

4.4. ÁREA SOLAR TERMOELÉCTRICA

1. TECNOLOGÍAS

1.1. Energía Solar de Media Temperatura

La tecnología solar de media temperatura va destinada a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas elevadas. A partir de 80 °C, los colectores planos convencionales presentan un rendimiento muy escaso, y cuando se pretende generar vapor debe acudir a otro tipo de elementos de captación.

Para alcanzar mayores temperaturas resulta imprescindible concentrar la radiación solar. Existen procedimientos ópticos con dispositivos de lentes pero son enormemente costosos y únicamente se han utilizado para la investigación de procesos de conversión fotovoltaica, no térmica.

Los más desarrollados en la actualidad son los concentradores lineales con superficie reflexiva, también conocidos como concentradores cilindro-parabólicos.

Colectores cilindroparabólicos

Básicamente, el colector consiste en un espejo cilindro-parabólico que refleja la radiación solar recibida sobre un tubo de vidrio dispuesto a lo largo de la línea focal del espejo, en cuyo interior se encuentra la superficie absorbente en contacto con el fluido caloportador. Esta disposición del absorbedor y del fluido caloportador tiene por objetivo reducir las pérdidas por convección. La razón de concentración en este caso se suele situar entre 15 y 50.

Este fluido es calentado hasta 400°C aproximadamente y bombeado a través de una serie de intercambiadores de calor para producir vapor sobrecalentado que ali-

menta una turbina convencional que genera electricidad.

Para que en todo momento el resultado de la reflexión incida sobre el absorbedor, es necesario un dispositivo de seguimiento de la posición del sol. Generalmente, suele bastar con disponer el seguimiento en un eje que puede ser N-S o E-O; existen ejemplos con seguimiento en dos ejes, pero los mecanismos correspondientes se complican extraordinariamente y, por tanto, no suele ser la solución adoptada.

Los colectores se conectan en serie y paralelo para conseguir temperaturas adecuadas y una pérdida de carga aceptable.

Entre el resto de elementos que acompaña al subsistema de captación (carcasa, aislamientos, estructura, apoyos,...), tiene una especial significación el mecanismo de seguimiento que presenta cierta complicación técnica y suele consistir en un servomotor accionado por un sensor solar que hace girar los espejos, manteniéndolos siempre en la dirección del sol.

La instalación se debe completar con los siguientes subsistemas: almacenamiento, que debe ser adecuado para el rango de temperaturas previsto (fluido térmico, sales fundidas,...); generador de vapor; apoyo auxiliar convencional; distribución y control.

Las aplicaciones más usuales en las instalaciones de media temperatura que se han realizado hasta la fecha han sido la producción de vapor para procesos industriales y la generación de energía eléctrica. Existen ejemplos de otras aplicaciones tales como la desalinización y refrigeración mediante energía solar.

En España, en la Plataforma Solar de Almería se cuenta con un "sistema de colectores distribuidos" (DCS) subdividido en un campo de colectores cilindroparabólicos con seguimiento en dos ejes y un campo

de colectores con seguimiento en un eje que producen vapor de proceso para producción de electricidad en otras aplicaciones industriales (1).

En EE.UU., nueve de estas plantas construidas en los años ochenta están actualmente generando electricidad con una potencia instalada de 354 MW en el sur de California.

Estas plantas, de potencias de 14 a 80 MW, son sistemas híbridos con hasta un 25% de gas natural para poder generar cuando no existe suficiente energía solar.

Las perspectivas de coste de esta tecnología son mayores que las de las centrales de torre o las paraboloideas, debido en gran parte a la baja concentración solar y por tanto a las bajas temperaturas y eficiencia. No obstante, con la experiencia existente en la operación de estas plantas, las continuas mejoras tecnológicas y las reducciones de coste en operación y mantenimiento, esta tecnología resulta la menos costosa, más fiable también para aplicaciones a corto plazo.

1.2. Energía Solar de Alta Temperatura

Para aplicaciones que requieren temperaturas superiores, fundamentalmente, la producción de energía eléctrica, es preciso recurrir a tecnologías de alta temperatura. Se precisa una mayor concentración de la radiación solar y, por tanto, realizar el seguimiento en dos ejes para hacerla incidir por reflexión sobre un área muy reducida. Permite conseguir temperaturas muy elevadas que pueden ser incluso superiores a 2.000 °C.

Se suelen emplear dos sistemas de concentración:

Generadores solares disco-parabólicos

Consisten en un conjunto de espejos que forman una figura disco-parabólica en cuyo foco se dispone el receptor solar en el que se calienta un fluido.

El fluido se calienta hasta temperaturas de 150°C y para generar electricidad, actualmente se consideran motores Stirling o turbinas Brayton. Se han desarrollado algunos prototipos en el rango de 7 a 25 kWe (2).

La alta eficiencia óptica y las bajas pérdidas de arranque hacen de los sistemas de disco/motor los más eficientes de todas las tecnologías solares. Además, el diseño modular de estos sistemas los hacen aptos tanto para cubrir necesidades en puntos remotos como para aplicaciones mayores.

En España, en la Plataforma Solar de Almería hay instalados seis "discos parabólicos" en los sistemas DISTAL I y II, que constan de un reflector/concentrador de membrana tensada. Los tres discos de DISTAL I tienen un diámetro de 7,5 m y seguimiento solar individual mediante montura polar. Los discos de DISTAL II tienen una superficie ampliada a 8,5 m de diámetro y un seguimiento de la posición del sol en dos ejes que permite su operación en modo totalmente automático desde el otro hasta el ocaso (1).

En EE.UU.¹, si las experiencias que se están realizando en 1998 y 1999 son exito-

¹ En EE.UU., el proyecto "Solar Two" ha venido ensayando una planta de demostración de 10 MW basada en la tecnología de sales fundidas desde el año 1997 hasta el año 1999. En la actualidad el consorcio está analizando con empresas españolas la promoción de una planta de mayor tamaño en España. En Europa la tecnología desarrollada (denominada PHOEBUS) se focaliza en el uso de aire caliente utilizando receptores volumétricos, habiéndose ensayado diversos tipos de receptores y helióstatos en las instalaciones de la PSA antes mencionada. En la actualidad se está elaborando un proyecto de demostración de 10 MW basado en dicha tecnología y promovido por una empresa española en colaboración con empresas alemanas.

sas se podrían empezar a comercializar en el año 2000.

Centrales de Torre

Formadas por un campo de espejos orientados (helióstatos) que reflejan la radiación sobre un intercambiador de calor situado en la parte superior de una torre central.

En España, la Plataforma Solar de Almería cuenta con las siguientes Instalaciones (1):

- La instalación de ensayos CESA-1 que consta de un sistema colector formado por 300 helióstatos que permiten alcanzar una potencia térmica pico en el foco de 7 MW térmicos y pueden proporcionar un flujo máximo de 3,3 MW/m² para una insolación directa en punto de diseño de 950 W/m². La instalación dispone de una torre de hormigón con tres plataformas de ensayo a 45, 60 y 80 m de altura habilitadas para el alojamiento de distintas configura-

ciones de receptores solares. La instalación se completa con un sistema de almacenamiento formado por dos tanques de sales fundidas (HITEC) con temperaturas de trabajo entre 220°C y 340°C, con capacidad de almacenamiento de 16 MWh.

- La instalación de ensayos CRS que consta de un sistema colector de 93 helióstatos de primera generación y 20 más de segunda generación, capaz de suministrar una potencia térmica en el foco de 2,7 MW y proporcionar en el punto de diseño un flujo pico de 2,5 MW/m². El sistema posee una torre metálica de 43 m de altura, con dos plataformas para ensayos de pequeños receptores.

Comparación de las tecnologías

En la tabla IV.4.1 se muestran las principales características de las tres tecnologías.

Tabla IV.4.1 (2). Características de sistemas solares termo-eléctricos

	Cilindro-parabólicos	Centrales de Torre	Disco/motor
Tamaño	30-320 MW*	10-200 MW*	5-25 kW*
Temperatura de operación (°C)	390	565	750
Factor de capacidad anual	23-50%*	20-77%*	25%
Eficiencia pico	20%(d)	23%(p)	29.4%(d)
Eficiencia neta anual	11-16%*	7-20%*	12-25%(p)
Estado comercial	Comercialmente disponible	Demostración a mayor escala	Demostración de prototipos
Riesgo tecnológico	Bajo	Medio	Alto
Disponibilidad almacenamiento	Limitado	Sí	Batería
Diseños híbridos	Sí	Sí	Sí
Coste:			
Pta./m ²	81.620-42.350*	73.150-30.800*	477.400-49.280*
Pta./W	616-415*	678-385*	1.940-200*
Pta./W _p [†]	616-200*	370-139*	1.940-169

Fuente: "Overview of Solar Thermal Technologies". Department of Energy's Concentrating Solar Power Program. U.S. Department of Energy (DOE).

* Cambios en el período 1997-2030.

† Pta./W_p eliminado el efecto del almacenamiento térmico (o hibridación en el caso de disco/motor).

(p) = previsión; (d) = demostrado

Las centrales de torre y los colectores cilindroparábolicos son más apropiados para proyectos de gran tamaño conectados a red en el rango de 10 – 200 MW, mientras que los sistemas disco-parabólicos son modulares y pueden ser usados en aplicaciones individuales o en grandes proyectos.

Las plantas de colectores cilindroparábolicos son la tecnología más madura y por tanto utilizable a corto plazo. Las centrales de torre, con bajo coste y almacenamiento térmico eficiente, prometen ofrecer plantas únicamente solares con alto factor de capacidad. La naturaleza modular de las disco-parabólicas puede permitir su uso en aplicaciones de pequeño tamaño y alto valor.

Las centrales de torre y las disco-parabólicas ofrecen la oportunidad de alcanzar mayores eficiencias y menores costes de operación que las plantas con colectores cilindroparábolicos, pero quedan incertidumbres sobre el tiempo en el que estas tecnologías alcanzarán la necesaria reducción de costes de inversión y la disponibilidad de mejoras. Los colectores cilindroparábolicos son actualmente una tecnología probada esperando una oportunidad para desarrollarse.

Las centrales de torre requieren que se demuestre la operatividad y condiciones de mantenimiento de la tecnología de sales fundidas y el desarrollo de heliostatos a bajo coste.

Los sistemas disco-parabólico requieren el desarrollo de al menos un motor convencional y el desarrollo de concentradores a bajo coste.

2. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

La energía solar termo-eléctrica, forma parte del conjunto de tecnologías de energías renovables cuya principal aplicación es la producción de energía eléctrica. Así ocurre en el caso de la eólica, solar, fotovoltaica y minihidráulica, que

producen electricidad en ausencia de procesos de combustión y por tanto sin emisiones. Es una tecnología que puede demostrar su validez como herramienta para reducir las emisiones de CO₂.

El potencial estimado de reducción es de 2.000 t/año por MWe de potencia instalada o en otras palabras cada GWh producido con energía solar evita de 700 a 1.000 t de CO₂ (7)

No existen por tanto impactos sobre el medio físico, ni sobre la calidad del aire (3), ni sobre los suelos (4); tampoco se provocan ruidos ni se afecta a la hidrología existente (5).

En el análisis de las posibles afecciones sobre el medio biótico, hay que distinguir entre las tres tecnologías de concentración. Los generadores solares disco-parabólicos pueden usarse como unidades independientes y por tanto en este caso la ocupación de terreno no sería significativa y su repercusión muy escasa.

En las plantas compuestas por colectores cilindrico-parabólicos se pueden llegar a ocupar superficies de territorio importantes. En general estas plantas si son de gran tamaño se localizan en emplazamientos con alta insolación y fauna y flora escasa, con frecuencia zonas desérticas ó semidesérticas en cuyo caso los efectos negativos se ven minorizados.

En términos generales se puede concluir que las principales repercusiones son el impacto visual y la ocupación de terrenos que en el caso de instalaciones de gran tamaño puede llegar a ser importante. Esta ocupación de terrenos puede tener incidencias sobre la fauna y flora del emplazamiento.

Aunque en ambos casos el impacto de este tipo de instalaciones no es superior al de cualquier planta convencional, téngase presente, por ejemplo que tanto en las plantas de tecnología cilindroparábólica como en las de torre la mayor ocupación

del terreno es debida al campo de captadores y la altura de éstos en ambos casos es inferior a 4 metros, lo que significa que a 100 metros de distancia el ángulo visual que en la dirección vertical subtende un campo de colectores es inferior a 2.5 grados. Esto explica el hecho de que estas plantas casi no sean visibles hasta que se está muy próximas a las mismas, hecho que cualquiera que haya visitado las plantas SEGS de California puede corroborar.

No obstante, hay que considerar que los posibles impactos que se generen en la fase de instalación y/o explotación no tienen un carácter permanente.

3. COSTES DE IMPLANTACIÓN Y CONVERSIÓN DE ENERGÍA

La experiencia adquirida en Europa y en EE.UU.(6) con tecnologías de concentración se considera suficiente como para dar datos de costes en la situación actual y hasta el año 2010.

La tabla IV.4.2 muestra datos sobre la situación tecnológica y los costes.

Como puede observarse el coste actual alcanza un valor aproximado de 450.000

Tabla IV.4.2.

SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE CONCENTRACIÓN SOLAR Y PREVISIÓN DE COSTES						
	Estado tecnológico	Potencia unitaria	Coste de capital (pta/kW)	Operación y Mantenimiento (pta/kWh)	Coste global de producción* (pta/kWh)	
					2000	2010
Cilindroparabólico	Evolución comercial próxima	30 MW a 80 MW	446.600	1,54	10,5-17,3	8,6-14
Centrales de torre	Factibilidad técnica demostrada	30 MW a 200 MW	369.600 a 446.600	1,08	8-12,6	5,1-8,3
Disco/motor	Próxima Factibilidad Técnica	5 kW a 50 kW	446.600	3,1	12,6-20	6,2-9,24

Fuente: "Markets for Concentrating Solar Power". Department of Energy's Concentrating Solar Power Program. U.S. Department of Energy (DOE).

* Se refiere al denominado "levelized energy cost (LEC)". El rango depende del tipo de financiación de los proyectos y del nivel de instalación asumido. El rango inferior se obtiene con financiación pública y el rango superior con financiación privada.

pta/kW instalado, pudiendo ser algo menor en las centrales de torre.

En el Quinto Programa Marco, en el Programa de Trabajo del apartado denominado Energía, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, se establecen objetivos para los sistemas de energía solar térmica con concentración, siendo los objetivos de coste total de corto a medio plazo de 2.500 euro (416.000 pta) por kW_e para la instalación; además, en el caso de producción híbrida, el objetivo de coste total para la producción de electricidad es 0,08 Euros (13,3 pta) por kWh, con una contribución anual de la energía solar de al menos el 50%. A más largo plazo, el objetivo es reducir a la mitad los costes de generación para alcanzar 0,04 Euros/kWh.

El coste global de producción ("levelized energy cost = LEC") de la energía solar con plantas cilindroparabólicas mixtas en EE.UU. es 18,5 pta por kWh.

En el año 2000, se prevén costes de la energía que significan importantes reducciones respecto a las consideradas en los años ochenta. Las centrales de torre son

las que tienen unos costes de la energía más bajos.

El coste de inversión para las tecnologías solares es mayor que el de las energías convencionales, pero los costes de operación son más bajos. En este sentido la financiación del proyecto, el tipo de interés, y la fiscalidad influyen enormemente en la promoción de los proyectos.

En consecuencia, la industria está buscando competir en regiones donde exista una política que estimule su desarrollo o en nichos de mercado.

4. BARRERAS

Las tecnologías de concentración aún no han alcanzado la fase de demostración comercial. En España se cuenta con la experiencia de la Plataforma Solar de Almería como centro de investigación y desarrollo en las aplicaciones de las tecnologías de centrales eléctricas solares, lo cual supone situarse en la primera línea a nivel europeo para la posible introducción en el mercado de estas tecnologías en los próximos años.

La primera barrera a superar es pues la realización de los primeros proyectos de demostración que prueben su viabilidad tecnológica y económica.

En segundo lugar, como corresponde al estado de la tecnología, las inversiones a realizar por kW instalado son muy elevadas, estando todavía lejos del umbral de rentabilidad, lo que supone una importante barrera de tipo económico, si bien las perspectivas de reducción de costes parecen alentadoras a medio plazo. Si se compara por ejemplo con la energía eólica, los costes de inversión de la energía solar termo-eléctrica son del orden del triple.

Finalmente, deberán considerarse los posibles problemas que surjan relacionados con la conexión a la red de las plantas solares, sobre todo en el caso de plantas solares ubicadas en emplazamientos remotos que pueden carecer de líneas de evacuación apropiadas, lo que podría suponer un incremento notable en la inversión.

5. MEDIDAS E INCENTIVOS

Considerando la alta radiación solar existente en España y la posición favorable desde el punto de vista tecnológico que supone la existencia de la Plataforma Solar de Almería como apoyo a la introducción en el mercado de estas tecnologías, se proponen una serie de medidas e incentivos que impulsen su introducción en el mercado.

El **apoyo público a las inversiones** sería una de las principales medidas para la realización de las primeras plantas.

Otra de las posibles medidas a tomar es la **desgravación fiscal a la inversión** realizada para la construcción de las plantas, consistente en la deducción de un 10% en el Impuesto de Sociedades.

Finalmente el apoyo público también estará dirigido hacia la **subvención y financiación de actuaciones de investigación y desarrollo para la mejora de la tecnología** y su adaptación a las diversas aplicaciones.

6. PREVISIONES DEL MERCADO

El desarrollo comercial de la energía solar termo-eléctrica como energía de futuro tiene su base en las ventajas que puede ofrecer frente a otras fuentes de energía, entre las que cabe mencionar las siguientes:

- es, desde un punto de vista medioambiental, positiva, notablemente por el hecho de no producir emisiones;
- es una fuente energética inagotable, autóctona y segura;
- genera empleo cualificado y puede ser un elemento de desarrollo económico regional;
- la energía solar es una de las fuentes energéticas de mayor aceptación entre los consumidores;
- su eficiencia es alta;
- existe posibilidad de almacenar energía eficientemente lo que permite su operación cuando la demanda lo requiere, incluso en días nublados o durante la noche;
- existe la posibilidad de hacer plantas híbridas ó mixtas con tecnologías convencionales basadas en la combustión de combustibles fósiles, lo que permite unir las ventajas de ambas fuentes energéticas. La parte solar aporta sus ventajas medioambientales y sus costes de producción previsibles a largo plazo, y la tecnología convencional proporciona bajos costes a corto plazo y respuesta a los requerimientos de la demanda.

Sobre la base de estas ventajas y dado el objetivo de incremento de la participación de las energías renovables en el mercado energético, puede plantearse la realización de las primeras plantas solares termo-eléctricas de demostración inicialmente para alcanzar una fase pre-comercial en el horizonte del Plan. Dada la alta radiación solar existente en España, nuestro país puede ser pionero en el desarrollo comercial de estas tecnologías.

Puede, por tanto, concluirse que sería aceptable establecer un objetivo de 200

MW de potencia, equivalente a la realización de ocho plantas tipo de 25 MW.

Tabla IV.4.3.

**Objetivo Área Solar
Termo-Eléctrica por CC.AA.
(Potencia en MW)**

CC.AA.	Objetivos Plan de Fomento
Andalucía	50
Aragón	
Asturias	
Baleares	
Comunidad Valenciana	
Canarias	25
Cantabria	
Castilla-La Mancha	50
Castilla y León	
Cataluña	
Extremadura	25
Galicia	
La Rioja	
Madrid	25
Murcia	25
Navarra	
País Vasco	
TOTAL	200

7. CONCLUSIONES

Las previsiones realizadas por el IDAE para el año 2010 se basan en las siguientes consideraciones:

- El alto nivel de radiación disponible en España permite adoptar las tecnologías de concentración con mayores perspectivas de rentabilidad que en la mayoría de los países de la Unión Europea;

- La Plataforma Solar de Almería puede apoyar tecnológicamente el desarrollo del sector;
 - Tanto las centrales de torre como las centrales con colectores cilindroparabólicos han demostrado su factibilidad técnica y pueden empezar la etapa de demostración pre-comercial;
 - Las previsiones en cuanto a costes de producción y las primas establecidas para la producción de electricidad con energía solar (R.D. 2818/1998) establecen un marco adecuado para la realización de los primeros proyectos;
 - Las previsiones del IDAE establecen un objetivo de 200 MW, equivalente a la realización de 8 plantas de aproximadamente 25 Mwe.
- (2) “Overview of Solar Thermal Technologies”. Department of Energy’s Concentrating Solar Power Program. U.S. Department of Energy (DOE).
 - (3) “La Contaminación Atmosférica. Agentes”. Instituto Español de la Energía.
 - (4) “La Energía y la Degradación del Suelo”. Instituto Español de la Energía.
 - (5) “Agentes y Efectos de la Contaminación del Agua”. Instituto Español de la Energía.
 - (6) “Markets for Concentrating Solar Power”. Department of Energy’s Concentrating Solar Power Program. U.S. Department of Energy (DOE).
 - (7) Becter, M; Macias, M.; Ajoval, J.I. (1995): “Solar Thermal Power Stations” en Pwspects and Directions’, EUREC-Agency, James & James Science Publishers, London, 1996.

8. REFERENCIAS

- (1) “Plataforma Solar de Almería”, Annual Technical Report 1997, Ref. PSA-TRO1/98 MG/BM/CR.

