



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

Energía Solar



**Parte III: Sistemas de alta temperatura
Plantas Solares de Generación Eléctrica**





TEMARIO

- SISTEMAS DE ALTA TEMPERATURA**
- CONCENTRADOR CILINDRO PARABOLICO**
- SISTEMA LINEAL DE FRESNEL**
- DISCO PARABOLICO STIRLING**
- TORRE CONCENTRADORA**
- EJEMPLOS DE GRANDES SISTEMAS DE GENERACIÓN**



Observemos la siguiente ecuación de balance térmico de un colector solar:

$$\alpha \cdot \tau \cdot E = Q_{rad} + Q_{conv} + Q_{cond} + Q_{util}$$

En los típicos sistemas planos, uno actúa sobre la parte derecha de la ecuación, es decir todas las mejoras técnicas buscan reducir las pérdidas térmicas de manera de maximizar la energía útil. Es así como se han desarrollado colectores con cubierta plana, mejores superficies absorbentes, superficies selectivas y muchas otras estrategias para reducir las pérdidas de energía.

Pero en cualquier sistema plano no podemos desmarcarnos del hecho de que la radiación incidente sobre el sistema captor será, en el mejor de los casos, del orden de 1.000 [W/m²] y que por cada metro cuadrado de sistema captor vamos a tener un metro cuadrado de sistema receptor.

Con las técnicas más sofisticadas de reducción de pérdidas térmicas, en la práctica no podremos fabricar sistemas que operen con rendimiento aceptable a temperaturas muy superiores a los 100°C.



SISTEMAS DE ALTA TEMPERATURA PLANTAS DE GENERACIÓN

Para poder utilizar la energía solar en plantas de producción de electricidad, es necesario obtener altas temperaturas (sobre 200 °C, en la práctica hasta 900 °C), lo que se consigue mediante sistemas de concentración de la radiación incidente.

Los sistemas de concentración térmica utilizan como radiación útil solamente la radiación directa (DNI → Direct Normal Irradiation)

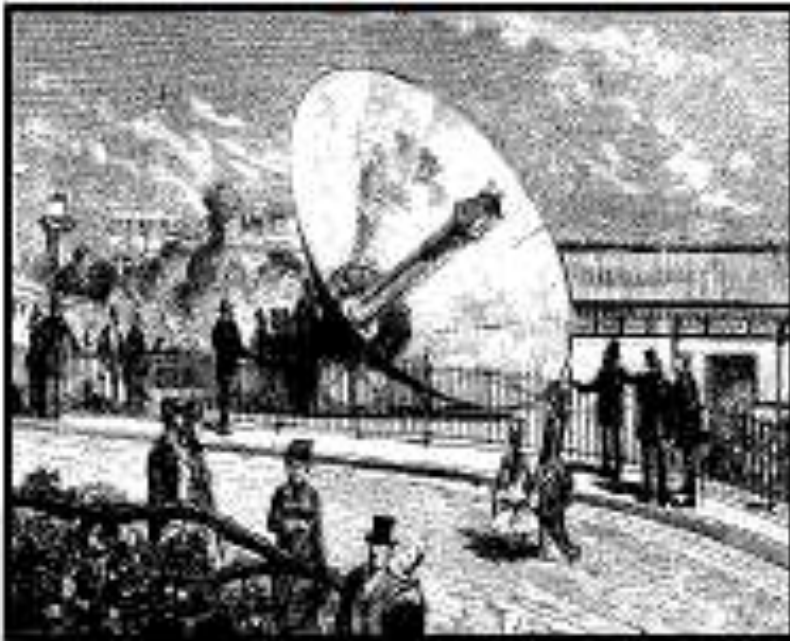
Los sistemas de Energía Solar de Alta Temperatura más desarrollados a la fecha son:

- Sistema de captadores **Cilindro – Parabólicos** (solar trough type)
- Sistema tipo Concentrador Lineal de **Fresnel**
- Concentrador de disco parabólico y motor **Stirling**
- **Torre de concentración** (Power Tower)

SISTEMAS DE ALTA TEMPERATURA PLANTAS DE GENERACIÓN

En 1861 el matemático francés Augustin Mouchot patenta un motor solar y comienza la era moderna de la concentración.

Motor solar de Mouchot en la
Exposición Universal de París (1861)



Primer captador cilindro-parabólico construido
por Shuman en El Cairo en 1912 (62m x 4m)

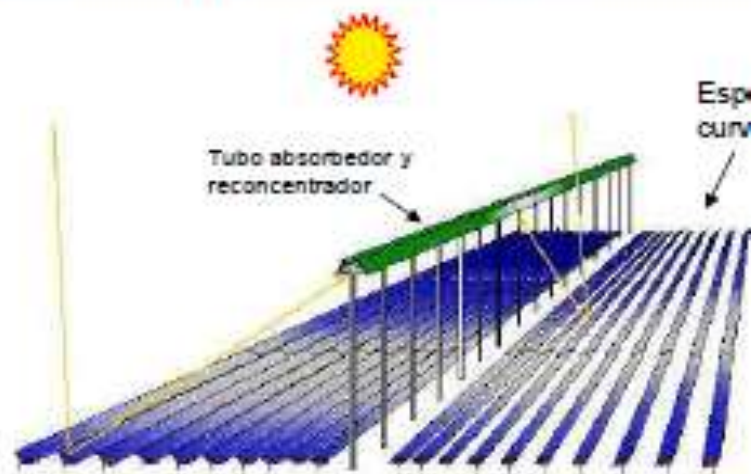


SISTEMAS DE CONCENTRACIÓN A ALTA TEMPERATURA

Sistemas de concentración bidimensional 2D



Cilindro-parabólicos

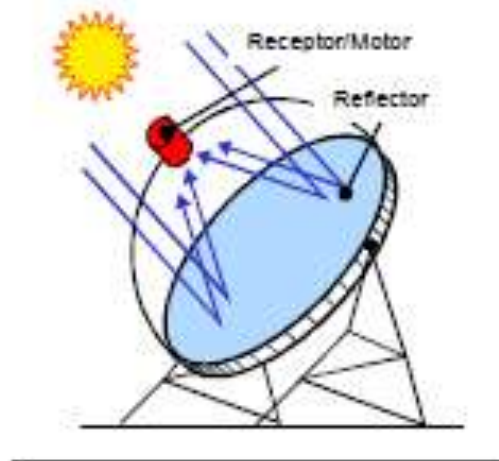


Fresnel Lineal

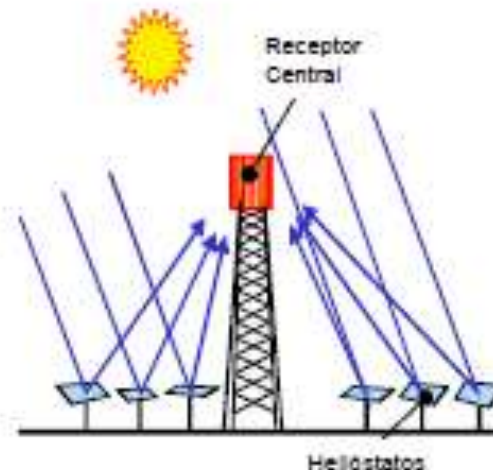


SISTEMAS DE CONCENTRACIÓN A ALTA TEMPERATURA

Sistemas de concentración tridimensional 3D



Discos parabólicos

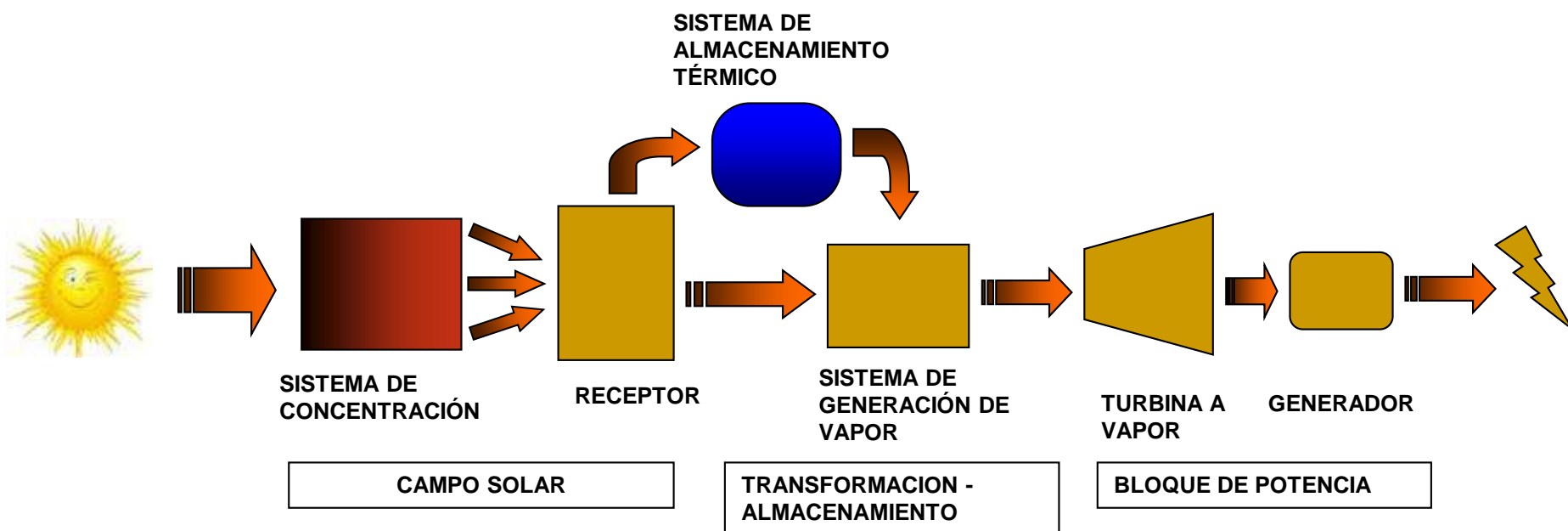


Receptor Central



SISTEMAS DE CONCENTRACIÓN A ALTA TEMPERATURA

Los sistemas de concentración a alta temperatura, permiten la generación de energía eléctrica (transformación), de acuerdo al siguiente esquema:

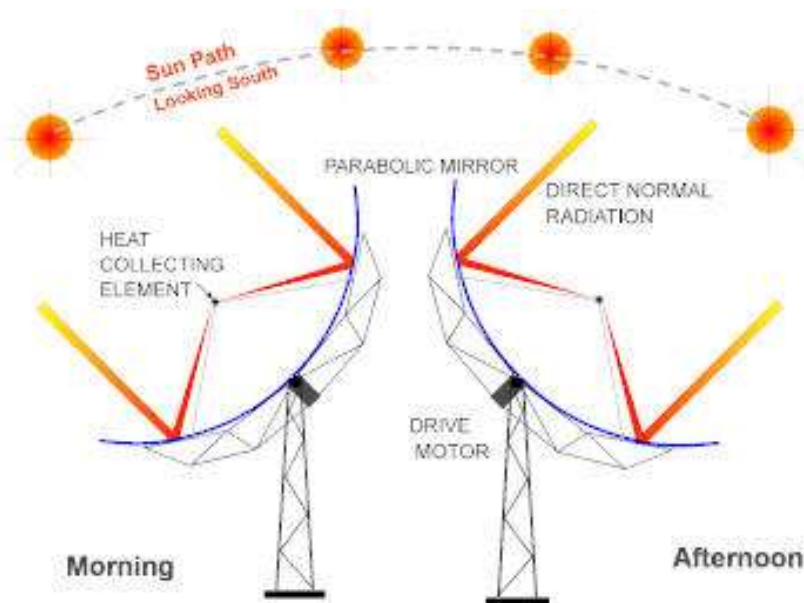


SISTEMA DE COLECTORES CILINDRO – PARABÓLICOS TROUGH TYPE

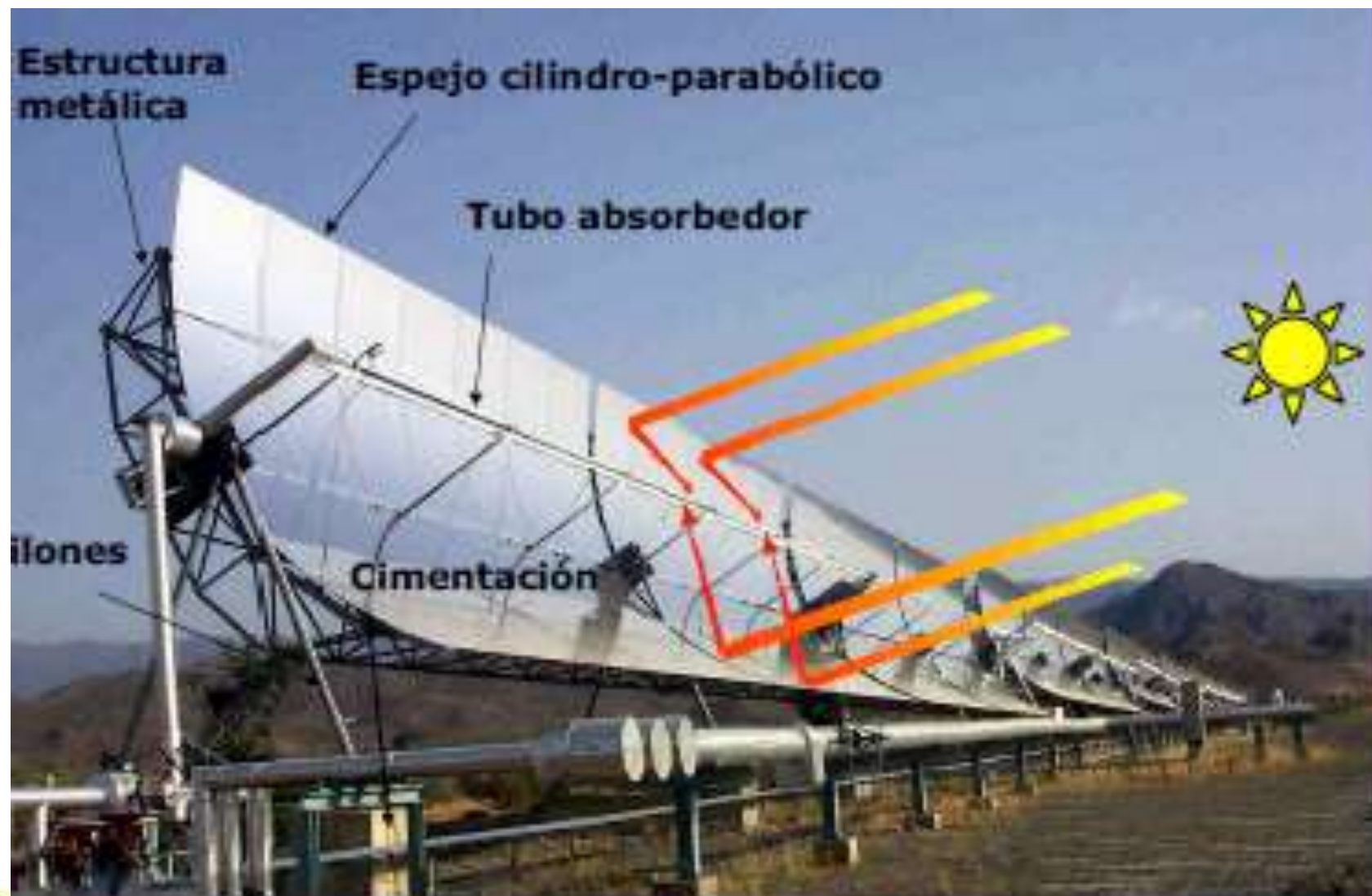
Los principales componentes de una Central Solar Termo Eléctrica Cilindro Parabólica son:

Campo Solar: el sol es colectado a través de espejos que concentran la radiación en un tubo colocado en el foco.

Bloque de Poder: se alimenta del campo solar, a través de un intercambiador de calor, para generar la energía eléctrica y llevarla al cliente.



El factor de planta habitual sin almacenamiento térmico es de alrededor de un 25%, dependiendo de la latitud en donde esté ubicada la planta, lo que se refleja en cantidad de horas de Sol sin nubes y en radiación normal directa.



SISTEMA DE COLECTORES CILINDRO – PARABÓLICOS TROUGH TYPE

Pérdidas geométricas:

Posición relativa de los colectores entre sí (sombras)

Inherentes al colector (movimiento en un solo eje)

Pérdidas térmicas desde el tubo receptor al ambiente:

Radiación y reflexión en Tubo receptor

Pérdidas de calor en circuito del fluido térmico

Pérdidas ópticas:

Superficies imperfectas

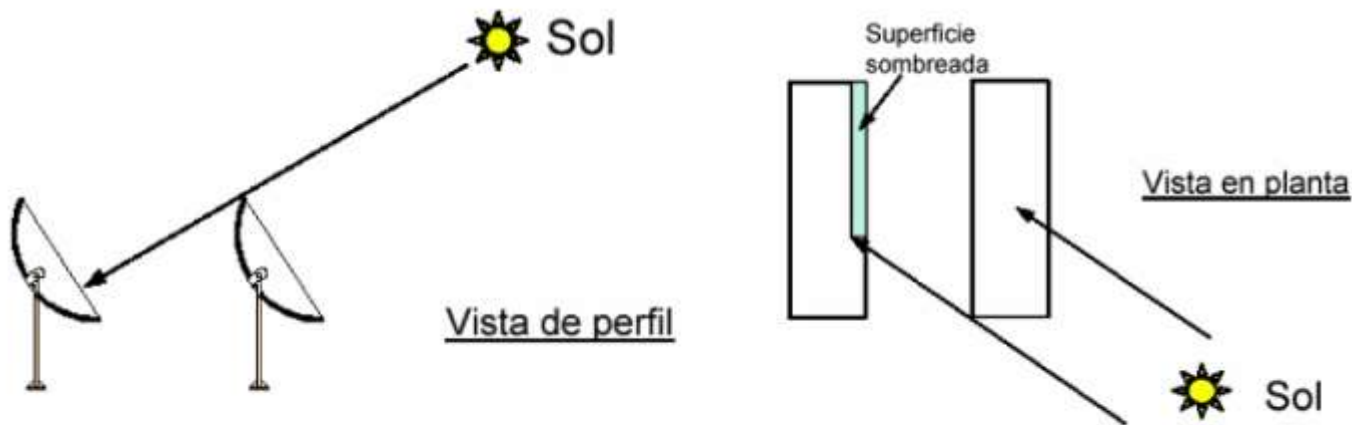


Figura 12. Pérdidas geométricas debidas a sombras entre filas paralelas.

SISTEMA DE COLECTORES CILINDRO – PARABÓLICOS TROUGH TYPE

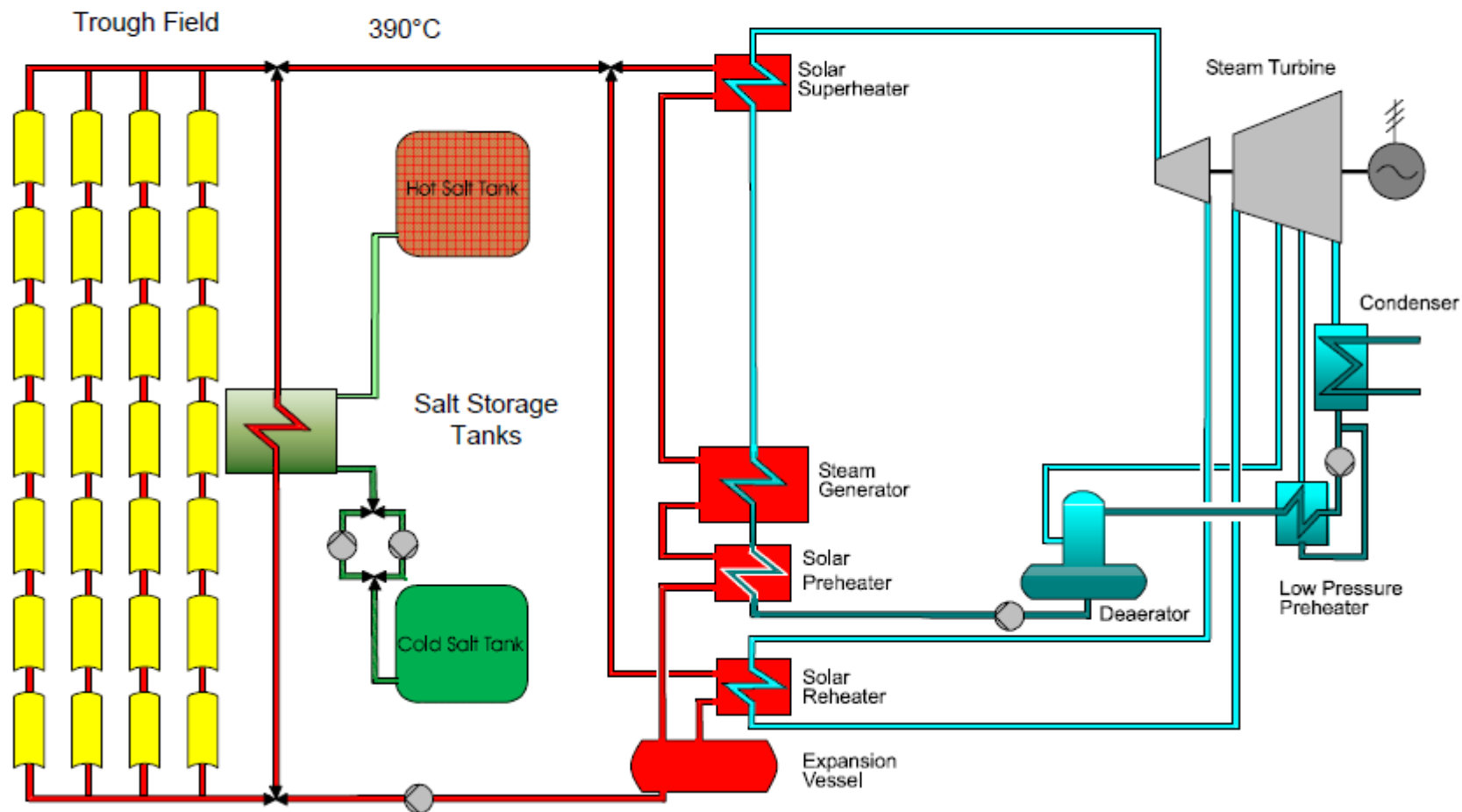


Tecnología madura con 20 de años de funcionamiento continuo probado comercialmente, en California.

Esta es la clave de la tecnología. Tubo colector de energía solar con aceite térmico en su interior. Superficie selectiva, en el interior de un tubo de vidrio al vacío.



Parabolic Trough Power Plant w/ 2-Tank Indirect Molten Salt Thermal Storage



SISTEMA CONCENTRADOR LINEAL DE FRESNEL



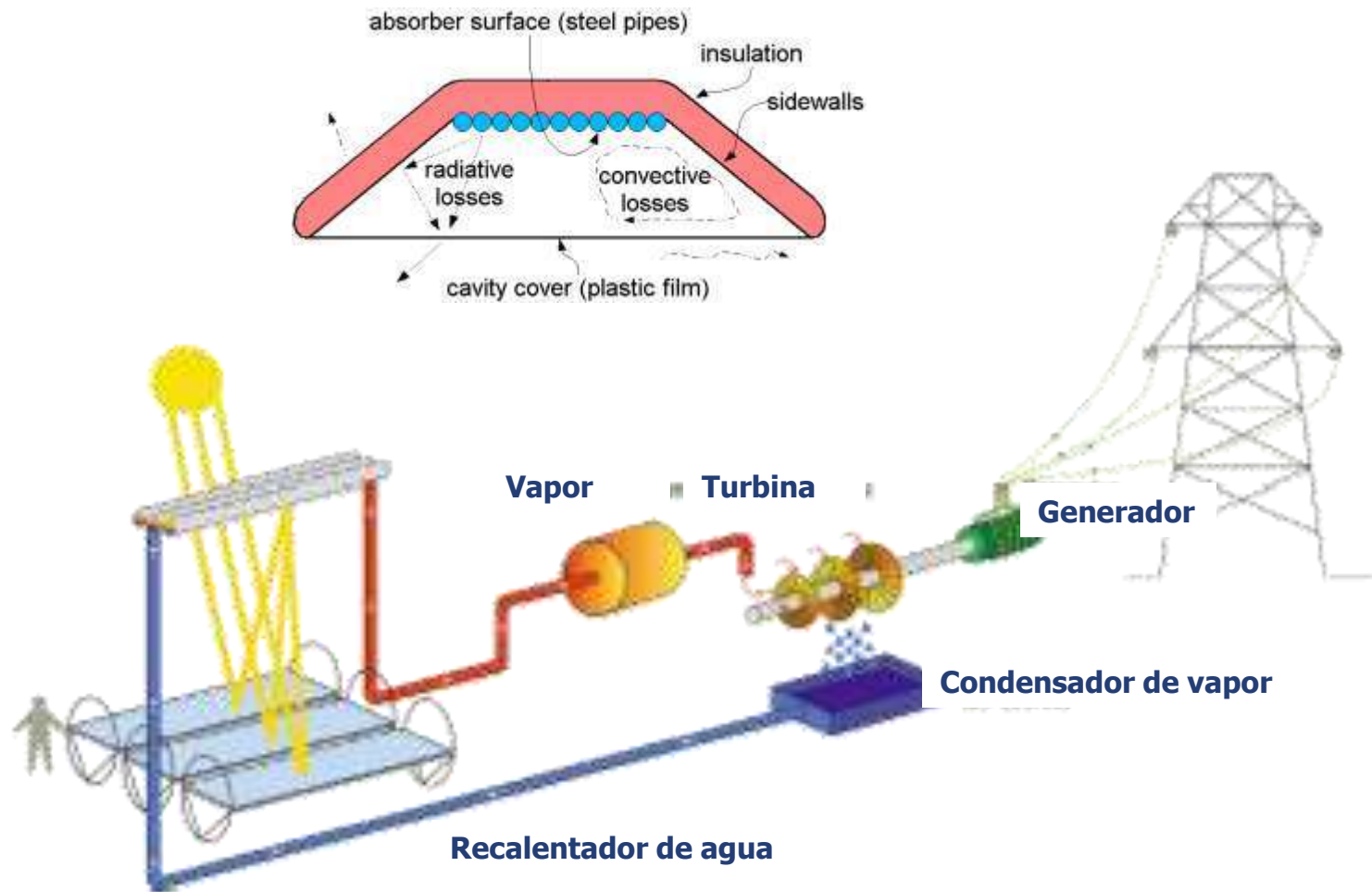
- Los sistemas actualmente en uso, a nivel de demostración generan vapor directo
- Los espejos son planos y forman un segmento parabólico que apunta al foco, en donde está el sistema de captación o colector (tubo)
- Temperatura de generación máxima alrededor de 300 °C
- Tiene aproximadamente un 60-70% de rendimiento de una cilindro parabólico
- Tiene un costo de aproximadamente un 70% de la cilindro parabólica

SISTEMA LINEAL DE FRESNEL



Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Plantas de producción eléctricas conectadas a red. (Máxima potencia nominal demostrada hasta la fecha: 1 MWe). Producción de calor de proceso.	Facilidad de fabricación y bajo coste. Mayor robustez y menor mantenimiento. Sistema de seguimiento sencillo. Uso eficiente del terreno. Generación de vapor Directa.	Temperaturas de operación más bajas que los cilindro-parabólicos (hasta 300 °C). Tecnología poco consolidada comercialmente.

SISTEMA LINEAL DE FRESNEL



SISTEMA LINEAL DE FRESNEL



TORRE DE CONCENTRACIÓN (TORRE DE POTENCIA O POWER TOWER)

En este sistema, el sol es reflejado por espejos planos, llamados **Helióstatos**, hacia un solo punto de concentración, llamado **Receptor**, ubicado en lo alto de una **Torre**. Los heliostatos son distribuidos alrededor de la torre, en forma circular o concentrados en un lado, en lo que constituye el **Campo Solar**.

Los heliostatos están premunidos de un sistema de seguimiento en tres dimensiones. Normalmente sus dimensiones son de alrededor de 10 x 10 m



TORRE DE CONCENTRACIÓN

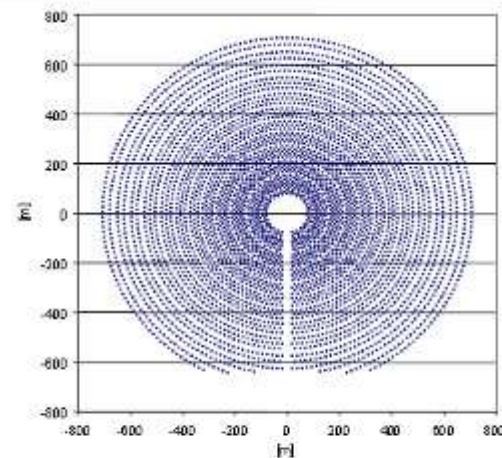
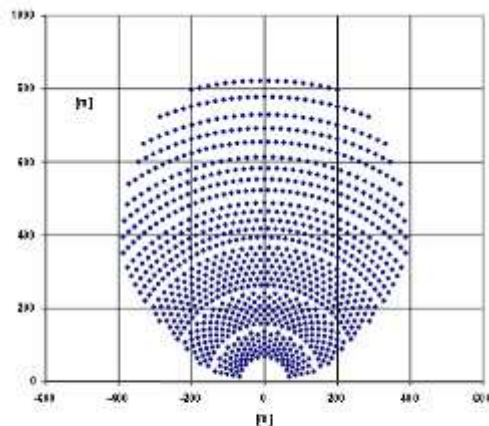


Figura 19. Despliegues típicos de un campo de heliostatos alrededor del receptor (situado en el origen de coordenadas): a la izquierda, campo Norte; a la derecha, campo circundante.

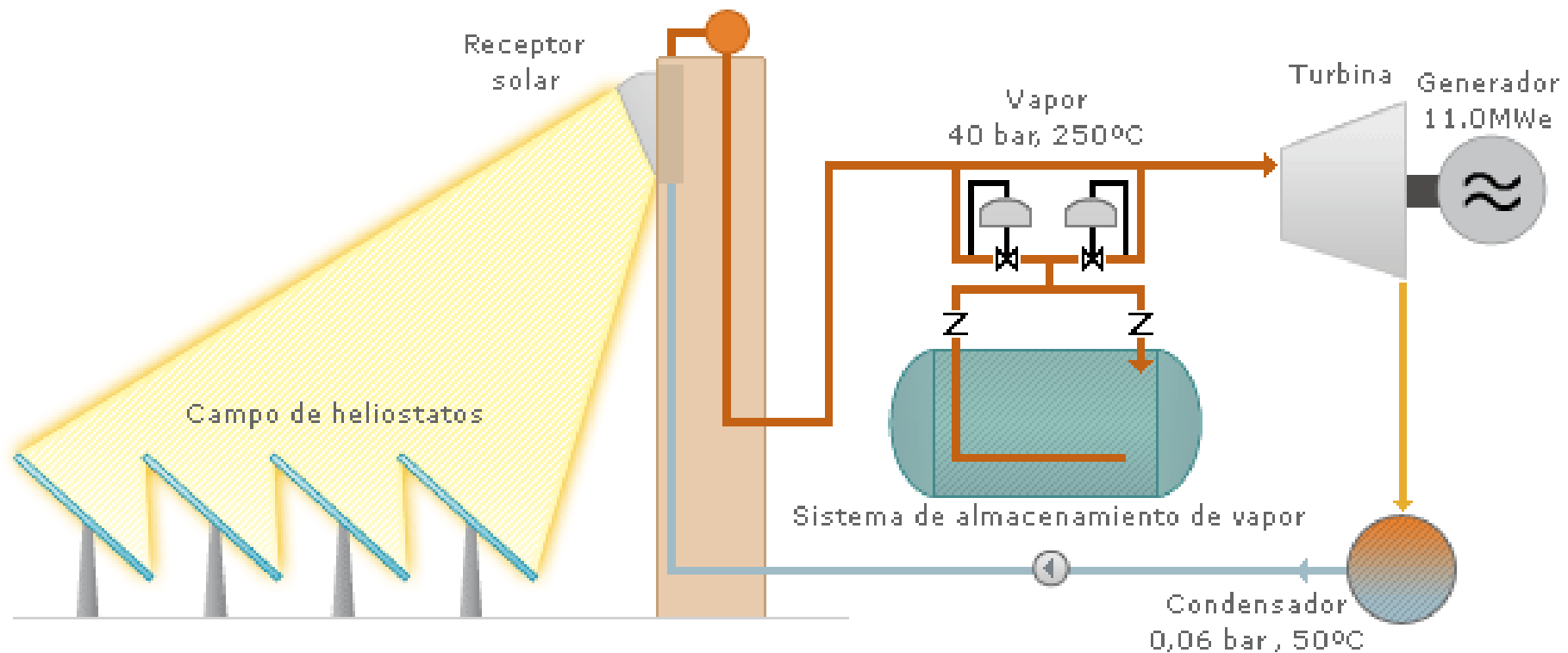


TORRE DE CONCENTRACIÓN

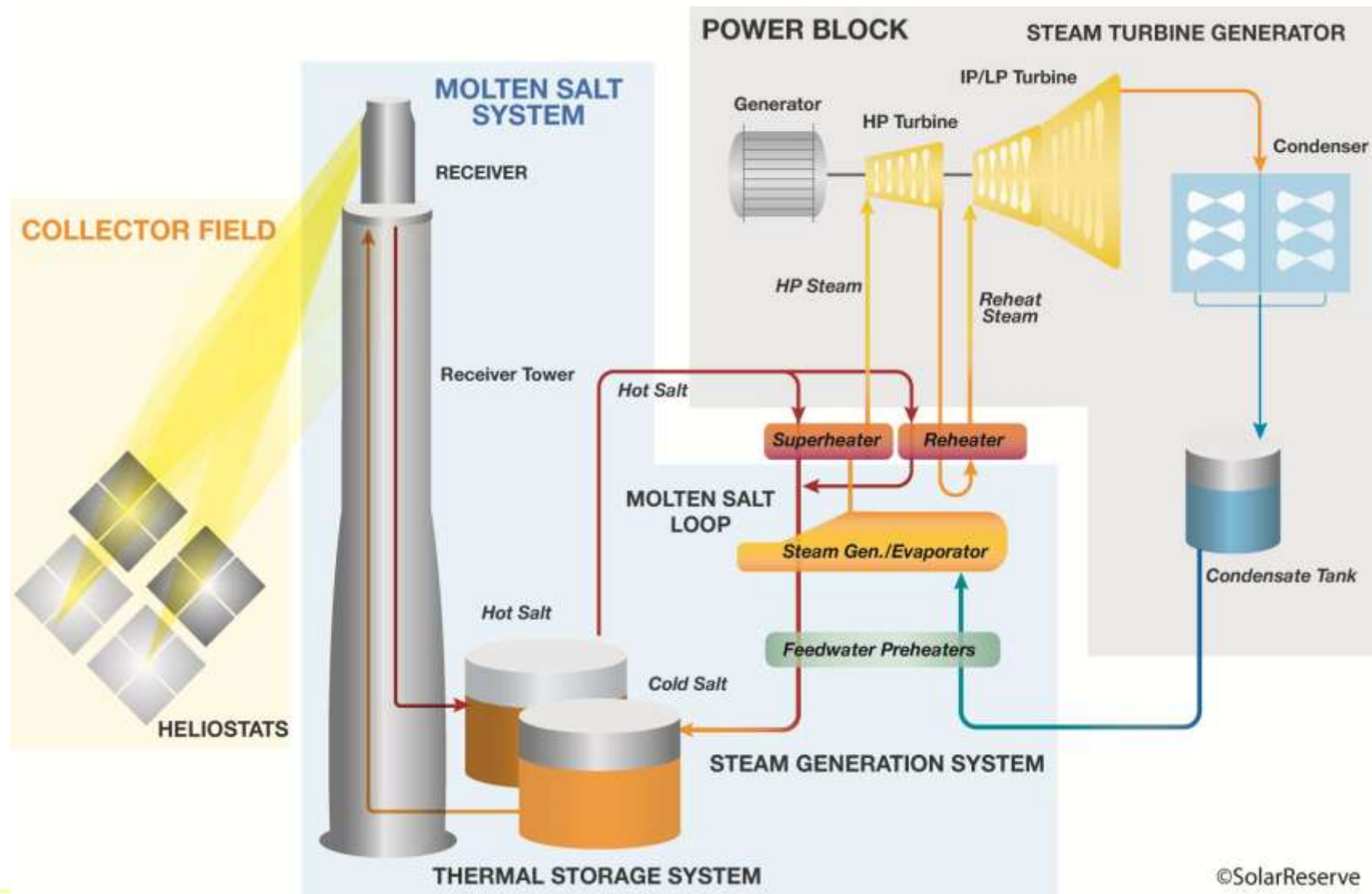


Planta CSP Crescent Dunes, Tonopah, USA
Torre de Potencia, 110 MW, Acumulación mediante sales fundidas

TORRE DE CONCENTRACIÓN



TORRE DE CONCENTRACIÓN



TORRE DE CONCENTRACIÓN

Pérdidas en la captación

Pérdidas geométricas (helióstatos)

Pérdidas por factor coseno

Pérdidas por sombras

Pérdidas por bloqueos

Pérdidas por reflectividad

Pérdidas en la transmisión a través de la atmósfera

Pérdidas en la captación de la radiación solar concentrada por el receptor (geometría)

Pérdidas en la conversión fototérmica (receptor)

Pérdidas por radiación

Pérdidas por convección

Pérdidas por conducción

Pérdidas en la parte convencional (equipos)

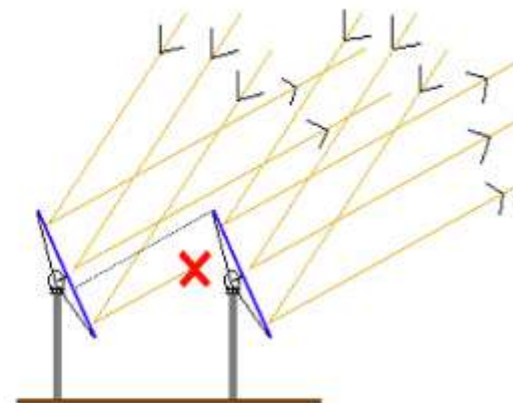
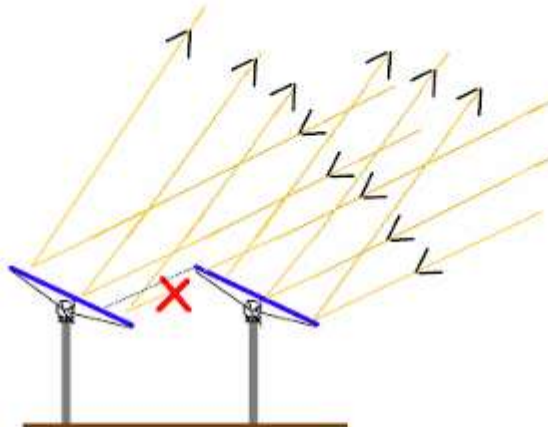
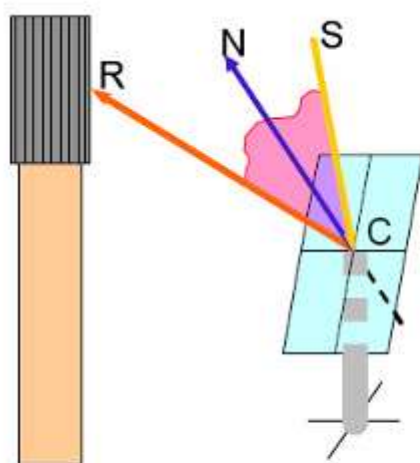


Figura 21. De izquierda a derecha: pérdidas por factor coseno, sombras y bloqueos

CONCENTRADOR PARABÓLICO CON MOTOR STIRLING

En los concentradores parabólicos de disco, el sistema de concentración es una superficie parabólica en forma de disco, en la que los rayos del sol son reflejados, confluyendo en el foco de la parábola, donde se ubica el elemento receptor. El receptor es un motor tipo Stirling, que aprovecha la elevada temperatura de la zona caliente de éste para moverse impulsado por la energía solar.

Cada motor, y por consiguiente cada disco concentrador tienen un generador propio, lo que constituye de por sí un sistema de generación distribuido.



Motor Stirling



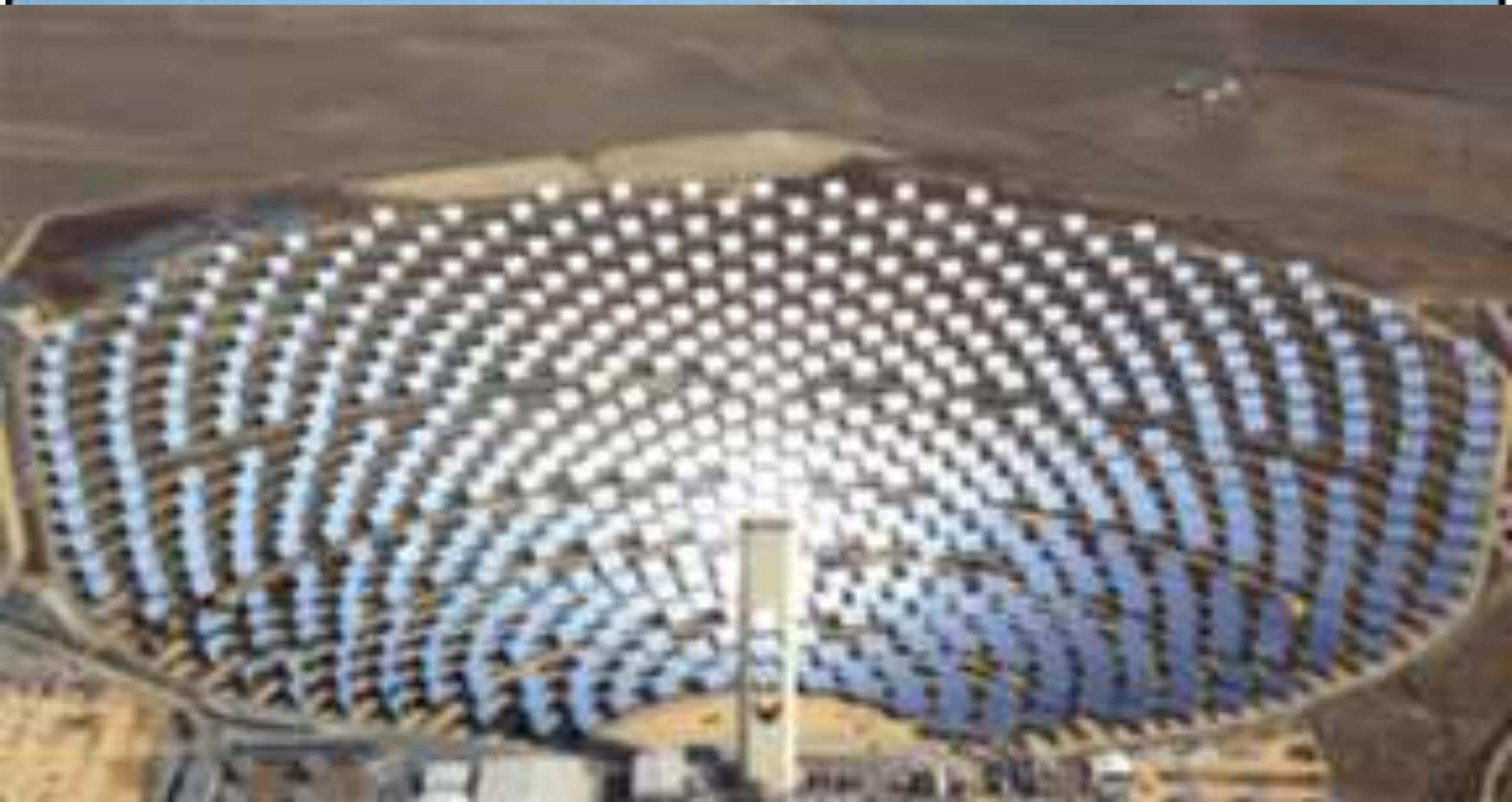


CONCENTRADOR PARABÓLICO CON MOTOR STIRLING





PS 10





EJEMPLOS DE GRANDES PLANTAS DE GENERACIÓN SOLAR

ANDASOL 1 GRANADA, ESPAÑA



64 MW Acciona Nevada Solar One (2007) Nevada, USA





50 MW Andasol One and Two with Storage (2009) Andalucía, Spain





Abengoa Power Towers and Trough Plants Seville, Spain





Stirling Energy Systems 25kW Prototypes New Mexico, USA





Ausra 5 MW Linear Fresnel demo California, USA





FIN DE LA TERCERA PARTE

