

SISTEMAS DE CONCENTRACIÓN DE ENERGÍA SOLAR

Alfredo Peña Díaz, Ing. Mecánico.
Universidad de Los Andes
Santafé de Bogotá D.C., Colombia

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de concentración de energía solar producen energía eléctrica a través de la conversión de la energía del sol a calor de alta temperatura usando varias configuraciones de espejo. El calor es luego canalizado a través de un generador convencional. Las plantas generalmente consisten en dos partes: una que colecta la energía solar y la convierte en calor, y otra que convierte esta energía en forma de calor a electricidad.

Los sistemas de concentración de energía solar pueden ser diseñados para operar aisladamente en pueblos (10 KW) o aplicaciones conectadas a la red (100 MW). Algunos sistemas usan almacenamiento térmico durante periodos donde predomine nubosidad o durante la noche. Otros pueden ser combinados con gas natural y los resultados son plantas de energía híbrida de alto rendimiento. Estos atributos, junto con el récord mundial de eficiencia de conversión de energía solar a eléctrica (18%), hacen de la concentración de energía solar una opción muy atractiva en aquellas zonas que se encuentran bajo concentraciones altas de sol.

La cantidad de potencia generada por una planta de concentración de energía solar depende de la cantidad de luz directa del sol. Como los concentradores fotovoltaicos, estas tecnologías usan solamente el rayo directo de la luz del sol, más que la radiación solar difusa.

2. COLECTORES FOCALIZADORES

Los sistemas de concentración solar basan su tecnología en colectores focalizadores. Con estos es fácil obtener temperaturas mucho más altas, pero usualmente cuestan

más, necesitan siempre seguir el sol y sólo utilizan la radiación directa del sol. Al focalizar la radiación solar se pueden obtener temperaturas de 3500°C o mayores dependiendo de la perfección óptica del sol.

La tasa de calor entregada con colectores focalizadores es similar a la calculada para colectores de placa plana:

$$H_n A_c r s \alpha = q_o A_t \quad (2.1)$$

La tasa de radiación directa por unidad de área es H_n , A_c corresponde al área proyectada por el espejo focalizador, r es la reflectividad efectiva del material, s es un factor de forma del colector (tiene que ver con la calidad de focalización de la parábola), α es la absorptividad del receptor, q_o es la tasa a la cual el calor por radiación es absorbido por unidad de área por el receptor y A_t es el área del receptor. Podemos entonces desarrollar el lado derecho de la ecuación:

$$q_o A_t = (q_u + q_r + q_a + q_c) A_t \quad (2.2)$$

donde q_u es el calor útil que absorbe el fluido, q_r es el calor perdido debido a radiación, q_a el calor perdido debido a convección y a conducción y q_c tiene que ver con pérdidas conductivas en la estructura. El calor útil es expresado entonces:

$$q_u A_t = H_n A_c r s \alpha - (q_r + q_a + q_c) A_t \quad (2.3)$$

La eficiencia del colector se describe por medio de la fórmula:

$$\eta = 1 - \frac{(q_r + q_a + q_c) A_t}{H_n A_c r s \alpha} \quad (2.4)$$

El radio de concentración efectivo es un parámetro muy importante en estos sistemas y de este depende la ventaja que tienen sobre los colectores de placa plana:

$$RC = A_c/A_t \quad (2.5)$$

De aquí que las eficiencias de los concentradores sean tan altas ya que se pueden llegar a tener radios de concentración de 1000:1.

3. TECNOLOGÍA EN LOS ESPEJOS

Los sistemas de concentración solar usan superficies reflectoras de aluminio o plata en la superficie frontal o trasera de un vidrio o plástico delgado. Los investigadores están desarrollando nuevos materiales reflectivos, tales como películas de polímeros avanzadas, que son menos caras de producir que el vidrio. Las membranas estiradas son membranas reflectivas delgadas que se usan a través del aro. Otra membrana es estirada atrás de esta creando un vacío parcial. Esto obliga a que la membrana tome una forma esférica, la cual es la forma ideal del concentrador.

En la tabla 1 se puede observar los valores de absorptividad y reflectividad típicos en algunos tipos de concentradores solares.

4. SISTEMAS DE CONCENTRACIÓN

En la actualidad se pueden encontrar tres tipos de sistemas de concentración de energía solar: Los concentradores, los disco/motores y las torres de potencia y se clasifican de acuerdo a como colectan la energía solar.

4.1. Sistemas concentradores

En estos sistemas la energía del sol se concentra por reflectores en forma de canal parabólicamente curvados a una tubería receptora que se ubica a lo largo del interior de la superficie curvada. Esta energía calienta aceite que fluye a través de la tubería, y la energía calorífica es luego usada para generar electricidad en un generador a vapor convencional. Ver figuras 1 y 2.

Un campo colector abarca muchos concentradores en filas paralelas alineadas en los ejes norte-sur. Esta configuración permite a los concentradores de un eje perseguir el sol de este a oeste durante el día para asegurarse que el sol este

continuamente enfocado en las tuberías receptoras. Sistemas concentradores individuales pueden generar cerca de 80 MW de electricidad.

Algunos diseños de concentradores pueden incorporar almacenamiento térmico dejando a un lado el fluido de transferencia de calor en su fase caliente permitiendo la generación eléctrica algunas horas en la noche. Generalmente, todas las plantas de concentradores parabólicos son híbridas, es decir usan combustible fósil para complementar el déficit solar en los periodos de baja radiación. Ver figuras

4.2. Sistemas de torres de potencia

En estos sistemas la energía del sol es concentrada por un campo de cientos o incluso miles de espejos denominados helióstatos a un receptor localizado en la cima de una torre. Esta energía calienta sal derretida que fluye a través del receptor y la energía calorífica de la sal es usada luego para generar electricidad en un generador a vapor convencional. La sal derretida retiene el calor eficientemente, así que este se puede almacenar por horas o incluso días antes de ser usado para la generación eléctrica. Una torre de potencia para demostración de nombre solar 2, localizada en el desierto Mojave de California puede generar cerca de 10 MW de electricidad. Ver figuras 3 y 4.

La sal líquida a 550°F es bombeada de un tanque de almacenamiento "frío" a través del receptor, donde este es calentado a 1050°F y luego aun tanque "caliente" para su almacenamiento. Cuando se necesita energía de la planta, la sal caliente es bombeada a un sistema de generación de vapor que produce vapor supercalentado para accionar una turbina y generador. Del generador de vapor, la sal retorna a un tanque frío, donde esta es almacenada y eventualmente recalientada en el receptor.

Con almacenamiento térmico, las torres de potencia pueden operar a un factor de potencia de 65%, lo que significa que ellas pueden potencialmente operar por 65% del año sin la necesidad de rellenar la fuente de combustible. Sin almacenamiento de energía, las tecnologías solares como esta

se limitan a factores de potencia anual del 25%. La capacidad de las torres de potencia de operar por períodos prolongados de tiempo la separa de otras formas de tecnología de energía renovable.

4.3. Sistemas disco/motor

Un sistema disco/motor es una unidad puesta en solitario compuesta primariamente de un colector, un receptor y un motor. La energía del sol se colecta y se concentra en una superficie con forma de plato a un receptor que absorbe la energía y la transfiere a un fluido de trabajo del motor. El motor convierte el calor a potencia mecánica en una manera similar a los motores convencionales o sea por compresión del fluido de trabajo cuando este está frío, calentando el fluido de trabajo comprimido, y luego expandiéndolo a través de una turbina o con un pistón para producir trabajo. La potencia mecánica es convertida a potencia eléctrica por un generador eléctrico o alternador. Ver figuras 5 y 6.

Los sistemas disco/motor usan colectores de eje dual para perseguir el sol. La forma ideal del concentrador es parabólica, creada por una sola superficie reflectora o por múltiples. Existen muchas opciones para tipos de receptores y motores, incluyendo el motor Stirling y los receptores Brayton.

Estos sistemas no son comerciales aún, pero las pruebas han demostrado buen potencial. Sistemas disco/motor individuales corrientemente pueden generar cerca de 25 KW de electricidad. Se obtiene más capacidad si se conectan juntos los discos. Se pueden combinar también con gas natural generando energía continua de manera híbrida.

5. DISEÑO DE PLANTAS (Concentradores y torres)

Las plantas, como se mencionó anteriormente, elaboran tres procesos de conversión de energía: solar a térmico, térmico a mecánico y mecánico a eléctrico. Un montaje típico se muestra en la figura 7.

Para dimensionar campos solares se debe conocer las condiciones de radiación solar

directa del lugar y la producción anual de energía eléctrica que se requiera. Conocidos estos dos valores se procede a determinar la potencia nominal de la planta:

$$P_n = \frac{PAER}{I \times 0.85} \quad (5.1)$$

Donde PAER es la producción requerida anualmente de electricidad e I es la radiación directa anual. El factor de planta se puede determinar también:

$$F.P = \frac{PAER}{24 \times P_n} \quad (5.2)$$

El área que se necesita tanto de helióstatos como de concentradores se determina:

$$A = \frac{P_n}{(\eta + 4\%) \times 1000} \quad (5.3)$$

donde η es la eficiencia de conversión solar-eléctrica (aprox. 12%) y el 4% tiene que ver con la ayuda de los sistemas híbridos.

Algunos desempeños de plantas de concentradores y torres de potencia se observan en las tablas 2 y 3.

6. OPORTUNIDADES ECONÓMICAS

Un gran número de países hay encaminado proyectos en estas tecnologías incluyendo a U.S.A., India, Egipto, Marruecos y México y se tienen algunos desarrollos independientes en concentradores parabólicos en Grecia y España. Una ventaja competitiva clave de los sistemas de concentración de energía solar es su cercana semejanza con la mayoría de las plantas de energía operadas en la industria. Esta tecnología utiliza muchos de los mismos equipos usados en las plantas convencionales, sustituyendo la combustión de fósiles por la concentración de energía solar. Este aspecto evolucionado la hace integrarse muy fácilmente a una red eléctrica. Se estima que para el 2005 se tendrán 500 MW de capacidad instalada de concentradores de energía solar en el mundo.

7. COSTO

La tecnología de concentradores de energía solar generalmente ofrece el menor costo en

generación de electricidad a gran escala (10 MW o más) en equipos solares. La tecnología actual tiene un costo de \$2 a \$3 dólares por vatio. Esto es un costo de 9¢ a 12¢ por Kw-hr. Nuevos sistemas híbridos pueden reducir los costos a \$1.5 por vatio o 8¢ por Kw-hr. Nuevos avances tecnológicos en almacenamiento de la energía térmica acumulada podrían inclinar los precios a 4¢ o 5¢ por Kw-hr. en las próximas décadas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Daniels Farrington. Direct use of the sun's energy. Ballantine Books, 1st Ed. 1980
- www.eren.doe.gov/RE/solar.html
- www.energylan.sandia.gov/sunlab/overview.htm

Tabla 3

INDICATOR NAME	UNITS	Solar Two Prototype 1997		Small Hybrid Booster 2000	
			+/-%		+/-%
Plant Size	MW	10		30	
Receiver Thermal Rating	MW _t	43		145	
Heliostat Size	m ²	40		95	
Solar Field Area	m ²	81,000		275,000	
Thermal Storage	Hours	3		7	
	MWh _t	114		550	
Performance					
Capacity Factor	%	20		43	
Solar Fraction		1.00		0.22	
Direct Normal Insolation	kWh/m ² /yr	2,700		2,700	
Annual Solar to Elec. Eff.	%	8.5	+5/-20*	15.0	+5/-20
Annual Energy Production	GWh/yr	17.5		113.0	

Figura 1



Tabla 1

Collector	Acurex 3001	M.A.N. M480	Luz LS-1
Year	1981	1984	1984
Area (m ²)	34	80	128
Aperture (m)	1.8	2.4	2.5
Length (m)	20	38	50
Receiver Diameter (m)	0.051	0.058	0.042
Concentration Ratio	36:1	41:1	61:1
Optical Efficiency	0.77	0.77	0.734
Receiver Absorptivity	0.96	0.96	0.94
Mirror Reflectivity	0.93	0.93	0.94
Receiver Emittance	0.27	0.17	0.3
@ Temperature (°C/°F)			300/572
Operating Temp. (°C/°F)	295/563	307/585	307/585

Figura 2



Tabla 2

INDICATOR NAME	UNITS	1997 SEGS VI [®] Base Case		2000 SEGS LS-3 25% Fossil [®]	
			+/-%		+/-%
Plant Design					
Plant Size	MW	30		80	
Collector Type		LS-2		LS-3	
Solar Field Area	m ²	188,000		510,120	
Thermal Storage	Hours	0		0	
	MWh _t	0		0	
Performance					
Capacity Factor	%	34		34	
Solar Fraction (Net Elec.)	%	66		75	
Direct Normal Insolation	kWh/m ² -yr	2,891		2,725	
Annual Solar to Elec. Eff.	%	10.7		12.9	
Natural Gas (HHV)	GJ	350,000		785,000	
Annual Energy Production	GWh/yr	89.4		238.3	

Figura 3

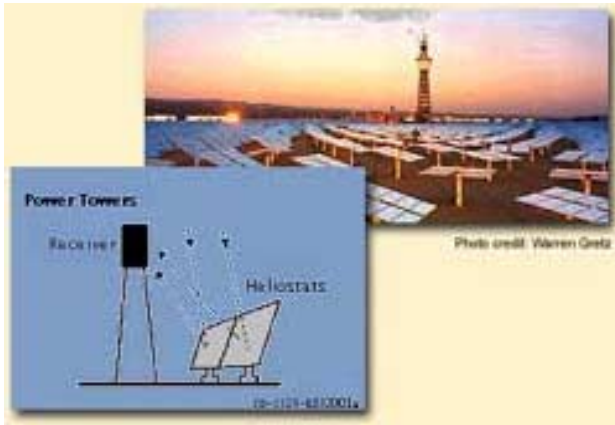


Figura 5

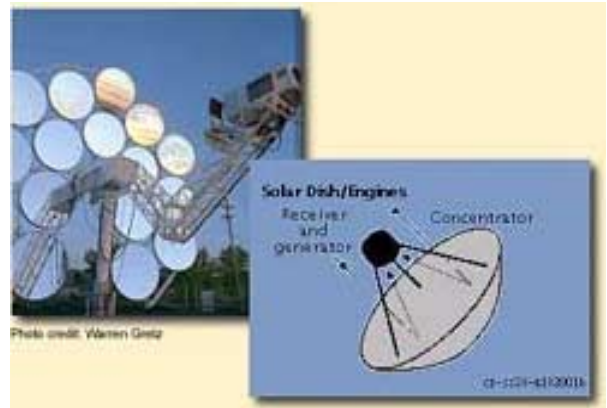


Figura 4



Figura 6



