

**GUÍA METODOLÓGICA PARA LA  
ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO  
AMBIENTAL DE CENTRALES SOLARES  
TERMOELÉCTRICAS.**

**CAPÍTULO 4  
ESTADO DEL ARTE.**

## 4. ESTADO DEL ARTE.

### 4.1 Introducción.

En este capítulo se pretende hacer un análisis de las diferentes tecnologías existentes y en desarrollo conducentes a la obtención de energía eléctrica utilizando la radiación solar como fuente de energía. Algunas de ellas se encuentran ya en fase de operación mientras que otras aún no han alcanzado el grado de desarrollo requerido a tal efecto. En este sentido, cabe destacar el trabajo de investigación llevado a cabo desde hace años en la Plataforma Solar de Almería (PSA), perteneciente al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

Los sistemas termosolares de concentración se clasifican generalmente en función del tipo de concentrador que emplean. Más adelante se explicará cada uno de ellos pero antes se debe definir el proceso de una forma general.

En síntesis, se puede resumir el proceso de obtención de electricidad por la vía termosolar en los siguientes pasos basándolo en la tecnología más extendida:

- Captación de la energía solar en el dispositivo de concentración. Esta energía se convierte en energía térmica, aumentando la entalpía de un fluido de transferencia de calor (generalmente aceites). Para que ello sea posible es necesaria la concentración de la energía solar en una superficie de absorción menor que la de captación. Al cociente de ambas se le denomina razón de concentración geométrica.
- Posteriormente, mediante intercambio de calor, la energía térmica contenida en el fluido de transferencia de calor (HTF) genera vapor de agua.
- Tras ello, el vapor de agua producido se integra en un ciclo de vapor similar al empleado en las plantas termoeléctricas que usan combustibles como forma de suministro de energía térmica.
- El vapor de agua se condensa para reintegrarse al sistema.

Cada una de estas fases tendrá un rendimiento determinado respecto al valor que se podría haber alcanzado teóricamente, debido a las pérdidas que en ella se produzcan (rendimiento del ciclo, pérdidas térmicas del fluido de trabajo...).

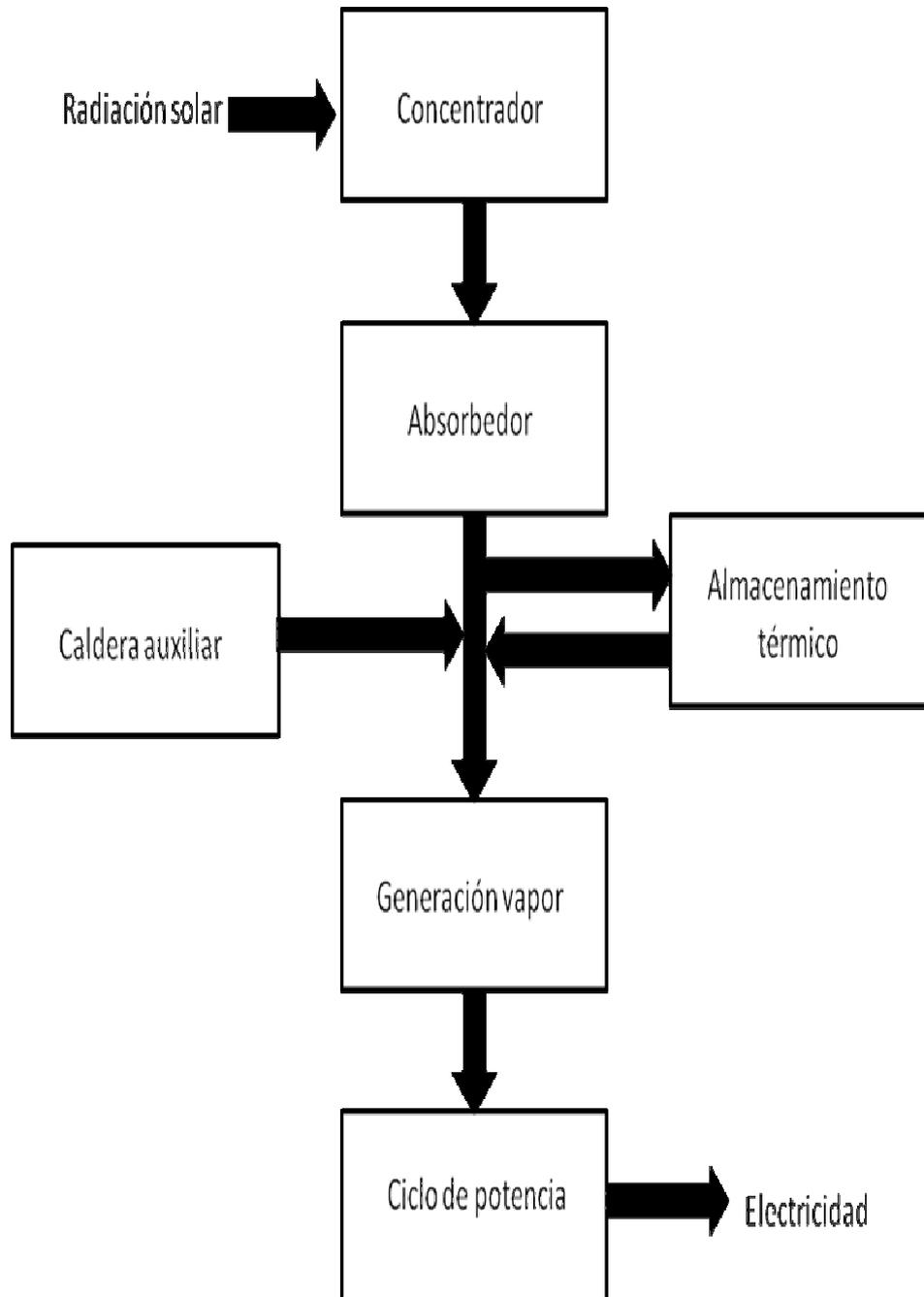
Cabe comentar que las centrales termosolares, correctamente ubicadas en lugares con una irradiación solar apropiada, operan aproximadamente unas 2500 horas/año trabajando únicamente mediante la energía recibida del Sol.

Además de los ya mencionados, las centrales solares termoeléctricas pueden contar con otros dos subsistemas a fin de optimizar la operación:

- Sistema de almacenamiento térmico, para la producción de energía eléctrica en momentos de baja irradiación solar.
- Sistema de caldera auxiliar que, mediante la combustión de gas natural o biomasa principalmente, sea fuente de energía térmica cuando sea necesario.

Así, se puede representar el sistema de generación de energía eléctrica termosolar en el siguiente esquema:

Figura 4.1 Diagrama de bloques de la generación termosolar de electricidad.



A continuación se va a hacer un breve análisis del estado del arte de la generación solar termoeléctrica en base a los siguientes apartados:

- Tecnologías:
  - Colectores cilindro parabólicos.

- Receptor central.
- Discos parabólicos.
- Concentrador lineal de Fresnel.
- Comparación de las distintas tecnologías existentes y en desarrollo.
- Almacenamiento.
- Hibridación.

## 4.2 Colectores cilindro-parabólicos.

Se trata de la tecnología que se encuentra más desarrollada en la actualidad, por lo que será la que se describa con un mayor grado de detalle.

En resumen, se trata de un tipo de tecnología que se vale de espejos de forma cilindro parabólica para reflejar la radiación, concentrándola en un tubo absorbedor por el que circula un fluido de transferencia de calor. Esta radiación tiene como consecuencia en el absorbedor un aumento de la temperatura (y la entalpía) del HTF.

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.

Un aspecto importante es la necesidad de una gran superficie: para una central de colectores cilindro-parabólicos con una potencia instalada de 50 MW se requieren aproximadamente unas 200 hectáreas.

Los colectores están compuestos por:

- Concentrador cilindro parabólico.

La función de este elemento es, como ya se ha comentado anteriormente, la reflexión de la radiación solar hacia el tubo de circulación del fluido de transferencia de calor. En este caso la concentración de radiación solar se da en dos dimensiones.

Se trata de largos canales de espejos curvados de vidrio con una película de plata o aluminio, siendo este vidrio de bajo contenido en hierro al objeto de aumentar la transmitancia respecto al vidrio convencional.

El vidrio se clasifica según el grosor en vidrio delgado (menor de 1,5 mm) y grueso (mayor de 3 mm). La diferencia entre ellos radica en que los de vidrio grueso sufren la curvatura en caliente y los delgados en frío.

Pueden tomarse como muestra los datos proporcionados por Abengoa Solar acerca de los concentradores PT1 y RMT:

**Tabla 4.1 Datos de los concentradores PT1 y RMT de Abengoa Solar.**

	Materiales de construcción	Superficie reflectante	Medidas de un módulo

PT1	Aluminio y acero	Aluminio acrílico	6,1 m (largo) x 2,9 m (ancho)
RMT	Aluminio y acero	Aluminio pulido	3,66 m (largo) x 1,13 m (ancho)

- Tubería de circulación del HTF.

Son largas tuberías que recorren las estructuras de los colectores a lo largo del campo solar en la línea focal de la parábola. En su interior llevan un fluido de transferencia de calor que se calienta al recibir la radiación reflejada en los espejos cilindro parabólicos.

Los materiales de los que están compuestos los tubos presentan una gran variabilidad, siendo el principal parámetro de decisión entre uno u otro la temperatura de trabajo:

-Para temperaturas menores de 300 °C se suele usar simplemente un tubo de acero tratado con un recubrimiento superficial de cobalto o cromo que reduzca las pérdidas.

-Sin embargo, para rangos mayores de temperaturas se impone el uso de tubos de vacío, que están formados por dos tubos concéntricos entre los que se crea cierta depresión. El tubo interior es de acero con un tratamiento o recubrimiento superficial con objeto de aumentar la absorción en las longitudes de onda corta (radiación solar incidente) y disminuir la emisividad en el espectro de onda larga en el que emite el propio tubo a la temperatura de funcionamiento. Por su parte, el tubo exterior es de vidrio y cumple una doble misión: por un lado reduce las pérdidas térmicas por convección en el tubo metálico y por el otro protege a éste de las inclemencias del tiempo.

Además, suele añadirse un tratamiento antirreflectante.

Cabe señalar que este apartado es el que tiene una mayor incidencia en los costes de operación y mantenimiento en una planta de estas características, debido fundamentalmente a:

-Degradación de los recubrimientos selectivos encaminados a aumentar la absorción y disminuir la emisividad, teniendo como consecuencia un menor aumento térmico del fluido de trabajo y obligando a la reparación o la sustitución del tubo.

-Pérdida del vacío entre los tubos, aumentando la temperatura del vidrio creando unas tensiones térmicas que, como en el caso anterior, pueden llegar a hacer necesaria la reposición o el arreglo del tubo. Como principal causa de la pérdida de vacío puede

señalarse la permeación al tubo de acero de hidrógeno y otros gases producidos como consecuencia de la degradación del aceite térmico.

-Rotura del vidrio, siendo especialmente vulnerable la unión entre el vidrio y el metal debido a las tensiones y deformaciones de origen térmico.

Al igual que en el apartado anterior, se muestran los datos de Abengoa Solar para dos tipos de concentradores:

**Tabla 4.2 Datos de los concentradores PT1 y RMT de Abengoa Solar.**

	Material absorbedor	Superficie selectiva	Material que envuelve el absorbedor	Temperatura máxima de operación
PT1	Acero	Cromo negro	Cristal resistente de boro- silicio con una capa antirreflectiva	288°C
RMT	Acero	Cromo negro	Cristal resistente de boro- silicio con una capa antirreflectiva	204°C

Pese a que se trata, como se ha dicho anteriormente, de la tecnología de generación termosolar de electricidad más experimentada y empleada, aún se esperan mejoras en diseños de los tubos que permitan un mejor aprovechamiento de la energía solar.

- Fluido de transferencia de calor (HTF).

El HTF circula por el interior del tubo absorbedor, con objeto de aumentar su temperatura (y, por consiguiente, la entalpía) gracias a la radiación solar reflejada por los espejos concentradores. Existe gran cantidad de fluidos que, en mayor o menor grado de desarrollo, se pueden usar como HTF, dependiendo fundamentalmente de la temperatura máxima de trabajo:

-Para temperaturas por debajo de los 200°C se puede usar agua desmineralizada o una mezcla agua-etilenglicol.

-Aceites y siliconas sintéticos. Son, con diferencia, los fluidos que más se utilizan, debido a que sus características fisicoquímicas permiten trabajar a presiones no muy altas en estado líquido, con lo que se consigue un abaratamiento en los materiales y un incremento de la seguridad.

Los más utilizados son el óxido de bifenil-difenil (como el Therminol de Solutia) y algunas siliconas sintéticas que lo mejoran en prestaciones pero también en precio. Estos fluidos tienen como limitación térmica los 400°C ya que a partir de esa temperatura se degradan. En el caso de que la temperatura máxima de trabajo sea inferior a 300°C es posible el empleo de aceites minerales.

Por otro lado, hay fluidos con los que se está trabajando para su empleo en un futuro:

-En la Plataforma Solar de Almería se ha probado satisfactoriamente el empleo de agua como fluido térmico, produciendo por lo tanto una generación directa de vapor. Se ha conseguido producir vapor sobrecalentado a 400°C y 100 bar en los tubos, teniendo como principal complicación el hecho de que el cambio de fase ocurre en el interior del tubo y a alta presión.

-Se ha pensado en el empleo de líquidos iónicos por sus positivas propiedades pero aún está lejos de desarrollarse.

-Algo más experimentado está el uso de sales fundidas como HTF, teniendo como principal ventaja la facilidad de integración de un sistema de almacenamiento térmico y como mayor inconveniente el tener que disponer de los medios necesarios para asegurar que no haya congelación de las sales en los tubos.

- Sistema de seguimiento solar.

Al hablar del sistema de seguimiento solar se hace referencia al mecanismo que hace que la orientación de los colectores cilindro parabólicos cambie a lo largo del día al igual que lo hace la posición del sol, a objeto de aprovechar al máximo la radiación solar.

Generalmente consiste en el giro del conjunto de espejos que conforman los concentradores alrededor de un eje. El movimiento de rotación se consigue mediante un mecanismo de accionamiento eléctrico o hidráulico y se regula mediante un control electrónico que hace que los espejos estén siempre orientados al sol.

Sin ánimo de entrar en profundidad en el asunto, ya que se entiende fuera del objeto del proyecto, se van a identificar las principales pérdidas que se producen.

Las pérdidas se pueden clasificar en varios grupos:

- Pérdidas geométricas:

Dentro de este grupo hay que distinguir a su vez:

-Pérdidas debidas a la sombra que unos canales proyectan sobre los otros, reduciendo así de manera efectiva la radiación incidente sobre los espejos.

-Pérdidas asociadas al sistema de seguimiento, debido a que éste solamente trabaja en un solo eje.

- Pérdidas ópticas:

Se deben a las imperfecciones que existen en los elementos que conforman el sistema de reflexión y absorción, es decir, el espejo reflectante, el tubo...Son las principales pérdidas en términos cuantitativos.

- Pérdidas térmicas:

Son las pérdidas asociadas a los distintos fenómenos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación.

Estos fenómenos provocan intercambios de calor desde el tubo absorbedor al vidrio y de éste al exterior, aunque cabe señalar que en el caso de emplear tubos de vacío las primeras son despreciables frente a las segundas.

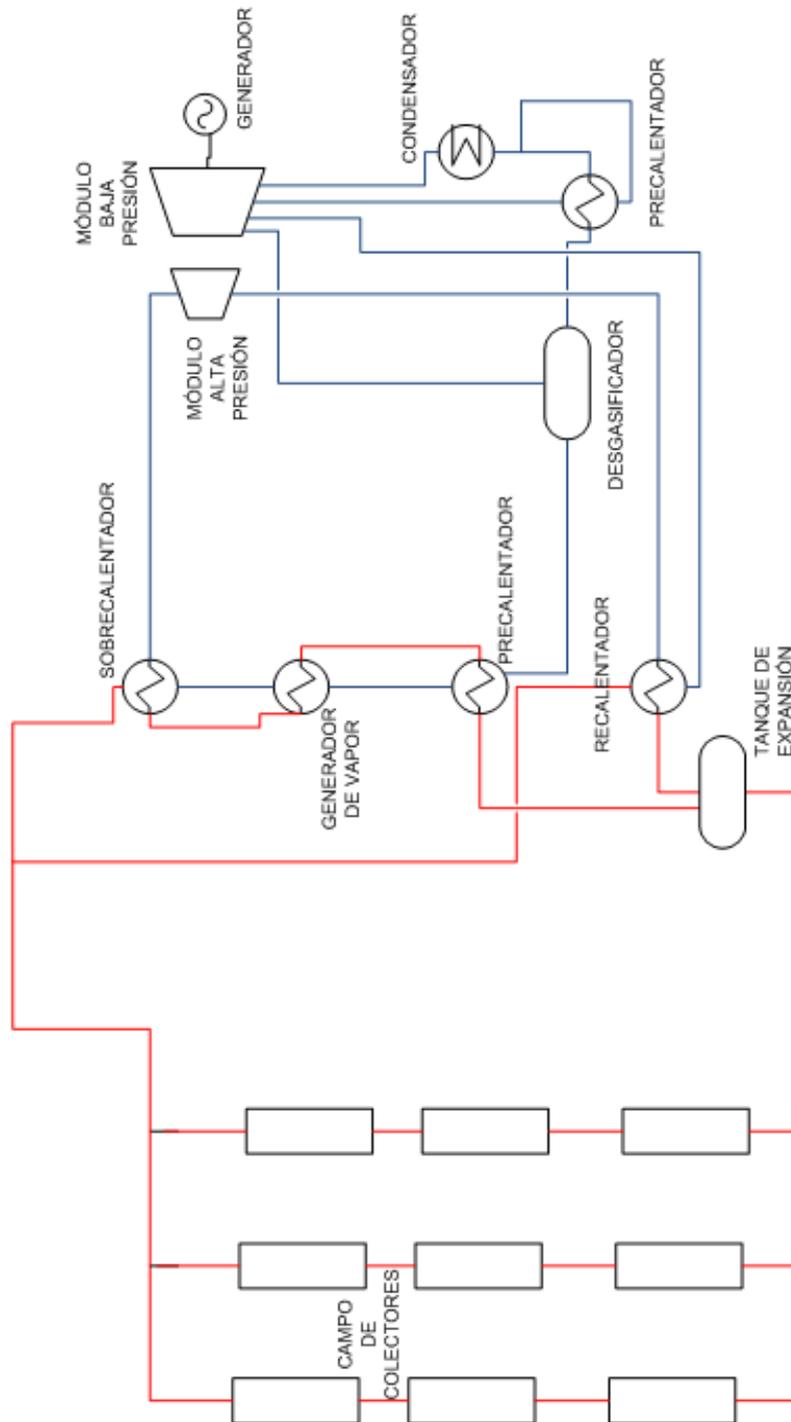
- Pérdidas por autoconsumos:

Parte de la energía producida se usará en la propia central para el accionamiento de bombas, motores...

De esta forma, cabe hablar de un rendimiento en el colector cilindro parabólico definido como la relación entre el incremento de entalpía del fluido de trabajo y la irradiación total recibida en el área de captación. Este rendimiento aproximado se puede estimar entre el 60 y 70 %, al cual después habría que aplicar el rendimiento del ciclo de vapor para así obtener el rendimiento global de la planta de transferencia de energía solar a eléctrica, que se sitúa en torno al 15-20 %.

En la siguiente página se presenta un esquema simplificado de una central termosolar basada en la tecnología de colectores cilindro parabólicos.

Figura 4.2 Central termosolar de colectores cilindro parabólicos.



### **4.3 Receptor central.**

Este tipo de tecnología difiere sustancialmente en cuanto a forma de la definida anteriormente pese a que el fundamento es el mismo.

En este caso el receptor se sitúa en la parte superior de una torre (de ahí que estas tecnologías reciban también el nombre de centrales de torre) y la reflexión de la radiación solar se produce mediante unos paneles individuales llamados helióstatos. Para el correcto funcionamiento de la central es necesario que exista un mecanismo de movimiento y un sistema de control con objeto de que la orientación de los helióstatos sea siempre la idónea.

En las centrales de receptor central se produce la concentración solar en las tres dimensiones, por lo que es posible concentrar la radiación solar hasta 600 veces y operar a temperaturas muy elevadas, del orden incluso de los 1000°C.

En cuanto a las necesidades de área, se pueden estimar en 130 las hectáreas requeridas para una central de 20 MW.

Los principales elementos que conforman el sistema de receptor central son:

- Helióstatos:

La radiación solar incidente es reflejada hacia el receptor de la torre mediante una gran superficie que rodea a la misma cubierta por unos elementos denominados helióstatos. De hecho, son muy características para ilustrar la generación solar termoeléctrica las imágenes de este tipo de tecnologías, con una gran torre rodeada de espejos reflectantes. El tamaño del campo de helióstatos es función, como es obvio, de la potencia de la instalación.

El componente más importante de los helióstatos es la superficie reflectante (denominada también faceta), que se orienta según la posición del sol para maximizar la captación. Las facetas están fabricadas fundamentalmente con vidrio, sobre los que se deposita una capa de plata o aluminio y una capa de pintura por la cara posterior.

Otros componentes importantes en los helióstatos son la estructura soportante, que suele ser a base de perfiles metálicos, y un mecanismo que proporciona la posibilidad de movimiento en dos ejes, permitiendo la concentración en las tres dimensiones.

Por último, es importante un adecuado sistema de control para el seguimiento de la radiación óptima en los dos ejes.

Para una operación óptima es necesario un análisis previo del terreno y la zona que determine la distribución más favorable del campo de helióstatos.

Como ejemplo se presenta el helióstato Sanlúcar 120 de Abengoa Solar:

**Tabla 4.3 Datos del helióstato Sanlúcar 120 de Abengoa Solar.**

Dimensiones	12,94 m (ancho) x 10,12 m (alto)
Superficie neta de los espejos	120 m <sup>2</sup>
Materiales de construcción	Acero galvanizado en caliente

- Torre:

La torre es el elemento más característico de este tipo de centrales termosolares pese a que su función no va más allá de la de servir de soporte al receptor. Se trata de grandes construcciones de una altura incluso superior a los 100 m, gracias a lo cual es posible reducir las sombras y blanqueos en los helióstatos. Como ejemplo, la torre PS10 de la central de Abengoa en el término de Sanlúcar la Mayor (Sevilla) presenta una altura de 115 m.

Asimismo, también han de servir como elemento sustentante de componentes auxiliares. Las estructuras de las torres construidas hasta ahora son metálicas o de hormigón.

- Receptor:

Es el elemento en el que incide la radiación solar concentrada procedente de los helióstatos con objeto de convertirla en energía térmica. Es posible establecer una clasificación de los distintos tipos de receptores que se han usado en base a dos criterios fundamentales:

-Atendiendo a la geometría del receptor se distinguen dos tipos de receptores: externos y de cavidad. La principal ventaja que presentan los segundos respecto a los primeros es la minimización de las pérdidas por radiación y convección, así como la homogeneización de la radiación incidente.

-Según el mecanismo de transferencia de calor puede hablarse de receptores de absorción directa e indirecta.

- Fluido de trabajo:

A lo largo de los años de trabajo e investigación se ha empleado gran cantidad de fluidos diferentes:

-Agua-vapor con evaporación y con/sin sobrecalentamiento.

-Aire.

-Sales fundidas.

-Sodio fundido.

Al igual que en el apartado de colectores cilindro parabólicos se va a hacer a continuación una relación de las principales pérdidas que sufre el proceso en sus diferentes etapas:

- Pérdidas en la captación:

Se distinguen a su vez dos grandes grupos:

-Pérdidas por reflectancia: asociadas a que el vidrio de las facetas absorbe parte de la radiación que le llega.

-Pérdidas geométricas: originadas por la reducción del área visible proyectada por el sol (factor coseno), por sombras y por bloqueos.

- Pérdidas en la transmisión a través de la atmósfera:

Se deben a la atenuación de la radiación reflejada por los helióstatos motivada por fenómenos de absorción y dispersión.

- Pérdidas en la captación de la radiación solar en el receptor:

Estas pérdidas se fundamentan en las imperfecciones de las superficies reflectantes, errores en el posicionamiento de los helióstatos, etc

- Pérdidas en la conversión fototérmica:

A su vez se pueden clasificar en:

-Pérdidas por radiación.

-Pérdidas por convección.

-Pérdidas por conducción.

- Pérdidas por autoconsumos:

Parte de la energía producida se usará en la propia central para el accionamiento de bombas, motores...

Se puede estimar en un 55% el rendimiento de transformación de energía solar a energía térmica en forma de vapor. A ello habría que eliminar posteriormente las pérdidas por autoconsumo y las asociadas al rendimiento del ciclo de potencia, obteniendo un rendimiento total aproximado del 15-20 %.

#### **4.4 Discos parabólicos.**

Este sistema de generación se basa en el empleo de estructuras modulares que integran un concentrador, el receptor y el sistema de generación, teniendo también un mecanismo de seguimiento de la radiación.

De forma análoga a lo que se observaba para los sistemas de receptor central, la concentración de la radiación se realiza en las tres dimensiones, por lo que el proceso de concentración es más eficiente que en los concentradores cilindro parabólicos (la relación de concentración puede llegar a 3000) y, en consecuencia, se puede obtener una mayor temperatura (del orden de los 800°C).

Los discos parabólicos están compuestos, como se ha dicho anteriormente, por:

- Concentrador:

Se trata de una superficie, generalmente un paraboloides de revolución, que refleja la radiación solar con objeto de concentrarla sobre el receptor.

La superficie reflectante está hecha a base de espejos de vidrio o de películas reflectantes.

- Receptor:

En los sistemas de disco parabólico el receptor cumple dos funciones:

- Absorción de la radiación incidente procedente del concentrador.
- Transferencia de la energía absorbida al fluido de trabajo.

Los receptores que se usan normalmente en los sistemas de discos parabólicos son los de cavidad, que presentan como ventaja la minimización de pérdidas radiactivas y convectivas, así como la homogeneización del flujo radiante incidente sobre el absorbedor.

Hay dos tipos fundamentales de receptores:

- Receptores de tubos directamente iluminados: en ellos, el absorbedor está constituido por un haz de tubos por los que circula el fluido de trabajo del motor, de forma que la radiación incidente se transforma en energía térmica.

-Receptores de reflujo: se caracterizan por usar un fluido intermedio (metal líquido) para la transmisión del calor. El metal líquido se evapora en la superficie del absorbedor y condensa debido al intercambio de calor con el fluido de trabajo.

El segundo tipo presenta la ventaja de que se consigue un calentamiento más uniforme del fluido de trabajo que en el primer tipo de receptor.

- Generación:

La generación de electricidad es un sistema constituido por un ciclo de vapor y un generador que transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

Las sucesivas pérdidas que se dan en el proceso se enumeran a continuación:

- Pérdidas en la concentración.
- Pérdidas en la transformación de la radiación a energía térmica.
- Pérdidas asociadas al ciclo y al generador.
- Autoconsumos.

Se antoja difícil cifrar el rendimiento de transformación de energía solar a eléctrica debido a la gran tipología de discos parabólicos existentes, el número de prototipos en estudio... aunque puede estimarse el rendimiento de transformación de la radiación a energía térmica en un 65% y a energía eléctrica en un 20%, habiéndose conseguido picos experimentales de hasta el 29,4%.

#### **4.5 Concentradores lineales de Fresnel.**

Este tipo de tecnología se asemeja bastante a la de concentradores cilindro parabólicos, con la diferencia de que en este caso el concentrador es un conjunto de espejos dispuestos sobre un plano, sin ningún tipo de curvatura. De hecho, surgió como una modificación a la tecnología de CCP con objeto de reducir los costes. No obstante, se trata de una tecnología aún en estudio pero que, debido fundamentalmente a su previsible competitividad económica, está experimentando un gran desarrollo.

Al igual que los CCP, la concentración se produce en dos dimensiones.

- Concentrador:

El sistema de concentración de radiación solar está compuesto por hileras de espejos que orientan la radiación hacia el receptor. Estas hileras tienen permitido el movimiento respecto a un eje, por lo que la concentración se produce solo en dos dimensiones y se consiguen relaciones de concentración menores, del orden de 20.

- Receptor:

El receptor consiste en un tubo absorbedor por el que circula el fluido de transferencia de calor. Al tener relaciones de concentración bajas, la temperatura alcanzada no es muy alta y no se hacen necesarios ni recubrimientos selectivos ni el tubo de vidrio envolvente. En esta tecnología, la propia configuración hace que se puedan tener varios receptores en paralelo, lo que hace que las filas de espejos sean compartidas, optimizando de esta forma el terreno.

#### **4.6 Comparativa de las diferentes tecnologías.**

A continuación se exponen brevemente las principales ventajas e inconvenientes de las tecnologías que se han explicado anteriormente:

- Colectores cilindro parabólicos:

Ventajas:

- Tecnología ampliamente desarrollada.
- Fase de escalado superada con éxito.

Inconvenientes:

- Solo se consigue la concentración de la radiación en dos dimensiones.
- Para trabajar a temperaturas relativamente altas se requiere que se disponga de un recubrimiento en los tubos y un segundo tubo de vidrio, suponiendo costes tanto de inversión como de mantenimiento.
- Necesidad de superficie elevada.

- Receptor central:

Ventajas:

- Tecnología conocida.
- Plantas en funcionamiento.
- Posibilidad de alcanzar altas temperaturas debido a que la concentración se realiza en las tres dimensiones

Inconvenientes:

- Gran necesidad de área.
- Mayor impacto visual.

- Discos parabólicos:

Ventajas:

- Alto rendimiento.

-Modularidad.

-Autonomía.

-Facilidad para la hibridación en receptores de reflujo.

Inconvenientes:

-No existen pruebas fehacientes que demuestren la viabilidad y el funcionamiento en grandes plantas.

-Elevado coste.

- Concentradores lineales de Fresnel:

Ventajas:

-Maximiza el aprovechamiento del terreno.

-Simplicidad constructiva y bajo coste.

Inconvenientes:

-Tecnología emergente pero aún no desarrollada como CCP o RC.

-Capacidad de concentración baja, lo que no permite alcanzar altas temperaturas.

#### **4.7 Almacenamiento.**

Uno de los principales problemas que puede presentar la energía solar termoeléctrica es que su fuente de energía primaria, el sol, es variante tanto a lo largo de las diferentes épocas del año como en el transcurso del día. De esta forma, al acabarse las horas de luz solar la planta no tendría opción de continuar con la producción.

Es por ello que una de las principales líneas de trabajo de investigación, desarrollo e innovación en este campo consiste en dotar a la planta de la capacidad de almacenar parte de la energía recibida durante el día con objeto de poder utilizarla durante la noche. Es lo que se denomina almacenamiento de radiación solar, y puede representar un tiempo de hasta 7,5 horas equivalentes de funcionamiento del ciclo de potencia.

El empleo de sistemas de almacenamiento térmico presenta como inconveniente el hecho de tener que sobredimensionar el campo de colectores.

Mediante el almacenamiento térmico se pueden satisfacer distintos objetivos, entre los cuales cabe enumerar:

- Almacenamiento de energía para su utilización en momentos de baja insolación solar o cuando ésta se presenta con mucha variabilidad.
- Aumento del factor de capacidad de la planta, reduciendo los arranques y paradas.
- Facilita el control de la planta.

Los sistemas de almacenamiento térmico se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios:

- Según el fluido empleado:
  - En algunas ocasiones se emplea como fluido de almacenamiento el mismo que se emplea en los colectores como fluido de trabajo, siendo principalmente usados los aceites sintéticos a tal fin. Lo normal es que el almacenamiento se produzca calentando el aceite contenido en un tanque.

Como principal inconveniente de este sistema cabe destacar que hay que tomar las medidas de diseño necesarias para asegurar que no se produzca la evaporación del aceite. Ello se soluciona trabajando a presión en el depósito mediante la inyección de gases inertizantes.

-Sin embargo, los sistemas de almacenamiento térmico que más se usan e investigan son aquellos que emplean como fluido de almacenamiento uno diferente al aceite del campo de colectores. Generalmente se usan sales fundidas, siendo la mezcla más conocida la de  $\text{KNO}_3$  y  $\text{NaNO}_3$ .

La estructura del sistema consiste en dos tanques, conteniendo uno de ellos las sales frías y el otro las calientes, de manera que durante el día se calientan las sales mediante intercambio con el HTF y durante la noche se realiza el intercambio inverso.

- Según la finalidad:

- Almacenamiento a corto plazo para solventar períodos puntuales.

- Almacenamiento a medio plazo, para períodos de uno o varios días.

- Almacenamiento a largo plazo que compense variaciones de largos periodos. Se trata de un planteamiento teórico, cuyo grado de desarrollo es aún bastante preliminar.

#### **4.8 Hibridación.**

La hibridación es un concepto muy importante en la generación termosolar de electricidad debido a que es una forma de adaptar la producción a la demanda energética del momento.

Consiste en utilizar otra energía como fuente de energía primaria, además de la radiación solar, al objeto de ayudar a mantener el nivel térmico del fluido trasmisor de calor para compensar la falta de irradiación solar que pueda afectar a la entrega prevista de energía. Como combustible alternativo destaca el empleo de gas natural, por encima de otras opciones por su respeto medioambiental.

Cabe destacar que, en base a lo que se ha expuesto en el párrafo anterior, es posible entender la hibridación como una forma de almacenamiento de energía térmica.

Las plantas solares termoeléctricas se encuadran, según el artículo 2 del *Real Decreto 661/07, de 25 de Mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial*, en el subgrupo b.1.2 (“Instalaciones que utilicen únicamente procesos térmicos para la transformación de la energía solar, como energía primaria, en electricidad”) del grupo 1 (“Instalaciones que utilicen como energía primaria la energía solar”) perteneciente a la categoría b): (instalaciones que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa, o cualquier tipo de biocarburante, siempre y cuando su titular no realice actividades de producción en el régimen ordinario.)

En el Real Decreto se regulan los porcentajes permisibles de hibridación, siendo éstos, según el artículo 2:

- En cómputo anual, la generación eléctrica procedente del combustible auxiliar será menor al 12% si la instalación se acoge a la opción a) del apartado 1 del artículo 24: Ceder la electricidad al sistema a través de la red de transporte o distribución, percibiendo por ella una tarifa regulada, única para todos los periodos de programación, expresada en céntimos de euro por kilovatiohora.
- Por su parte, dicho porcentaje estará limitado al 15% en caso de acogerse a la opción b) recogida en el mismo apartado: Vender la electricidad en el mercado de producción de energía eléctrica. En este caso, el precio de venta de la electricidad será el precio que resulte en el mercado organizado o el precio libremente negociado por el titular o el representante de la instalación, complementado, en su caso, por una prima en céntimos de euro por kilovatiohora.

En este apartado se ha hecho referencia a la hibridación de la tecnología solar termoeléctrica con otras fuentes de energía primaria desde la perspectiva de que la solar sea la principal fuente. Es por ello que se ha incluido la regulación legal de la hibridación.

No obstante, también puede entenderse a la inversa, de manera que la energía solar fuera un complemento a la generación eléctrica que tenga como fuente de energía primaria, por ejemplo, la combustión de gas natural y su inserción en un ciclo combinado. Se proponen dos configuraciones distintas en función del uso de la energía térmica procedente del campo solar:

- Puede emplearse para el calentamiento de los gases de combustión procedentes de la turbina de gas, consiguiendo de esta manera el incremento del nivel térmico de dichos gases.
- También puede intercambiar calor directamente con el agua procedente de la condensación del vapor de la turbina de vapor, calentándola e incluso generando vapor.

A continuación se muestran de forma esquemática una central termosolar con hibridación de gas natural y almacenamiento y una central de ciclo combinado hibridada con energía solar (ISCC, integrated solar combined cycle).

Figura 4.3 Central termosolar de colectores cilindro parabólicos con hibridación y almacenamiento.

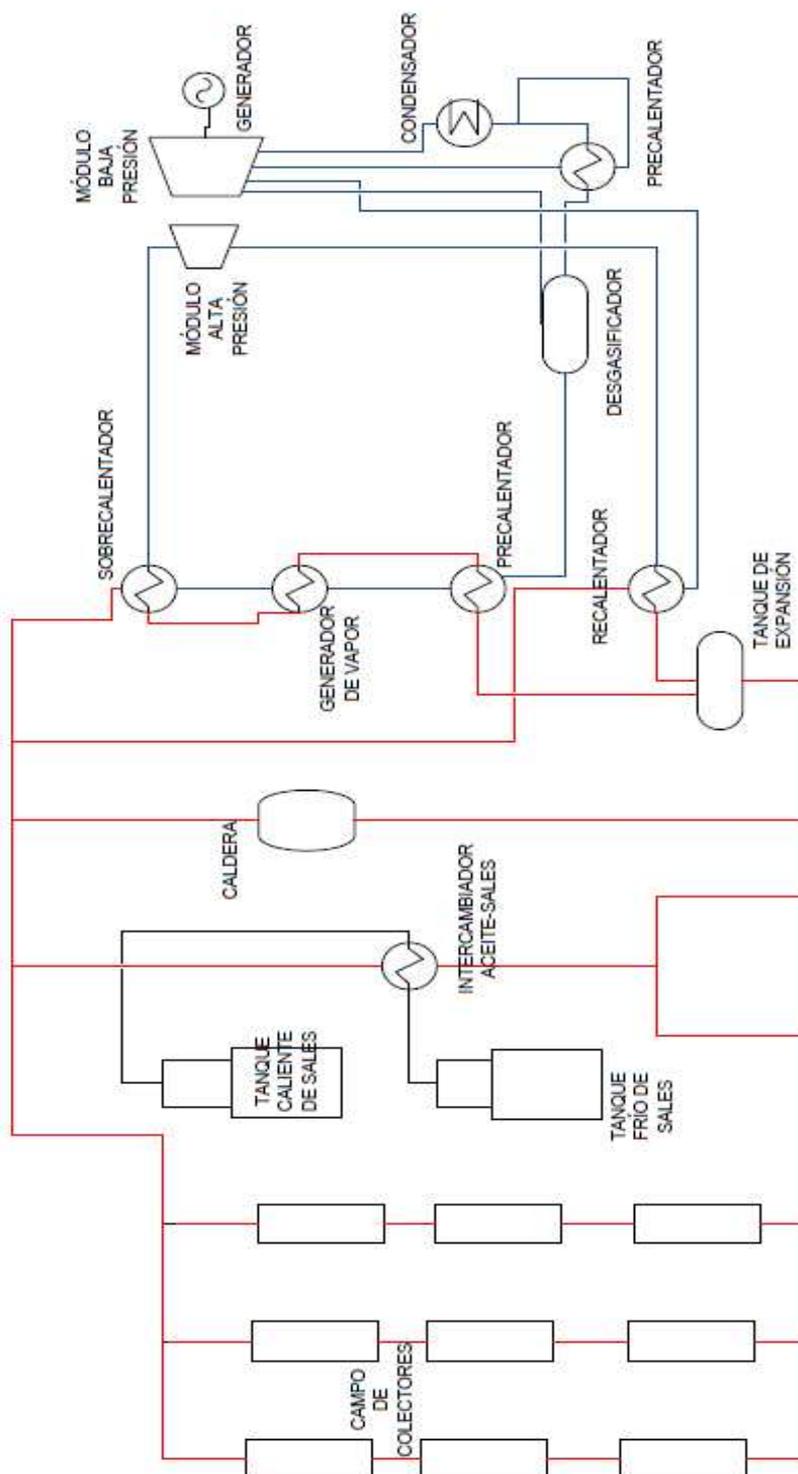


Figura 4.4 Central de ciclo combinado con tecnología termosolar de colectores cilindro parabólicos.

