas con un intercambio térmico de 119 MW.
- Se bombea un caudal de sales del tanque frío al caliente de 935 kg/s aproximadamente. Y de descarga del caliente de 847 kg/s. Pasando el HTF de 287 °C a 379 °C.
- Los intercambiadores, válvulas y tuberías disponen de traceado eléctrico para evitar la congelación de las sales.
- Los tanques disponen de resistencias eléctricas en la zona central y en el suelo.
- En caso de parada larga hay un sistema de recirculación de sales en el tanque frío para evitar su estratificación.
- El depósito de drenajes, recoge los drenajes de las tuberías e intercambiadores y los devuelve al tanque frío.

Las perspectivas de precio de este tipo de tecnología son mayores que las de las centrales de torre o los paraboloïdes debido a la baja concentración solar. No obstante, con la experiencia en la operación de estas plantas, las continuas mejoras tecnológicas y las reducciones en los gastos de mantenimiento, esta tecnología es la menos costosa a un corto plazo. Estas centrales presentan un grado alto de rentabilidad. Esto se debe a que: los acumuladores suministran una electricidad fiable durante las 24 horas del día.

3.1.4.8 Proyectos de sistemas de almacenamiento en plantas Termosolares⁷

Para sistemas de producción de electricidad con sistemas solares de concentración, la presencia de un sistema de almacenamiento tiene ventajas adicionales a las de evitar los problemas de la variabilidad de la radiación solar. En general, la economía, el rendimiento y las estrategias de operación se ven beneficiadas por su presencia.

Los ejemplos más importantes se enumeran en la tabla siguiente.

Proyecto (Ubicación)	Tipo	Medio de almacenamto	HTF en el campo solar	Temperatura nominal (°C)		Sistema de almacenamto	Volumen del tanque (m ³)	Capacidad térmica (MWh _{th})
				Fría	Caliente			
Sistema de riego (Coolidge, AZ, EEUU)	CCP	Aceite	Aceite	200	228	1 tanque. Efecto temocline	114	3
IEA-SSPS (Almería, España)	CCP	Aceite	Aceite	225	295	1 tanque. Efecto temocline	176	5
SEGS I (Dagget, CA, EEUU)	CCP	Aceite	Aceite	240	307	Tanque frío Tanque caliente	- -	120
IEA-SSPS (Almería, España)	CCP	Aceite Hierro colado	Aceite	225	295	1 tanque. Almacenamto dual	100	4
Solar One (Barstow, CA, EEUU)	Receptor central	Aceite / Tierra / Roca	Vapor	224	304	1 tanque. Almacenamto dual	3460	182
CESA-1 (Almería, España)	Receptor central	Sal Líquida	Vapor	220	340	Tanque frío Tanque caliente	200 200	12
THEMIS (Targasonne, Francia)	Receptor central	Sal Líquida	Sal Líquida	250	450	Tanque frío Tanque caliente	310 310	40
Solar Two (Barstow, CA, EEUU)	Receptor central	Sal Líquida	Sal Líquida	275	565	Tanque frío Tanque caliente	875 875	110

Tabla 3.1: Experiencias de sistemas de almacenamiento en plantas termosolares.

Fuente: Pilkington Solar International GmbH, 2000–adaptado

Como se puede apreciar, tanto en las aplicaciones de media temperatura con CCP's como en las de alta temperatura con receptores centrales, las únicas realizaciones prácticas a escala semi-industrial utilizan sistemas almacenamiento en forma de calor sensible ya que, tanto el almacenamiento en forma de calor latente como el almacenamiento termoquímico se encuentran todavía en fase de experimentación.

⁷ Fuente: Pilkington Solar International GmbH, 2000–adaptado

3.1.5 Central termoeléctrica solar tipo CCP híbrida ISCC

Las plantas híbridas consisten en centrales térmicas normales como pueden ser de ciclos combinados, pero lo que se consigue al hibridarlas es que parte de la energía necesaria para calentar el vapor proceda del Sol, con el consiguiente ahorro de combustible y de emisiones, gracias a esta combinación se aúnan las ventajas de las térmicas de combustibles de poder producir energía de forma constante y de las térmicas solares, coste del combustible cero. Puesto que los campos solares inyectan la energía calorífica a un sistema de central térmica convencional a base de una turbina de vapor, se pueden integrar sin problemas.

Esta configuración no es exclusiva de los colectores cilindro parabólicos, también se ha llevado a cabo en sistemas de receptor central. El esquema básico que se sigue en estos sistemas es utilizar el calor generado en el campo solar para producir el vapor que alimenta el ciclo de Rankine integrado en un ciclo combinado.

El concepto general que se aplica en estos sistemas es el de sobredimensionar la turbina para hacer frente a incrementos en la producción de vapor. Aproximadamente, se duplica la capacidad de la turbina de vapor, utilizando el calor solar para la evaporación del agua, y el calor residual de los gases de escape de la turbina de gas en el precalentamiento y sobrecalentamiento.

Cuando no se dispone del recurso de la energía solar, la turbina de vapor debe funcionar a carga parcial, lo que supone una importante reducción del rendimiento. Si además se duplica la capacidad de la turbina, esto significaría funcionar incluso a un 25% del punto de diseño. Si se añade que la energía solar sólo está disponible un 25% del tiempo, el factor de capacidad en plantas de este tipo, sin almacenamiento y funcionando como centrales base, sería del 10%. Con almacenamiento térmico se podría duplicar la contribución solar a la producción de electricidad. Cuanto más sobredimensionada esté la turbina, mayor será el impacto de trabajar en condiciones fuera de diseño.

La configuración de sistema solar integrado en ciclo combinado (Integrated Solar Combined-Cycle System, ISCCS) mejora la rentabilidad de las plantas de CCP, ya que el incremento de coste que acompaña al incremento de tamaño de la turbina de vapor integrada en el ciclo combinado es bastante menor que si se tratara de un ciclo de Rankine únicamente. Sin embargo, aunque esta configuración representa un menor coste para la planta, los riesgos tecnológicos de este nuevo desarrollo son todavía elevados.

3.1.5.1 Funcionamiento de la central

El funcionamiento de una planta híbrida de ciclo combinado-solar, es semejante al de una planta de ciclo combinado convencional. El combustible se quema normalmente en la cámara de combustión de la turbina de gas. A los gases de escape que se dirigen al recuperador de calor, se les añade el calor proveniente del campo solar, resultando en un aumento en la capacidad de generación de vapor y consecuentemente un incremento de producción de electricidad en la turbina de vapor.

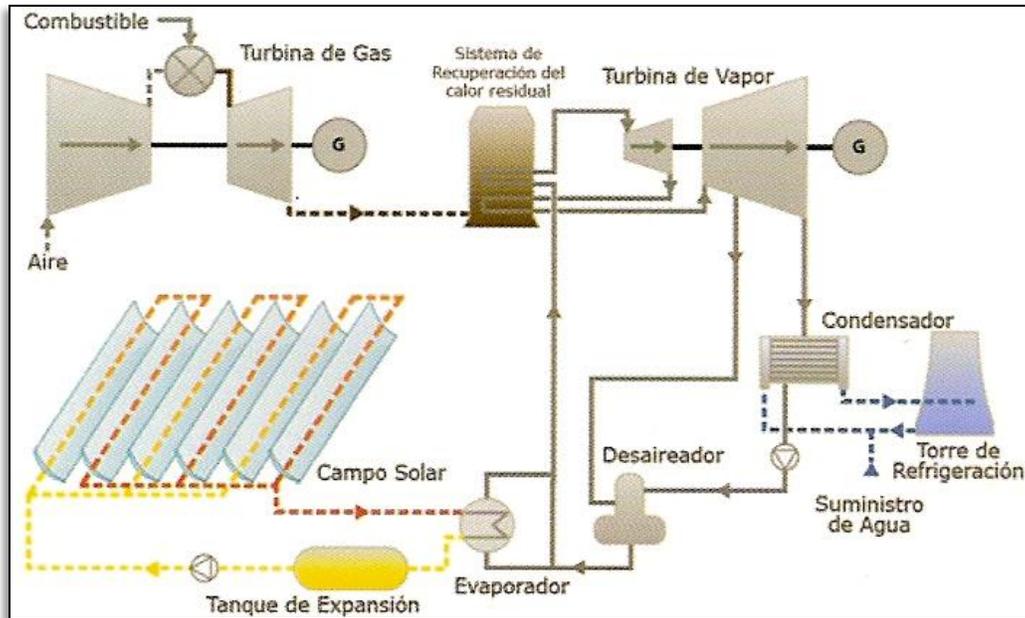


Figura 3.21: Esquema de funcionamiento planta ISCC.

Fuente: <http://www.asit-solar.com/>

3.1.5.2 Requisitos básicos para la instalación de una ISCC.

A la hora de instalar plantas solares híbridas de ciclo combinado, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- *Topografía:* La zona debe ser llana, preferiblemente con una pendiente inferior al 1%.
- *Irradiación:* El aislamiento directo normal (DNI) debe ser tan alto como sea posible.
- *Disponibilidad de agua:* Se necesita agua para refrigerar el bloque energético.
- *Transmisión eléctrica:* Se requieren líneas eléctricas y capacidad de transmisión para que la energía solar pase de la planta al consumidor.

3.1.5.3 Ventajas de una central ISCC

- Un mejor aprovechamiento de las turbinas y con ello un mejoramiento en el funcionamiento de la central térmica en su conjunto.
- Una tarifa eléctrica más baja

- Para la oferta de radiaciones solares ocasionalmente fluctuante, un almacenamiento intermedio de menor coste en comparación con la técnica de acumuladores de sal fundida mediante un ciclo alimentado con combustible fósil.
- La técnica híbrida permite claramente la competitividad frente a las centrales térmicas convencionales.

3.1.6 Centrales eléctricas termosolares en el Mundo

Desde hace algunos años atrás la utilización de la energía solar ha sido contemplada para la generación de electricidad.

En la tabla siguiente mostramos las primeras centrales eléctricas termosolares instaladas en el Mundo:

Nombre	Ubicación	Capacidad MW	Tipo	Fluido transferencia de calor	Entrada en servicio
Aurelios	Adrano, Sicilia	1	Torre	Vapor de agua	1981
SSPS/CRS	Almería, España	0.5	Torre	Sodio	1981
SSPS/DCS	Almería, España	0.5	CCP	Aceite	1981
Sunshine	Nio, Japón	1	Torre	Vapor de agua	1981
Solar one	California , E.U	10	Torre	Vapor de agua	1982
Themis	Tangassonne, Francia	2.5	Torre	Sal fundida	1982
CESA-1	Almería, España	1	Torre	Vapor de agua	1983
MSEE	Albuquerque, E.U	0.75	Torre	Aceite	1984
SEGS-1	California, E.U	14	CCP	Hidrogeno	1984
Vanguard 1	E.U	0.025	Disco Parabólico	Hidrogeno	1984

Tabla 3.2: Primeras centrales eléctricas termosolares en el Mundo.

Fuente: <http://erenovable.com/>

3.2 OTROS TIPOS DE CENTRALES ELÉCTRICAS SOLARES⁸

3.2.1 Central termoeléctrica solar tipo Fresnell

Una de las nuevas formas de aprovechamiento térmico de la energía solar es el concentrador lineal tipo Fresnell que se destaca por la sencillez de su construcción y por su bajo coste.

La tecnología Fresnell utiliza reflectores planos, simulando un espejo curvo por variación del ángulo ajustable de cada fila individual de espejos, en relación con el absorbedor.

Los reflectores se construyen con espejos de vidrio normales, por lo tanto su materia prima es muy barata. La forma curvada de los espejos cilindro parabólicos hace que sean un 15% más eficientes que los espejos Fresnell, pero con el ahorro de costes de construcción y diseño se compensa el precio.

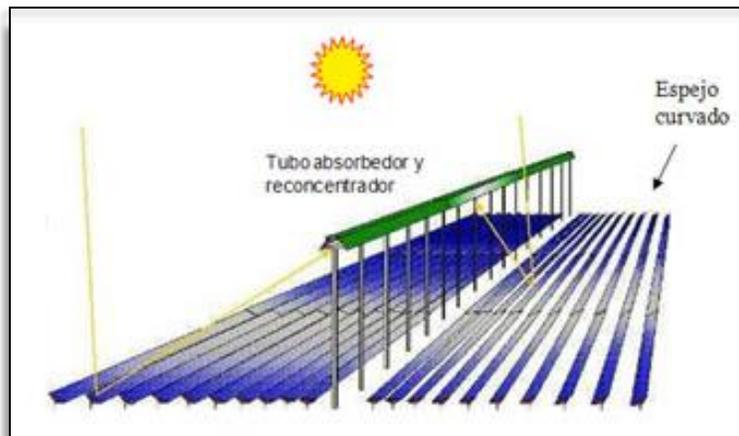


Figura 3.22: Esquema de funcionamiento de la tecnología Fresnell.

Fuente: reflexionesenergeticas.blogspot.com

3.2.1.1 Evolución y Funcionamiento de la tecnología Fresnell

Los sistemas Fresnell tuvieron lugar en los años 90 en la compañía Solar mundo en Bélgica, y en la Universidad de Sídney en Australia. Los diseños se basaron en la cavidad del absorbedor y en el grado de aprovechamiento ocupado por los reflectores.

Uno de los proyectos recientes es la planta con un sistema Fresnell en Almería, España. Consiste principalmente en un campo de espejos primario, un tubo absorbedor y un espejo secundario. El campo primario contiene 25 filas de espejos planos sobre el terreno, cada uno de 100 metros de largo por 60 cm de ancho, que reflejan los rayos del sol en un tubo absorbedor de 100 metros de largo colgado varios metros por encima del campo principal. Por encima del tubo absorbedor hay un espejo secundario que concentra la luz solar restante en el tubo absorbedor lineal.

⁸ Centrales Energéticas Termosolares de Alta Temperatura Solúcar Energía, S.A.

Los espejos se controlan por motores eléctricos que hacen un seguimiento de la posición del sol, la luz solar se centra en el tubo absorbedor de la manera más eficiente.

Los espejos paralelos enfocan la energía irradiada por el sol en un tubo, colocado a 8 metros por encima de los espejos. El agua fluye a través de este tubo de absorción, que se calienta a temperaturas de hasta 450 °C. Esto produce vapor (como en una central térmica convencional), que se convierte en energía eléctrica en una turbina de vapor. Debido al pequeño tamaño de los espejos permite que sean menos sensibles al viento.

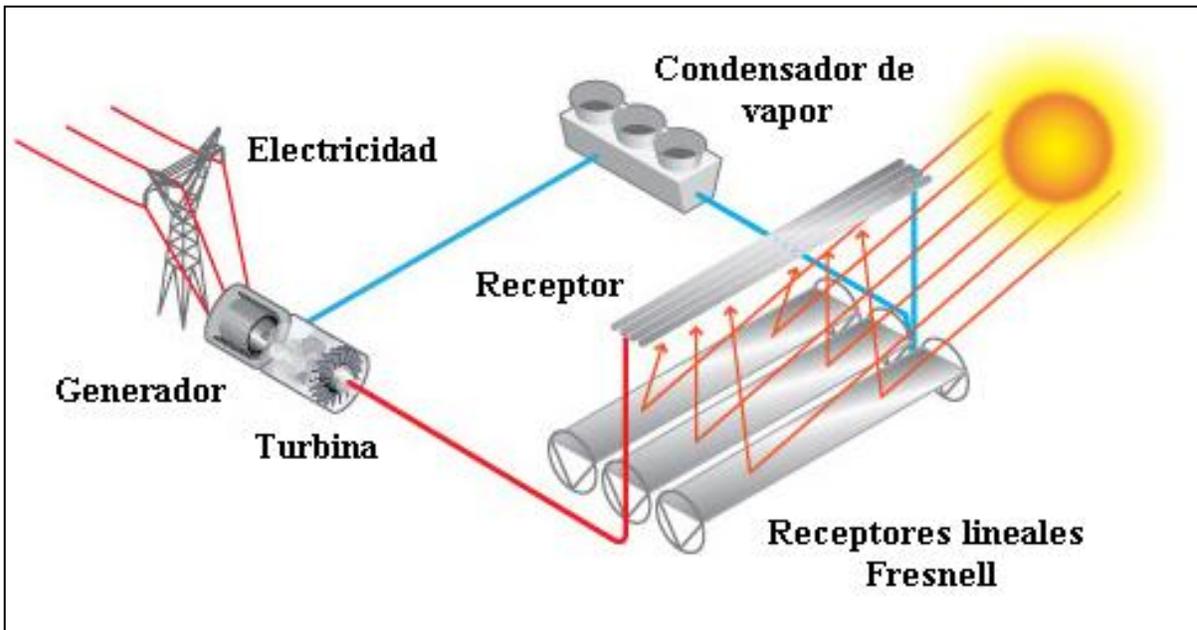


Figura 3.23: Diagrama de una central eléctrica con colectores solares tipo Fresnell.

Fuente: http://www.lageneraciondelsol.com/secciones/lomasbasico/conocelaenergia/energia_sol.asp

Como los reflectores se construyen con espejos de vidrio normales son baratos y la pérdida de un 15% de eficiencia respecto a cilíndrico-parabólicos queda más que compensada por el ahorro de costes de construcción y diseño se compensa el precio.

3.2.1.2 Ventajas de utilizar sistemas Fresnell

Una característica de la tecnología Fresnell es que el absorbedor está separado de los concentradores, se mantiene fijo y no tiene partes móviles. Por lo tanto lo hace más económico.

- Los concentradores se instalan a nivel del piso, reduciendo la carga del viento y son más fáciles para mantener y limpiar.
- El vapor se genera directamente y no se requiere de intercambiadores de calor.
- Capacidad de producción escalable.
- Construcción automatizada de los componentes clave.

- Sin emisiones de CO₂.
- Poco consumo de agua.
- Utiliza menos espacio que otras tecnologías debido a que no necesita un terreno perfectamente llano.

Al ser tan económica su construcción, materia prima y mantenimiento ha despertado el interés de varias compañías.



Figura 3.24: Vista aérea de una planta de Fresnel, Murcia, España.

Fuente: reflexionesenergeticas.blogspot.com

3.2.2 Central eléctrica fotovoltaica conectada a la red⁹

Una central Eléctrica fotovoltaica es una instalación que produce energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos, que debidamente convertida y transformada se vende en su totalidad a la red eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica constituyen una de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica que más atención está recibiendo en los últimos años, dado su elevado potencial de utilización en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica.

Las plantas fotovoltaicas son construidas cercanas a la demanda eléctrica y son muchos más fáciles de construir, de instalar y de expandirse en la medida en que la demanda se incrementa. A lo anterior se le añade la ventaja de que no consumen combustibles fósiles, no contaminan el aire ni el agua y además de todo son silenciosas

El uso de sistemas fotovoltaicos para generación de electricidad es una práctica cada vez más común en el ámbito internacional. Durante los últimos 30 años el desarrollo tecnológico en este campo ha permitido una reducción en el costo de los módulos fotovoltaicos comerciales, a la par de un incremento cercano al 200%

⁹ APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR, Área de Medio Ambiente y Sanidad Agencia Energética, www.pamplona.es

en su eficiencia. Un dato que puede servir como referencia para dimensionar el nivel de penetración de esta tecnología en estos últimos años son los más de 1,200 MW de potencia pico instalada a nivel mundial.



Figura 3.25: Campo solar fotovoltaico.

Fuente: <http://erenovable.com/>

3.2.2.1 Configuración de una central de energía solar fotovoltaica conectada a la red

Los sistemas de generación de electricidad solar fotovoltaicos están compuestos por paneles fotovoltaicos que se encuentran conectados a la red eléctrica convencional a través de un inversor, por lo que se produce un intercambio energético entre la red eléctrica y el sistema fotovoltaico. Así, el sistema inyecta energía en la red cuando su producción supera el consumo local, y extrae energía de ella en caso contrario

El generador fotovoltaico capta la radiación solar y la transforma en energía eléctrica, que en lugar de ser almacenada en baterías, como en los sistemas aislados e híbridos, se puede utilizar directamente en el consumo o entregarla a la red eléctrica de distribución. Estas dos funciones las realiza un inversor de corriente directa a corriente alterna especialmente diseñado para esta aplicación.

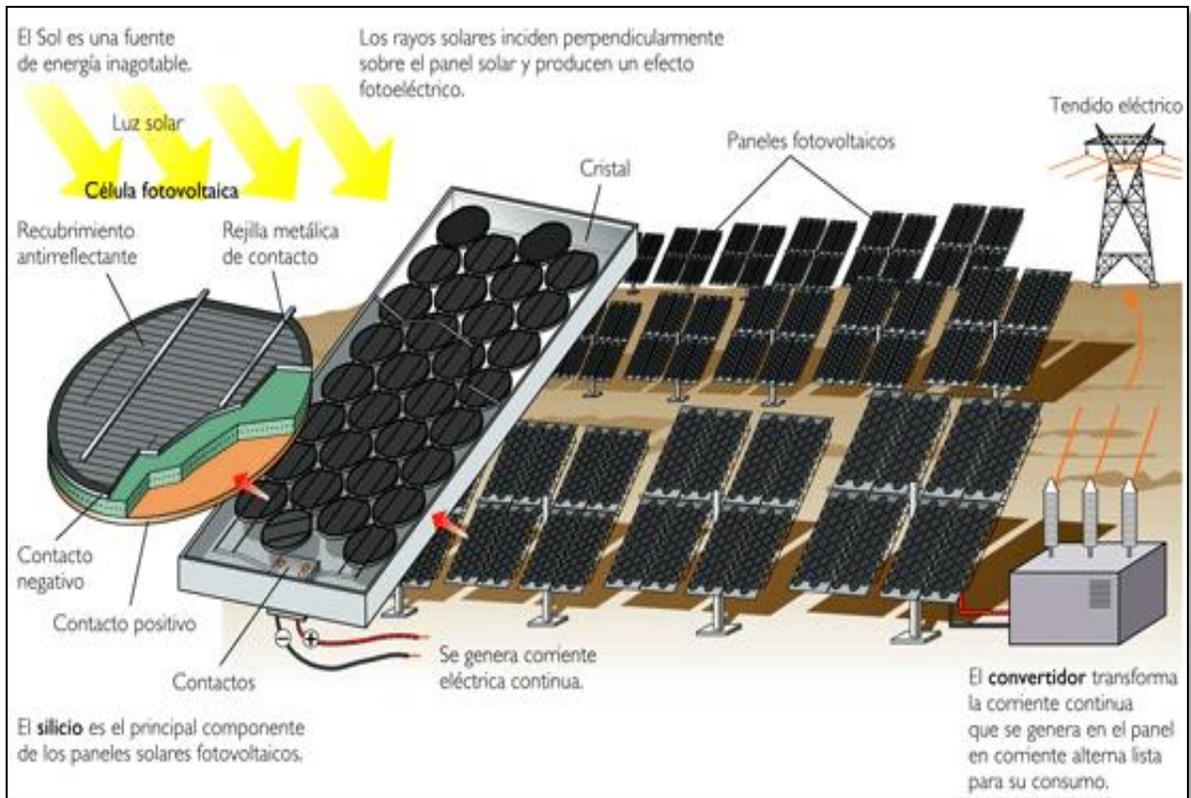


Figura 3.26: Esquema de funcionamiento de una central solar fotovoltaica conectada a la red.

Fuente: <http://erenovable.com/>

Es conveniente incluir inmediatamente del inversor, un transformador para aislamiento, un interruptor automático de desconexión, para cuando la tensión de la red está fuera de márgenes y el correspondiente contador, para medir la energía eléctrica inyectada en la red.

Las partes principales de una central solar fotovoltaica conectada a la red son:

- **Estructura de soporte:** conjunto de elementos que permiten la sujeción de los paneles. La estructura puede ser fija o con seguimiento solar, consiguiéndose unos incrementos de producción de hasta el 30%.
- **Generador fotovoltaico:** Es el conjunto de paneles fotovoltaicos que se encargan de convertir la energía del sol, en electricidad en forma de corriente continua. Existe varios tipos de panel fotovoltaico, con diversas configuraciones y distintos resultados estéticos.
- **Convertidores o inversores:** Se encargan de convertir la corriente continua producida en los paneles a electricidad alterna con el mismo formato que la que consumimos en nuestras casas.
- **Cuadros de protección:** Conjunto de elementos que garantizan la seguridad de la instalación, así como la protección del sistema ante fallos eléctricos, anomalías de red.

- **Sistema de Contaje:** permite contabilizar la electricidad vendida a la red, para posteriormente facturarla a la compañía eléctrica.

El concepto de inyección a red tiene un amplio margen de aplicaciones, desde pequeños sistemas de pocos kilowatts (kW) de potencia instalada hasta centrales de varios megawatts pico (MW).

Entre las principales ventajas de estos sistemas se pueden mencionar las siguientes:

- No producen contaminación ni efecto nocivo.
- Son sistemas modulares: permiten inversiones de forma progresiva.
- Los costos de operación y mantenimiento son incomparablemente inferiores a los de las termoeléctricas.

3.3 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ELECTRICIDAD A BASE DE ENERGÍA SOLAR

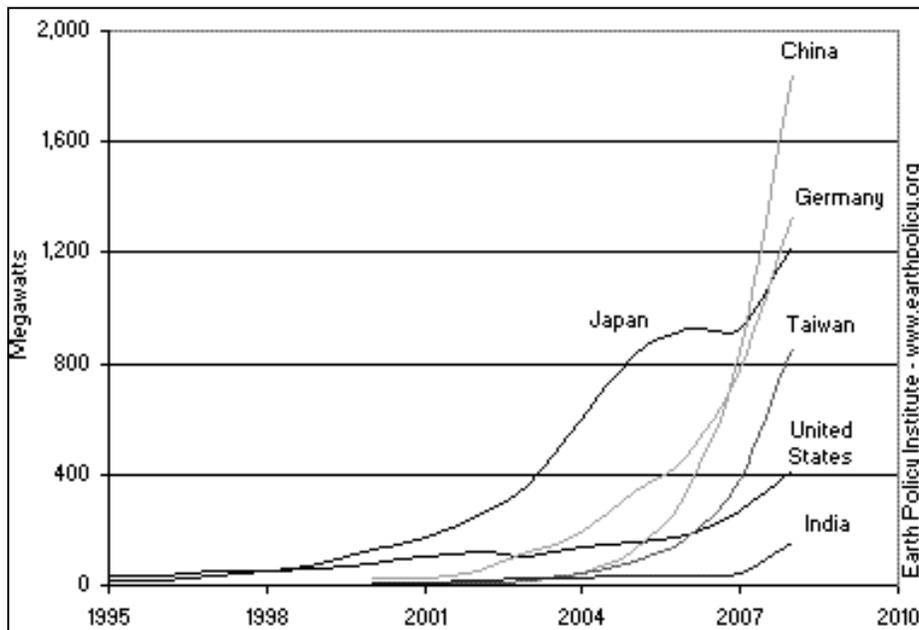
En estos últimos años, se está produciendo un aumento notable de instalaciones de energía solar térmica y fotovoltaica a causa, por una parte, de la sensibilidad creciente de la sociedad desarrollada hacia la necesidad de sustituir los combustibles fósiles y, por otra, de los avances en los sistemas para mejora de la calidad y reducción de costos.

3.3.1 Producción mundial de energía solar fotovoltaica

Esta tecnología está ganando participación de mercado en países donde existen incentivos financieros respaldados por el gobierno, específicamente en Alemania, donde existe una tarifa de estímulo que contribuye a solventar las desventajas económicas derivadas del alto costo de la tecnología para energía renovable. La aplicación de dicha tarifa ha generado una expansión importante en el uso de energía solar fotovoltaica. Por otra parte, el gobierno de Japón se ha establecido el objetivo de que hacia 2030 el 30% de todos los hogares dispongan de paneles fotovoltaicos.

No se espera que durante los próximos años los precios de la energía eléctrica generada con celdas fotovoltaicas pueda ser completamente competitiva con los precios de la energía generada con tecnologías convencionales.

Aunque esta tecnología para convertir luz del Sol en electricidad fue desarrollada en los Estados Unidos, Japón tomó el liderazgo rápidamente en su producción, sobrepasada solamente estos últimos años por China y Alemania.



Gráfica 3.1: Evolución de generación de electricidad con energía Solar fotovoltaica en algunos países.

Fuente: <http://www.mityc.es/Desarrollo/Seccion/EficienciaEnergetica/Estrategia/>

La producción anual china se elevó súbitamente de 40 MW en 2004 a 1,848 megavatios en 2008, casi cinco veces la producción de los Estados Unidos.

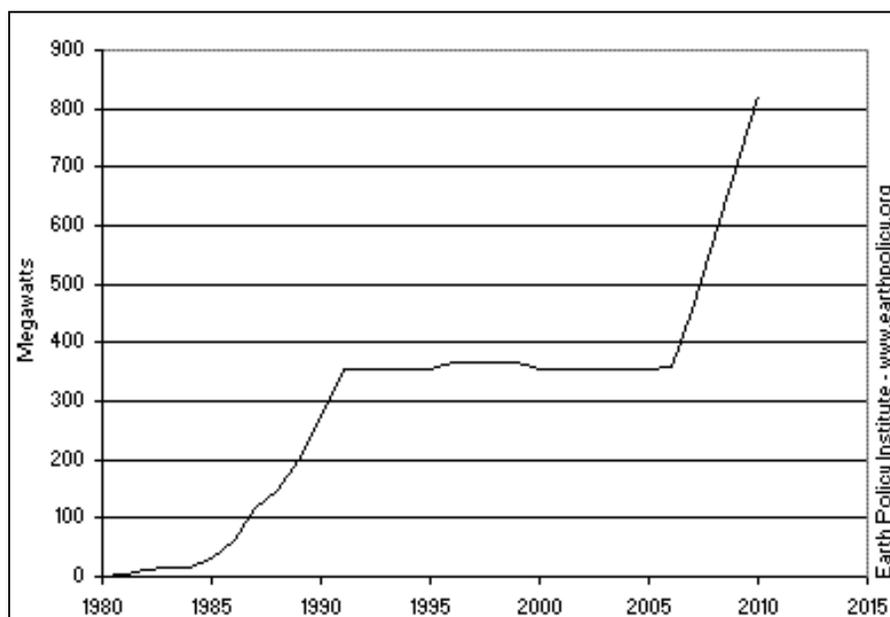
A finales de 2009, el mundo tenía un total acumulado de 15,000 MW en instalaciones fotovoltaicas. Aunque Alemania está lejos de ser el país más soleado del mundo, las políticas del gobierno le han hecho líder global en energía fotovoltaica, con una capacidad instalada de 5,308 MW.

Otros países con grandes instalaciones solares son España con 3,223 MW, Japón con 2,149 MW, y los Estados Unidos con 1,173 MW.

3.3.2 Producción mundial de energía termoeléctrica solar¹⁰

La energía termosolar es la nueva gran protagonista de la revolución energética. Las plantas termosolares están siendo orientadas para competir con la generación de electricidad al por mayor, especialmente la proveniente de plantas que operan en horario punta, de las que se espera que su competitividad aumente en la medida que las tecnologías de almacenamiento térmico mejoren, como resultado del abatimiento de costos y en función de que se lleve a cabo la adopción generalizada de políticas claras para la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Desde 2006, la capacidad mundial ha crecido de 450 MW hasta un total de 820 MW, suficientes para abastecer 156,000 hogares estadounidenses un año.



Gráfica 3.2: Evolución de la capacidad mundial para generar electricidad con tecnología termosolar.

Fuente: <http://ar.kalipedia.com/kalipediamedia/ingenieria/media/200708/22/tecnologia/>

¹⁰ Centrales Energéticas Termosolares de Alta Temperatura Solúcar Energía, S.A.

España está a la cabeza de la rápida expansión en los últimos años de esta industria, con 14,231 MW en proyectos, de los cuales 132 MW ya generan electricidad.

Solamente en los Estados Unidos, los proyectos que se están desarrollando exceden los 10,000 MW, veinte veces más que la capacidad de las plantas que están actualmente en funcionamiento y en construcción.

Actualmente en los E.U.A la capacidad total termosolar instalada es de 400 MW y se estima que hacia 2030 crecerá a 859 MW.

Como ya lo habíamos mencionado anteriormente la tecnología termosolar con mayor utilización en el mundo es la de colectores Cilíndricos-Parabólicos.

3.3.3 Prospectiva en el uso de la energía solar a nivel mundial¹¹

Para el 2015 la capacidad total instalada de centrales eléctricas termosolares habrá alcanzado los 5,000 MW. Para el 2020 la capacidad adicional estaría aumentando a razón de casi 4,500 MW al año. Para el 2020, la capacidad total instalada en el mundo de energía solar térmica habrá alcanzado 21,540 MW.

La energía solar térmica habrá alcanzado una producción anual de más de 54.6 TWh. Esto es equivalente a más de un tercio de la demanda eléctrica de Australia.

Los cinco países más prometedores en términos de los objetivos o potenciales gubernamentales de acuerdo con el escenario, cada uno con más de 1.000 MW de proyectos de solar térmica esperados para el 2020, son España, Estados Unidos, México, Australia y Sudáfrica.

Durante el período actual y hasta el 2020 se evitaría la emisión total de 154 millones de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, lo que supondría una importante contribución a los objetivos internacionales de protección del clima. Se ha hecho también una proyección del potencial de expansión del mercado de la energía solar térmica en otras dos décadas, hasta el 2040. Esta proyección muestra que para el 2030 la capacidad mundial habrá alcanzado 106,000 MW, y para el 2040 un nivel de casi 630,000 MW.

El resultado es que para el 2040 más del 5% de la demanda eléctrica mundial podría satisfacerse con energía solar térmica.

¹¹ *ENERGIA SOLAR TERMOELÉCTRICA, European Solar Thermal Power Industry Association (ESTIA), www.greenpeace.org*

3.4 EL FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR TERMOELÉCTRICA EN MÉXICO¹²

El potencial solar de México es envidiable, el futuro de generación de electricidad con energía termosolar es muy prometedor. En la siguiente tabla se muestra la evolución y el pronóstico del país en términos de generación eléctrica a base de energía solar.

Año	MW	MWh
2002	0	0
2006	0	0
2010	90	350,000
2015	1,290	585,000
2020	1,320	2,085,00

Tabla 3.3: Prospectiva para la generación de electricidad con plantas termosolares en México.

Fuente: Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2007.

Los proyectos de energía solar en México, apenas está amaneciendo. Aunque ya va calentándose el plan de construir en 2010 una planta experimental con 200 helióstatos, hasta ahora los esfuerzos se concentran en hacer un campo de pruebas experimental de 400 m² con 40 helióstatos, para verificar el funcionamiento y medir la eficiencia de los espejos.

A continuación mencionaremos los dos proyectos más importantes de plantas eléctricas termosolares que todavía se encuentra en estudio.

- **Central eléctrica termosolar “Agua Prieta I”:** Con el apoyo de la Comisión Federal de Electricidad y de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM, un equipo de investigadores realizan experimentos en la planta solar de Ciudad Universitaria para probar la viabilidad de un sistema híbrido geotérmico-solar que sería instalado en Cerro Prieto, a 30 kilómetros de Mexicali, donde la demanda de electricidad es grande en verano por las altas temperaturas y donde hay muchas fábricas que exportan sus productos a Estados Unidos. El Proyecto busca demostrar los beneficios de la integración de un campo de energía solar con una gran planta térmica convencional, su contribución a la reducción de los costos a largo plazo de la tecnología y la disminución de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

El proyecto estará ubicado en el Municipio de Agua Prieta, Sonora, a 6.3 Km de la ciudad de Agua Prieta y a 2 Km. del límite con Estados Unidos.

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un campo de energía solar de 31 MW (potencia máxima). El campo colector de energía solar está compuesto de varias filas paralelas de colectores solares que siguen al sol de este a oeste durante el día. El fluido de transferencia de calor se calienta mientras circula a través del receptor y regresa a una serie de intercambiadores de calor

¹² Potencial de la Energía Solar Térmica de Baja y Media Temperatura Dr. Roberto Best y Brown, Centro de Investigación en Energía de la UNAM

donde el fluido se utiliza para generar vapor de alta presión calentado a temperaturas muy elevadas.

- **Central eléctrica termosolar “171 CC Agua Prieta II”:** Existe un proyecto de ciclo combinado, a cargo de la Comisión Federal de Electricidad, denominado “171 CC Agua Prieta II” (con campo solar), en el estado de Sonora. Consiste en un sistema solar integrado de ciclo combinado con tecnología de canales parabólicos solares, el cual se encuentra en etapa de licitación, esperándose que inicie operaciones en abril de 2012, con una capacidad bruta de 477 MW, de los cuales 10 MWT serán generados por el campo solar en el verano. El Proyecto 171 CC Agua Prieta II, en Sonora, consiste en un sistema solar integrado de ciclo combinado con tecnología de canales parabólicos solares. Se espera que inicie operaciones en 2012, con una capacidad bruta de 477 MW, de los cuales 10 MWT serán generados por el campo solar en el verano.