

CAPÍTULO 3: CENTRALES TERMOSOLARES DE CAPTADORES TIPO CP

En la figura 3.1 se representa un esquema de las Centrales energéticas termosolares cuyo sistema concentrador-receptor es un campo de captadores de canal parabólico:

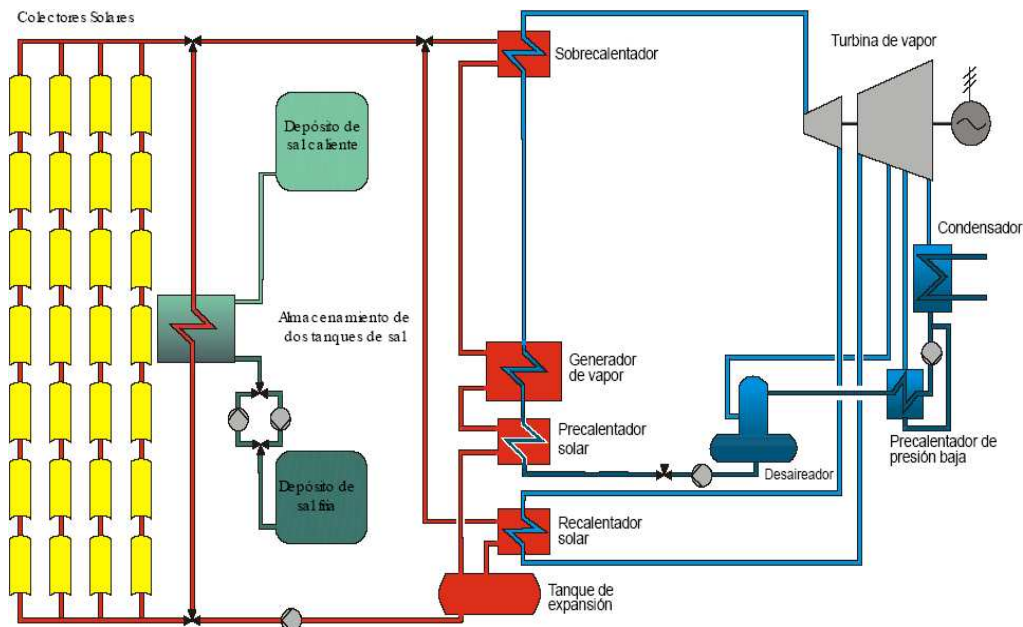


Figura 3.1. Central energética termosolar con campo de concentradores CP.

Los componentes básicos de estas plantas son:

- ✓ Campo de captadores solares de canal parabólico
- ✓ Sistema de almacenamiento térmico (si lo hubiera)
- ✓ Generador de vapor (intercambiador de calor aceite/agua)
- ✓ Caldera auxiliar de combustión fósil (si la hubiera)
- ✓ Depósito de expansión
- ✓ Sistema de potencia

3.1 CAMPO SOLAR DE CAPTADORES

Un campo típico de captadores (ver figura 3.3.1) está compuesto por filas paralelas de éstos. Cada fila, a su vez, está compuesta por varios captadores conectados en serie de manera que el fluido de trabajo que circula por los tubos absorbentes es calentado conforme circula desde la entrada a la salida de cada fila. Así pues, el número de captadores por fila está determinado por el salto de temperatura requerido bajo las condiciones de diseño. La potencia total requerida queda fijada con el número de filas que se colocan en paralelo.



Figura 3.1.1. Vista de un campo típico de captadores de canal parabólico

Aunque cualquier orientación es posible en principio, las filas de captadores suelen orientarse o bien en la dirección norte-sur o este-oeste. Las variaciones estacionales en la energía térmica suministrada diariamente por un captador CP orientado norte-sur pueden ser bastante grandes, hasta tres veces mayor en verano que en invierno, dependiendo de la latitud y las condiciones atmosféricas del lugar. Sin embargo, estas variaciones en la energía incidente para orientación este-oeste son mucho menores, lo que permite tener un aporte térmico más estable durante todo el año. No obstante, conviene saber que la energía total suministrada en un año completo para un captador orientado Norte-Sur es mayor que la suministrada por un captador orientado Este-Oeste (para zonas situadas en el hemisferio norte).

La figura 3.1.2 muestra gráficamente estas dos orientaciones:

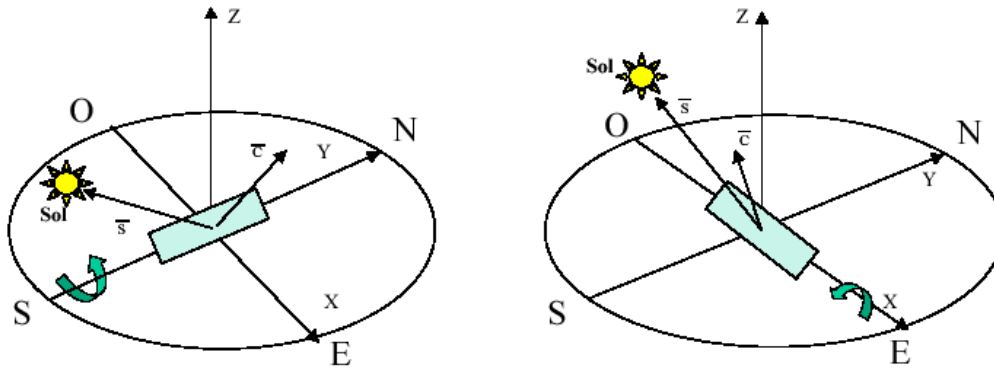


Figura 3.1.2. Las dos principales orientaciones del eje de giro de un CP

3.2 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO: BREVE INTRODUCCIÓN.

Una de las características principales de la energía solar es su discontinuidad en el tiempo (solo es posible captarla durante el día). Pero a esta limitación que afecta a todos los sistemas de captación solar, hay que añadir una segunda restricción: cuando se trata de sistemas captadores de concentración, como es el caso de los de canal parabólico, sólo pueden aprovechar la radiación solar directa, por lo que necesitan que no haya nubes.

Cuando no se precisa suministrar potencia por la noche o durante períodos nublados, no es necesario un sistema de almacenamiento. Pero si se desea la producción de electricidad durante períodos en los que no hay radiación solar directa o una mayor continuidad y fiabilidad de la producción de la planta, será necesario un sistema de almacenamiento que guarde parte de la energía térmica suministrada por los captadores solares durante las horas de sol. La idea es poder cederla al sistema en aquellos momentos en los que no hay radiación.

3.3 GENERADOR DE VAPOR

El generador de vapor es el componente donde la energía térmica suministrada por el sistema solar es cedida a un circuito agua/vapor. De este modo se produce el vapor necesario para alimentar a la turbina. Por lo tanto, el generador de vapor es la interfase entre el sistema solar (campo de captadores más sistema de almacenamiento) y el ciclo de vapor.

Dependiendo del tipo de vapor (sobrecalentado o no), el esquema del generador de vapor será uno u otro, aunque suele estar conformado por cuatro cuerpos:

1. **Pre calentador o Economizador:** donde el agua se precalienta hasta una temperatura próxima a la de evaporación.
2. **Evaporador:** que es recorrido por el flujo bifásico (donde se produce el intercambio de calor aceite-agua).
3. **Sobrecalentador:** donde el vapor se calienta a la temperatura máxima del ciclo, superior a la de saturación para la presión de trabajo.
4. **Recalentador:** donde se recalienta el vapor entre el cuerpo de alta y el de media presión de la turbina, para aumentar la temperatura media de aportación y por ello mejorar el rendimiento del ciclo.

3.4 CALDERA AUXILIAR DE COMBUSTIÓN FÓSIL

Como ya se ha comentado, las CETS que disponen de esta combustión auxiliar son denominadas *híbridas*. Para plantas comerciales cuya finalidad es la maximización de los beneficios de la venta de energía eléctrica, este es un componente necesario porque, no solo complementa al sistema de almacenamiento en su tarea de desacople entre el campo solar y la isla de potencia, sino que además aumentará la producción. La normativa vigente en el país de implantación será determinante a la hora de establecer el tamaño y características de este sistema.

3.5 DEPÓSITO DE EXPANSIÓN

Este equipo es el encargado de absorber los cambios de volumen a los que se ve sometido el aceite térmico encerrado en el campo por las variaciones que sufre su temperatura con las condiciones climatológicas. Además sirve de amortiguador para la temperatura de entrada al campo.

3.6 PLANTA DE POTENCIA

El sistema de conversión de potencia, que se conoce internacionalmente con las siglas PCS (Power Conversión System), es donde tiene lugar el aprovechamiento de la energía térmica suministrada por el sistema solar. La configuración del PCS depende del tipo de proceso industrial al cual se acopla el campo solar, por lo que puede variar sustancialmente de una instalación a otra. La mejor manera de conocer las configuraciones más comunes de PCS es ver el esquema de aplicaciones reales

que existen actualmente funcionando con captadores de canal parabólico. En este tipo de plantas el ciclo de potencia que se utiliza es el ciclo de Rankine o de Vapor.

El agua es uno de los fluidos de trabajo más disponibles y adecuados para emplear en un ciclo de potencia. La mayoría de las centrales termoeléctricas que se han construido hasta la fecha (térmicas convencionales, de biomasa, nucleares, termosolares...) y que se implementarán en un futuro por lo menos cercano emplean agua como fluido de trabajo del ciclo de potencia. En las figuras 3.6.1 y 3.6.2 se pueden ver los esquemas básicos de un ciclo de Rankine, mostrando tanto los equipos físicos por los que pasa el agua al describir el ciclo, como su evolución en un diagrama temperatura-entropía (García Casals, 2001).

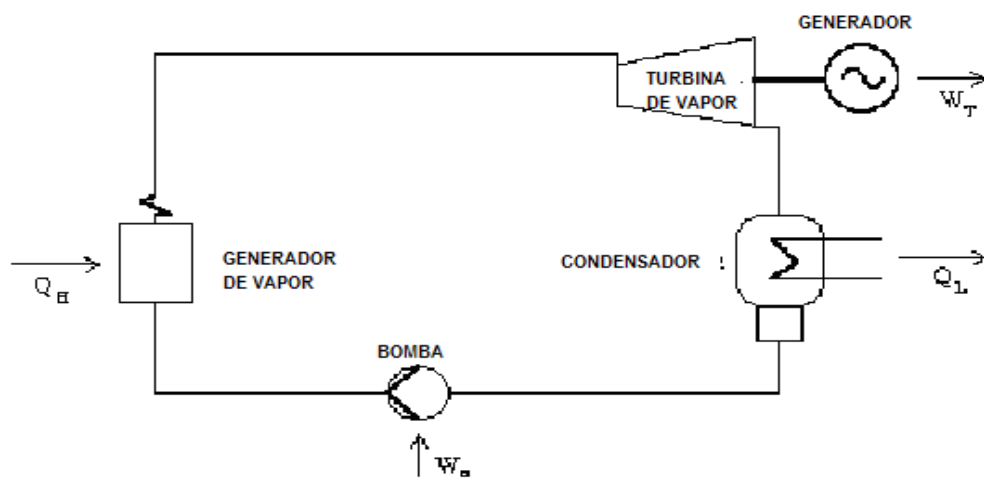


Figura 3.6.1. Esquema básico de un ciclo de Rankine

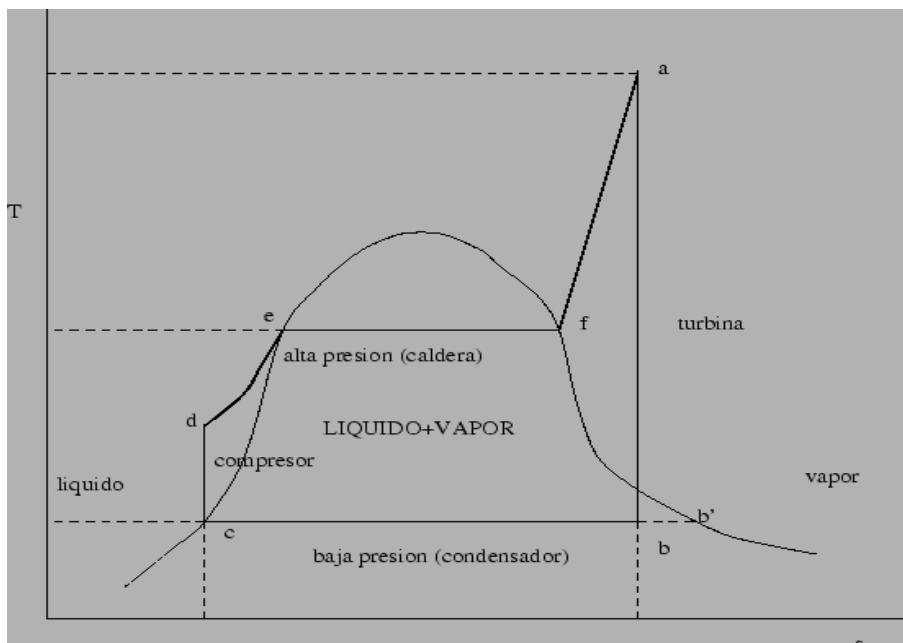


Figura 3.6.2. Diagrama T-s del ciclo básico de Rankine

El agua que describe el ciclo pasa en primer lugar por el generador de vapor donde recibe el aporte de energía térmica del recurso solar y caldera auxiliar, que provoca su evaporación y sobrecalentamiento. Posteriormente el vapor producido se dirige hacia la turbina de vapor donde se expande, transformándose la energía térmica en mecánica que se usará para mover el generador eléctrico. A la salida de la turbina se extrae el calor residual del ciclo en el condensador, produciendo de nuevo el paso a fase líquida del agua, que a continuación se dirige a una bomba encargada de aumentar su presión hasta la necesaria para vencer las pérdidas de carga en el generador y disponer a la turbina de la presión requerida en su entrada. El rendimiento en este ciclo depende, entre otros, de los siguientes factores:

- ✓ **Temperatura de vapor vivo.** Cuanto más elevada, mayor el rendimiento.
- ✓ **Temperatura (o presión) de condensación del vapor.** Cuanto más baja, mayor rendimiento.
- ✓ **Presión en el aporte de calor al ciclo.** Cuanto más elevada, mayor rendimiento.
- ✓ **Rendimiento de las turbomáquinas (bomba y turbina).** Cuanto más elevado, mejor.

En cualquier caso, el rendimiento de este ciclo siempre será menor al factor de Carnot entre las temperaturas extremas. Así, si consideramos un ciclo de Rankine con temperatura máxima del vapor de 370 °C, presión del vapor de 100 bar, presión de condensación de 0,04 bar, y rendimientos del 100% en bomba y turbina, obtenemos un $\eta_{\text{ciclo}} = 40,5\%$, mientras que el factor de Carnot asociado a las temperaturas extremas del ciclo es del 53%.

Las restricciones tecnológicas y del entorno son las que imponen limitaciones en el valor de los parámetros que condicionan el rendimiento del ciclo de Rankine.

Las presiones de entrada en turbina está limitada por el contenido en humedad del vapor a la salida de la turbina: Si hay demasiadas gotas de agua en el vapor, se degradarán los álabes de la turbina rápidamente. Esta limitación es bastante severa, y obliga a introducir un recalentamiento del vapor antes de terminar su expansión en la turbina (ciclo Rankine recalentado) para poder trabajar con presiones elevadas.

La temperatura de entrada en turbina está limitada por una parte por la resistencia estructural de los materiales con los que se construyen los componentes del ciclo, especialmente el generador de vapor por ser un elemento con una longitud de tuberías muy elevada (aumentando mucho su precio al incrementarse la temperatura de vapor vivo nominal). Teniendo en cuenta tal consideración se suele limitar la temperatura en valores cercanos a 550 °C. Sin embargo, en el caso de las plantas termosolares, la limitación más restrictiva la impone la temperatura máxima que puede alcanzar el aceite con el objetivo de evitar su degradación, siendo su valor bastante inferior al permitido por la propia resistencia estructural de los materiales. En este sentido el valor máximo de temperatura de entrada a la turbina se situará en torno a 375 °C.

La temperatura de condensación está limitada por la temperatura de la masa de agua o el aire que empleemos para refrigerar el ciclo, encontrándonos en el rango de 30 °C al refrigerar con agua fría hasta 60 °C al refrigerar con aire. De aquí la gran importancia que adquiere la disponibilidad de una masa de agua fría en las cercanías del emplazamiento de una central termoeléctrica implementando este ciclo.

Existen dos modificaciones principales al ciclo de Rankine básico. Una de ellas ya la hemos comentado, el recalentamiento del vapor antes de terminar su expansión en la turbina. El motivo fundamental de esta modificación es poder emplear mayores presiones de entrada en turbina; Además valores elevados de dicha presión también contribuye a aumentar el rendimiento del ciclo. La otra modificación es el precalentamiento regenerativo, que consiste en hacer extracciones de vapor desde la turbina y emplearlas para precalentar el agua antes de entrar en el generador, lo cual tiene el efecto directo de aumentar el rendimiento del ciclo al incrementarse la temperatura media a la cual introducimos la energía térmica en el mismo.

Todas las turbinas de estas centrales, además de las convencionales alimentadas por combustible fósil, tienen hasta 6 extracciones. En el campo solar, con los lazos que se están montando actualmente (600 m) el incremento de temperatura, con un caudal que no ocasione problemas de degradación del aceite (el límite inferior viene fijado por el caudal mínimo de aceite y el superior por las pérdidas de carga), es de unos 100 °C para unas condiciones de radiación entorno a los 850 W/m² (también influirá en el incremento de temperatura la posición solar). En esta configuración la regeneración sí tiene sentido, ya que para llegar a cerca de 400 °C a la salida necesitamos 300 °C en la entrada. Si se elimina la regeneración habría que pensar en otras configuraciones de los lazos. No obstante, la regeneración siempre eleva el rendimiento del ciclo. En

las figura 3.6.3 se muestra un esquema básico de del funcionamiento de un ciclo de Rankine regenerativo con varias extracciones de vapor de la turbina.

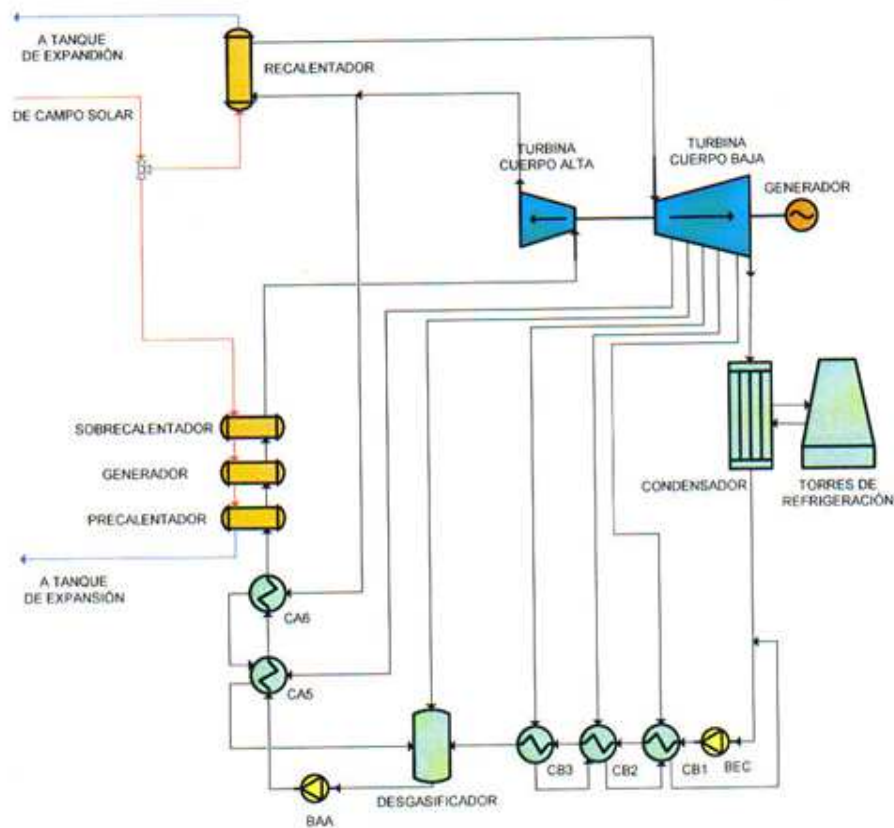


Figura 3.6.3.Esquema del ciclo de potencia de Rankine regenerativo.

Como se puede observar en el esquema del ciclo de potencia regenerativo mostrado, las bombas presentes se encuentran una detrás del condensador y la otra detrás del desaireador o desgasificador, siendo esta última la que más consume.

En el siguiente punto me voy a centrar en un análisis mucho más completo y detenido de los sistemas de almacenamiento que se usan en las plantas termosolares objeto de estudio. Previamente (3.2) he realizado una breve contextualización del objetivo de los sistemas de almacenamiento, pero a continuación se va a realizar un análisis general, considerando la necesidad de este tipo sistemas, los tipos existentes, los mecanismos de almacenamiento, hasta llegar a la caracterización del sistema de sales fundidas que se utiliza en las plantas que se están desarrollando en España.