



Modulo: Electricidad Termosolar

Captadores Cilindroparabólicos

SESIÓN 11: CAMPOS SOLARES CON CAPTADORES CILINDRO-PARABÓLICOS. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Año 2015-2016

PROFESOR:

Eduardo Zarza Moya

Para ver esta publicación, debe
disponer de QuickTime™ y de
un decodificador.

Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, NoComercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Índice

| | |
|---|-----------|
| 1. Intrudcción | 3 |
| 2. Componentes básicos en una planta solar con CCPs..... | 3 |
| 2.1 CAMPOS DE CAPTADORES SOLARES CILINDROPARABÓLICOS..... | 3 |
| 2.2 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA | 7 |
| 2.3 INTERFASE CON EL PROCESO INDUSTRIAL..... | 14 |
| 3. Mantenimiento de campos de ccps | 16 |
| 3.1 CAMPO DE CAPTADORES CILINDROPARABÓLICOS | 16 |
| 3.2 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO..... | 17 |
| 4. Factores que influyen en la viabilidad comercial de los sistemas solares con CCPs | 18 |
| 4.1 FACTORES MEDIOAMBIENTALES..... | 18 |
| 4.2 FACTORES DEL PROCESO..... | 19 |
| 4.3 FACTORES ECONÓMICOS | 20 |
| 5. Referencias | 22 |

1. Introducción

La finalidad básica de cualquier sistema con captadores cilindroparábolicos (CCPs) es la captación de la energía solar para aplicarla dentro algún proceso como sustituto de las fuentes energéticas convencionales. Normalmente, los campos de captadores cilindroparábolicos se utilizan para alimentar procesos industriales térmicos que necesitan calor para su realización (industrias alimentarias, petroquímicas, etc.) o para producir electricidad e inyectarla en la red de distribución.

Para cumplir bien su finalidad, el campo de captadores solares debe ir acompañado de una serie de subsistemas complementarios que hagan posible tal aplicación, como es el caso de los sistemas de almacenamiento térmico y el sistema de inertización del circuito de aceite. En esta Sección se describirán las características principales de los diferentes subsistemas que integran una planta solar con captadores cilindroparábolicos.

2. Componentes básicos en una planta solar con CCPs

Como ya se ha puesto de manifiesto al principio de este documento, la finalidad básica de cualquier sistema con captadores cilindroparábolicos (CCPs) es la captación de la energía solar para aplicarla dentro de algún proceso como sustituto de las fuentes energéticas convencionales (carbón, gas, etc.). Para hacer posible tal aplicación, es necesario que el campo de captadores vaya acompañado de una serie de subsistemas complementarios. En general, un sistema con CCPs está compuesto por tres subsistemas (ver figura 1):

1. Campo de captadores solares cilindroparábolicos
2. Sistema de almacenamiento térmico
3. Interfase con el proceso industrial, que suele ser un intercambiador de calor o caldera.

A continuación se describen las características de cada uno de estos subsistemas.

2.1 Campos de Captadores Solares Cilindroparábolicos

Un campo típico de CCPs (ver figura 2) está compuesto por filas paralelas de captadores cilindroparábolicos. 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 absorbedores es calentado conforme pasa desde la entrada a la salida de cada fila. Cuanto mayor sea el incremento de temperatura que deseamos dar al fluido de trabajo, mayor número de captadores hemos de conectar en serie dentro de cada fila del campo solar

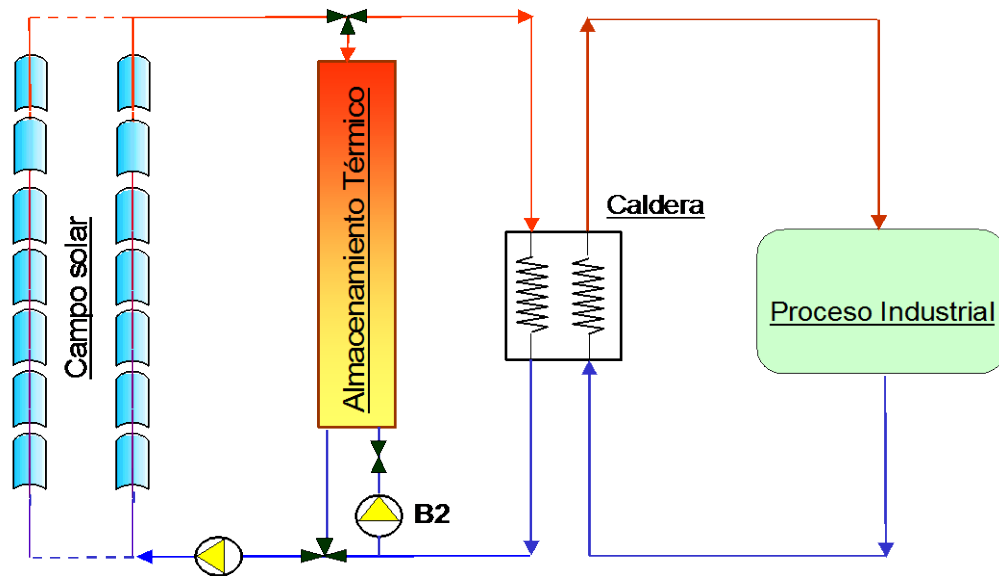


Figura 1: Esquema simplificado de un sistema con CCPs

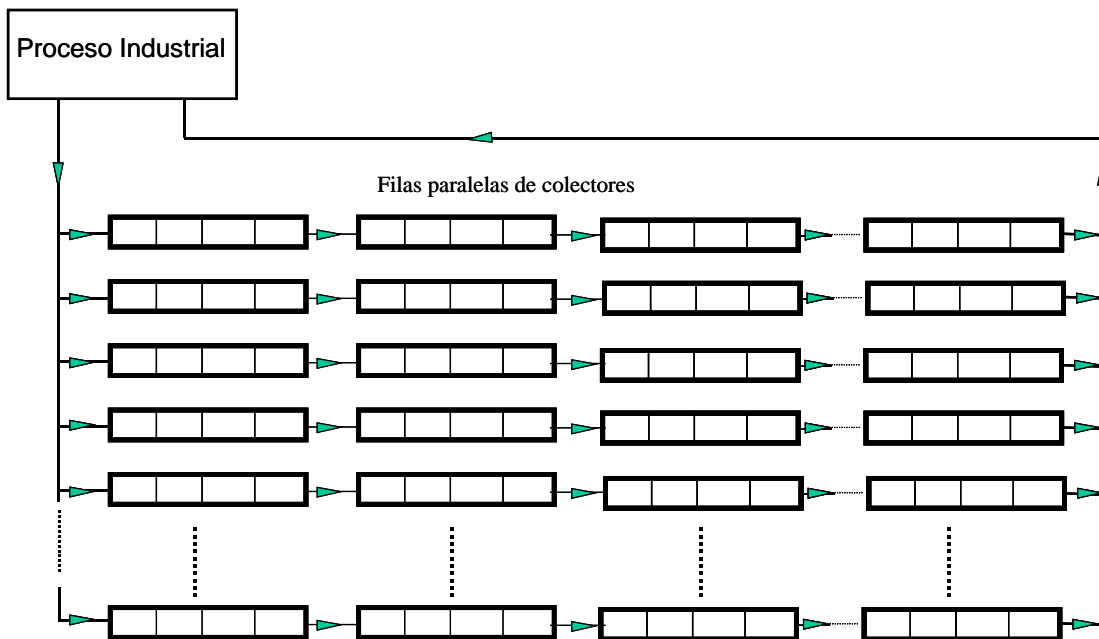


Figura 2: Esquema de un campo típico de captadores cilindroparabólicos

Los cilindroparabólicos están generalmente instalados en el campo de captadores de forma que sus ejes de rotación están orientados Norte-Sur o Este-Oeste. Sin embargo, cualquier orientación otra es posible, siempre que la orientación sea la misma para todas las filas. Si la orientación de las filas no fuera la misma, la radiación disponible sobre ellas variaría mucho de unas filas a otras, por tener un

diferente ángulo de incidencia, y ello dificulta seriamente la controlabilidad de la temperatura del fluido de trabajo a la salida del campo de captadores.

En la Sesión 7 de este Módulo se explica el procedimiento de diseño de los campos de captadores cilíndricos parabólicos. Lo que sí veremos en esta Sección 5 son las diversas configuraciones que pueden adoptar las tuberías del campo solar. Existen tres tipos principales de configuraciones para las tuberías, denominadas: Retorno Directo, Retorno Inverso, y Alimentación Central. La figura 3 muestra esquemáticamente estas tres configuraciones básicas.

En las tres configuraciones se tiene que la tubería de salida del campo de captadores (tubería caliente) es de menor longitud que la tubería de entrada (tubería fría), con el fin de minimizar las pérdidas térmicas. Cada una de estas configuraciones tiene ventajas y desventajas cuando se comparan una con otra, por lo que es necesario hacer un análisis detallado para ver cual de ellas es la más conveniente para cada caso concreto.

La configuración de Retorno Directo es la más sencilla, y es la que se suele utilizar cuando el número de filas paralelas es pequeño. Su principal inconveniente es el desequilibrio de caídas de presión entre las diferentes filas de captadores. Este desequilibrio de caídas de presión es provocado por la diferente longitud de tuberías de entrada y de salida correspondiente a cada fila, lo que obliga a utilizar válvulas a la entrada de cada fila para compensar estas diferencias y conseguir el mismo caudal por cada una de las filas. Estas válvulas auxiliares que hay que colocar al menos en las primeras filas, tienen una significativa contribución a la pérdida total de presión en el campo solar. El resultado es una mayor energía de bombeo para el sistema de retorno directo que para el sistema de retorno inverso.

En la configuración de Retorno Inverso el fluido entra al campo de captadores por lados opuestos, con lo que se logra un cierto equilibrio de las caídas de presión asociadas a cada fila. En esta configuración también se suelen utilizar mayores diámetros de tuberías en la entrada y salida del campo para reducir la energía de bombeo, pero esto conlleva mayores pérdidas térmicas y una mayor inversión inicial.

El diseño de retorno inverso tiene mejor equilibrio de caudal, aunque las válvulas de equilibrio pueden seguir siendo necesarias, pero le añaden mucha menos pérdida de presión al sistema de la que añadirían a una configuración de retorno directo. La longitud extra de la tubería de entrada al campo es una desventaja en el retorno inverso debido a que también suponen pérdidas adicionales de calor, aunque esto depende fuertemente de la temperatura del fluido de trabajo a la entrada al campo. El añadir longitud a la tubería de entrada, sin embargo, resulta también en un mayor coste de tuberías y aislamiento térmico.

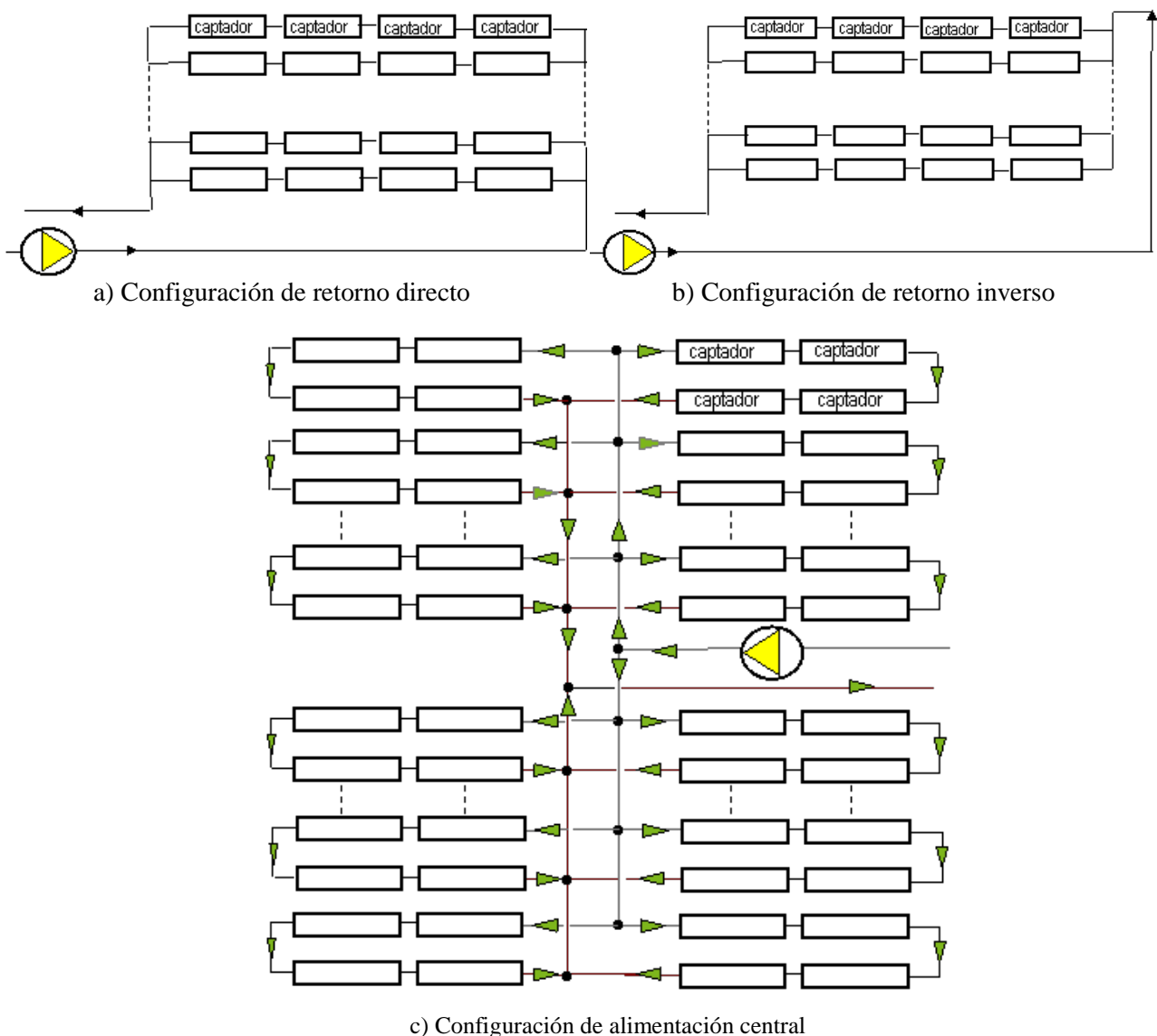


Figura 3: Configuraciones típicas para las tuberías de un campo de CCPs (para filas compuestas por 4 captadores conectados en serie)

La configuración de Alimentación Central es la que se utiliza en todas las plantas solares grandes con captadores cilindroparabólicos, por lo que puede decirse que hoy en día es la más utilizada comercialmente. Como en el caso de retorno directo, se necesitan válvulas auxiliares a la entrada de las filas de captadores para equilibrar las caídas de presión y conseguir el mismo caudal de fluido por cada fila. Su principal ventaja es que minimiza la longitud de tuberías. Otra ventaja importante de esta configuración es que facilita las labores de mantenimiento, porque todas las filas de captadores son accesibles con vehículos, sin tener que enterrar ninguna tubería.

2.2 Sistema de Almacenamiento de energía térmica

Una de las características principales de la energía solar es su discontinuidad en el tiempo (solo es posible captarla cuando hay Sol). 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 CCPs. Esta segunda restricción consiste en que solo pueden aprovechar la radiación solar directa, por lo que necesitan que no haya nubes, ya que las nubes anulan la radiación solar directa.

Cuando no se desea suministrar energía térmica por la noche o durante periodos nublados, no es necesario un sistema de almacenamiento. Pero si se desea alimentar al proceso industrial durante periodos en los que no hay radiación solar directa, será necesario un sistema de almacenamiento que guarde parte de la energía térmica suministrada por los captadores solares durante las horas de sol, para darla en aquellos momentos en los que no hay sol.

A fin de solventar estas limitaciones, se disponen los correspondientes sistemas de almacenamiento térmico. Las ventajas de dichos sistemas son:

- Permiten suministrar energía térmica en horas de ausencia de radiación solar directa, con lo cual los períodos de captación de la energía solar y el suministro de energía térmica al proceso, no tienen que transcurrir simultáneamente.
- Permiten suministrar una potencia térmica constante al Proceso, independientemente de la radiación solar directa que haya disponible.
- Permiten aislar la entrada del campo de captadores de las posibles perturbaciones que ocurran en la salida, ya que el sistema de almacenamiento se comporta como un buen colchón térmico. De este modo se facilita la misión del sistema de control del campo, a la vez que se impide la realimentación directa de las perturbaciones que afectan a la temperatura a la salida del campo de captadores.

Para entender mejor esta tercera ventaja aportada por la existencia del sistema de almacenamiento, supongamos que debido a una perturbación debida a la aparición de nubes se produce una disminución de la temperatura del fluido de trabajo en la salida del campo de captadores. Esta variación se vería reflejada a continuación en la temperatura del fluido a la entrada del campo. Ante este hecho, el sistema de control tendría no solo que solventar la perturbación que las nubes han producido en la radiación solar directa incidente sobre los captadores, sino también el cambio que después habría en la temperatura de entrada al campo.

Permitir alimentar a un proceso térmico suministrándole una potencia térmica constante es una de las principales ventajas de los sistemas de almacenamiento térmico, ya que si no se dispone de un sistema de almacenamiento térmico la potencia térmica que se le puede suministrar al proceso en cada instante es la misma que la que suministre el campo de captadores solares, la cual varía acorde a la radiación solar directa que haya disponible en cada instante. La figura 4 muestra como es posible alimentar durante 18 horas un proceso que demanda una potencia térmica constante (línea de color rojo), aunque la potencia térmica útil que proporciona el campo de captadores cilindroparábólicos es variable desde la salida a la puesta del Sol (línea marcada con triángulos de color negro en la figura 4). Si se dispone de un sistema de almacenamiento térmico podremos almacenar la energía térmica excedente durante las horas de Sol (superávit de energía), para poderla recuperar y alimentar el proceso industrial con ella cuando no hay radiación solar disponible o cuando resulta insuficiente la potencia térmica dada por el campo solar (déficit de energía).

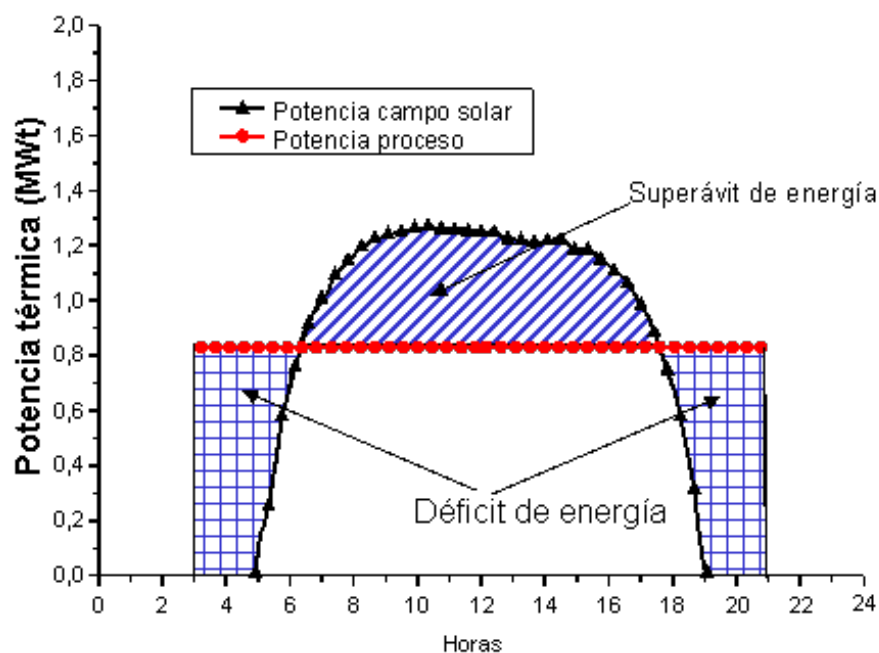


Figura 4: Potencia térmica producida por el campo solar y demandada por el proceso.

La energía térmica excedente que se almacena durante las horas de Sol está representada en la figura 4 por la zona sombreada con simple trazo, mientras que la energía térmica que se recupera del sistema de almacenamiento térmico está sombreada con línea de doble trazo. Si el dimensionamiento del campo solar ha sido realizado correctamente, la suma de las áreas deficitarias (desde las 03:00 hasta las 06:30 horas y desde las 17:30 hasta las 21:00 horas en la figura 4) deben ser iguales que el área de superávit de energía (desde las 06:30 hasta las 17:30 horas en la figura 4), de modo que la energía excedente será enviada al sistema de almacenamiento para ser usada durante los periodos de déficit

Se aprecia en la figura 4 que la potencia térmica nominal del campo solar es inferior a la potencia nominal del proceso. Cuando el campo solar ha sido dimensionado para mantener funcionando el proceso durante un número de horas superior al de horas de Sol durante el día de diseño, la potencia nominal del campo solar resulta mayor que la del proceso, y desde un punto de vista cualitativo la gráfica que se obtiene es como la representada en la figura 4.

Es importante poner de manifiesto aquí que el sistema de almacenamiento de agua caliente utilizado en los sistemas de conversión a baja temperatura (captadores solares planos) no es adecuado para los sistemas de conversión a media temperatura debido a que la alta presión que habría en el tanque de almacenamiento hacen este sistema demasiado caro. Por este motivo, los sistemas de almacenamiento para el rango de media temperatura utilizan un medio de almacenamiento diferente.

Atendiendo al medio en el cual se almacena la energía térmica, podemos distinguir dos tipos de sistemas:

- a) Sistemas de almacenamiento en medio único
- b) Sistemas de almacenamiento en medio dual

Los Sistemas de Almacenamiento en Medio Único son aquellos en los que el medio utilizado para almacenar la energía térmica es el mismo fluido que circula por los captadores solares. Los más comunes son aquellos que usan aceite sintético como fluido de trabajo y como medio de almacenamiento. El rendimiento de estos sistemas es superior al 90%. Los sistemas de almacenamiento con aceite admiten dos configuraciones diferentes:

- Sistemas con un solo tanque de aceite, en el cual el aceite se estratifica de acuerdo con su temperatura. El almacenamiento de energía se realiza calentando el aceite que contiene el tanque. La figura 5 muestra a la configuración de un sistema de este tipo, en el que el aceite caliente suministrado por el campo de captadores puede ser, mediante las válvulas de 3 vías que existen en su entrada y salida, total o parcialmente introducido en el tanque. La densidad de los aceites sintéticos normalmente utilizados como fluido de trabajo en los campos de CCP presentan una fuerte variación con la temperatura. Así, por ejemplo, la densidad del aceite Santotherm 55 a 90°C es de 842,5 Kg/m³, mientras que a 300°C es de 701,4 kg/m³. Esta particularidad hace que el aceite caliente que entra en el tanque de almacenamiento por su parte superior permanezca en los estratos superiores del tanque, mientras que el aceite frío se encontrará siempre en los estratos inferiores.

De acuerdo con la figura 5, la caldera que suministra la energía térmica demandada por el proceso industrial puede ser alimentada desde el tanque de almacenamiento o bien desde el campo de captadores, dependiendo de la posición de la válvula de 3 vías. Cuando se descarga el sistema de almacenamiento, el aceite caliente sale del tanque por la parte superior y vuelve a la parte baja del tanque después de salir de la caldera. La bomba "B2" se usa solamente para alimentar la caldera exclusivamente a partir del tanque de almacenamiento, cuando el campo de captadores no está en funcionamiento.

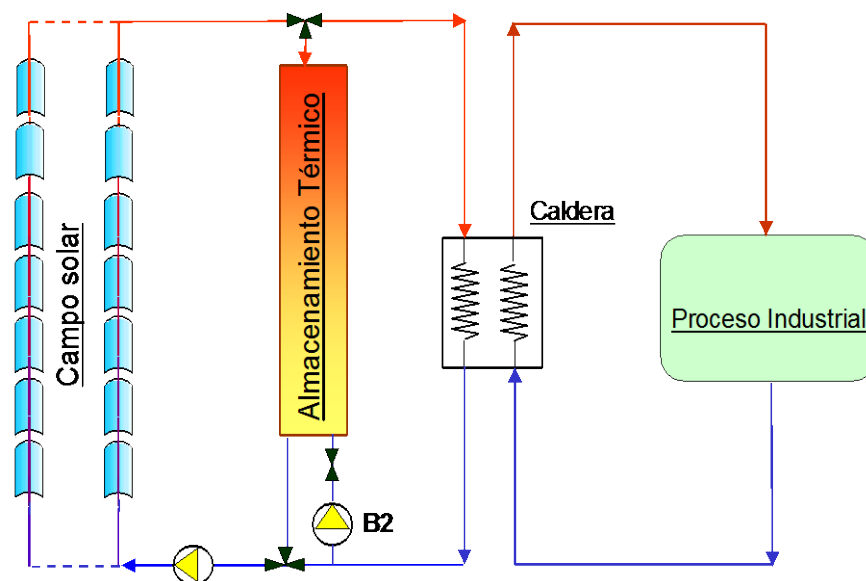


Figura 5: Sistema de almacenamiento con un solo tanque de aceite

- Utilizando dos tanques de aceite (figura 6): un tanque caliente y un tanque frío. La caldera se alimenta desde el tanque caliente y una vez que el aceite transfiere calor al vapor de la caldera, se envía al tanque frío. Este tanque alimenta al campo de captadores, que a su vez alimenta el tanque caliente con el aceite una vez que ha sido calentado en los captadores. El sistema de almacenamiento mediante dos tanques se usa cuando el volumen de aceite necesario hace inviable la construcción de un único tanque de aceite estrecho y alto para que haya estratificación en su interior.

Los Sistemas de almacenamiento en medio dual son aquellos en los que el almacenamiento de calor se efectúa en un medio diferente al fluido de trabajo que se calienta en los captadores solares. Como medios de almacenamiento se suelen usar placas de hierro, de materiales cerámicos, u hormigón. En estos sistemas, el aceite actúa solo como medio de transferencia de calor entre el campo de captadores y el material donde se almacena la energía térmica en forma de calor latente. El aceite circula a través de canales dispuestos entre las placas superpuestas del material de almacenamiento, transfiriendo (proceso de carga) o cogiendo energía térmica de las placas.

Uno de los inconvenientes de utilizar aceite como medio de almacenamiento es la necesidad de mantener el aceite presurizado e inertizado en el (los) tanque (s) de almacenamiento. La presurización es necesaria para evitar que el aceite pase a fase gaseosa, por lo que hay que mantener al aceite presurizado por encima de la presión de vapor correspondiente a la máxima temperatura de trabajo que puede alcanzar el aceite. Afortunadamente, la presión de vapor de los aceites usados en estos sistemas suele ser baja para el rango de temperaturas 100 - 300°C, por lo que esta presurización es fácil de mantener mediante la inyección de argón o nitrógeno. Este gas también mantiene al aceite en una atmósfera inerte que evite la posibilidad de que se produzca una explosión en el tanque por la formación de mezclas gaseosas que arderían fácilmente en contacto con el oxígeno del aire.

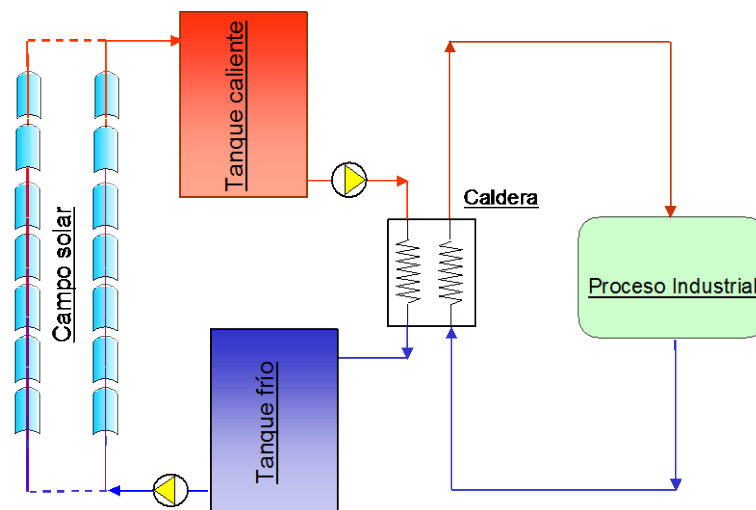


Figura 6: Sistema de almacenamiento con dos tanques de aceite

Otro inconveniente de los sistemas de aceite es la necesidad de dotarlos de sistemas antiincendios adecuados, así como de un recipiente de recogida del aceite en caso de rotura o fuga. Estas exigencias aumentan el costo del sistema.

Un ejemplo de tanque de almacenamiento térmico mediante aceite es el tanque T1 existente en la Plataforma Solar de Almería (PSA), mostrado en la figura 7. El tanque es un recipiente cilíndrico de 4,2 m de diámetro y 15 m de altura, fue fabricado por COUPAS (Grecia). El medio de almacenamiento utilizado en este tanque es solamente aceite Santotherm 55. El tanque posee un volumen efectivo de aceite de 115 m³ y se encuentra inertizado mediante Nitrógeno (4,8 m³ aproximadamente) a una sobrepresión aproximada de 0,5 kg/cm².

Como ya se ha explicado, la misión del Nitrógeno es doble, por un lado evita la existencia de aire en el interior del tanque, lo que podría ser peligroso si se tiene en cuenta que el aceite al calentarse

desprende volátiles que pueden originar mezclas explosivas en contacto con el aire. Por otro lado, el nitrógeno mantiene bajo presión a todo el circuito de aceite, de modo que si se produce una fuga en algún punto de la instalación, esta sería hacia el exterior y nunca hacia el interior de las tuberías o del tanque, evitándose la posibilidad de que entre aire o agua en el circuito de aceite, con todos los inconvenientes que ello supondría (necesidad de drenado del circuito, etc.).



Tanque de almacenamiento en aceite



Tanque DMST

Figura 7: Tanques de almacenamiento térmico existentes en la PSA

En la PSA, la presión del nitrógeno en el interior del tanque T1 es mantenida entre un mínimo de 0,3-0,4 kg/cm² y un máximo de 0,85 kg/cm². Existe una batería de 5 bombonas de N₂ cuya salida está conectada al tanque mediante una válvula manoreductora automática que deja pasar el N₂ hacia el tanque en el momento que la presión allí es inferior al valor mínimo preajustado.

Para evitar sobrepresiones excesivas en el interior de tanque (téngase presente que el aceite al calentarse se dilata considerablemente, provocando un aumento de la presión en el interior del tanque) se disponen de dos sistemas de seguridad:

- Una válvula de venteo que evacua N₂ al exterior cuando la presión es superior a 0,85 kg/cm². Esta válvula actúa normalmente cuando la presión en el interior del tanque aumenta lentamente (por ejemplo, cuando el aceite se está calentando haciéndolo circular a través del campo de

captadores, que es el caso de una operación normal), debido a la pequeña sección de la tubería de venteo, la válvula no podría disipar una sobrepresión brusca. Es por ello que se dispone de otro elemento de seguridad adicional.

- Un disco de ruptura de 150 mm ϕ tarado a 1,02 kg/cm². Este sistema permite una rápida evacuación al exterior de los gases existentes en el interior del Tanque 1. La actuación del disco de ruptura es destructiva ya que consiste en una membrana cerámica tarada a la presión deseada y que se rompe si se sobrepasa dicha presión en el interior del tanque. El disco de ruptura solo actuaría en un caso de emergencia en el que se produzca una sobrepresión tan rápida que no le es posible a la válvula de venteo evacuar al exterior con la suficiente prontitud.

Los tanques de almacenamiento térmico en aceite necesitan de un pequeño depósito auxiliar, denominado *tanque de incondensables*, que es un tanque pequeño que tiene por finalidad evacuar los volátiles que se desprenden del aceite. Estos volátiles están compuestos por gasolinas e hidrocarburos altamente inflamables.

El tanque T1 de la PSA tiene una eficiencia del 92% y permite dos modos diferentes de operación. En el modo 1 el aceite frío sale desde la parte inferior del tanque hacia los campos de captadores y retorna caliente, entrando por la parte superior del tanque. Este es el modo normal de operación; el aceite a menor temperatura permanece en la parte baja del tanque mientras que el caliente se va almacenando en la parte superior; debido a la diferencia de densidades no se produce ninguna mezcla entre aceite frío y caliente, de este modo se puede cargar el tanque desde la temperatura inicial (aceite frío) hasta la temperatura final deseada (aceite caliente). La capacidad de almacenamiento del Tanque 1 es de 5000 kWh_e (para unas temperaturas inicial y final de 225°C y 300°C, respectivamente).

El modo 2 de operación consiste en tomar el aceite frío de la parte inferior del Tanque 1, hacerlo circular por el campo de captadores para calentarlo e introducirlo finalmente por la parte baja del tanque de almacenamiento. De este modo se pueden conseguir varios objetivos:

- Calentar el aceite del fondo del Tanque 1 en aquellos casos en que debido a la falta de operación durante un prolongado periodo de tiempo, se ha producido un enfriamiento excesivo del aceite. El aislamiento térmico de esa parte del tanque es menor y existen puentes térmicos entre la pared metálica del tanque y la cimentación, lo que provoca unas pérdidas térmicas mayores en esa parte del tanque.

- Calentar por igual y simultáneamente todo el aceite del tanque, ya que el aceite caliente entrando por la parte inferior irá ascendiendo debido a su menor densidad u en su camino irá calentando al aceite de todo el tanque, de un modo uniforme y homogéneo.

El segundo tanque de almacenamiento térmico evaluado en la PSA para los campos de captadores cilindroparabólicos se denomina Tanque DMST (Dual médium Storage Tank) (tanque de almacenamiento dual), porque usaba como medio de almacenamiento placas de hierro fundido. Es este un tanque también cilíndrico de 2,7 m de diámetro y 21,8 m de altura. En este tanque el medio de transferencia de calor que se utilizaba era aceite del mismo tipo que el utilizado en el tanque T1, pero la eficiencia del tanque DMST es solo del 73%.

El volumen aproximado de aceite en el tanque DMST era de solo 42 m³ a 300°C (35 m³ a 20°C) y el peso de las placas metálicas es de 358 T, de modo que la proporción en volumen de las placas y el aceite es de aproximadamente 3. Las placas van colocadas unas sobre otras dejando un conjunto de canales por los que circula el aceite, de modo que el aceite en su recorrido por ellos va calentando a las placas (proceso de carga), o extrayendo calor de las placas (proceso de descarga). Son dichas placas las que realmente hacen de medio de almacenamiento, mientras que el aceite se utiliza principalmente como medio de transferencia de calor entre el campo solar y el tanque de almacenamiento.

Al igual que el tanque T1, el DMST estaba inertizado mediante N₂ (8 m³ aproximadamente) y posee una capacidad de almacenamiento de 3.700 kWh_e. El circuito de N₂ de este tanque estaba conectado con el del Tanque 1, sirviéndose de la misma válvula de venteo. Aunque ambos tanques comparten la misma válvula de venteo y la misma batería de bombonas de nitrógeno, el tanque DMST posee sus propios discos de ruptura.

Como dispositivo de protección contra incendios, los tanques de la PSA están dotados de una planta automática contra incendios, basado en agua y gel espumoso. Normalmente los tanques de almacenamiento que contienen aceite en su interior se encuentran rodeados por aros de surtidores situados a diferentes niveles, que entran automáticamente en funcionamiento cuando alguno de los sensores de temperatura que rodean los tanques detecta que se ha producido un incendio.

2.3 Interfase con el proceso industrial

Ya se ha visto que los campos de CCPs tienen dos aplicaciones fundamentales: alimentar procesos industriales térmicos (procesos químicos, fábricas de conservas, etc.) y la generación de electricidad. Cuando se alimenta un proceso industrial térmico, a este tipo de aplicación se le denomina internacionalmente con las siglas IHP (Industrial Heat Process) y el vapor que se obtiene a partir del

sistema solar es directamente consumido y utilizado por el proceso industrial al que se alimenta energéticamente, siendo el sistema de aprovechamiento en este caso el propio proceso industrial. Cuando se genera electricidad (central termosolar), el vapor producido por el sistema solar es utilizado para alimentar un ciclo Rankine de agua/vapor, y en este caso el sistema de aprovechamiento lo compone dicho ciclo agua/vapor y sus sistemas auxiliares, recibiendo en conjunto el nombre de Sistema de Conversión de Potencia. Dada la importancia comercial que están teniendo las centrales termosolares con CCPs, en la Sección 6 de este Módulo se explica con más detalle como son estas plantas.

Con independencia del tipo de sistema de aprovechamiento que tengamos (proceso industrial térmico o ciclo Rankine), lo normal es que la interfase entre el sistema solar y el proceso sea un intercambiador de calor aceite/agua donde se genera el vapor que necesita el proceso industrial. Normalmente, el generador de vapor utilizado en estas aplicaciones consta de tres cuerpos: Precalentador, Evaporador y Sobrecalentador (ver figura 8)

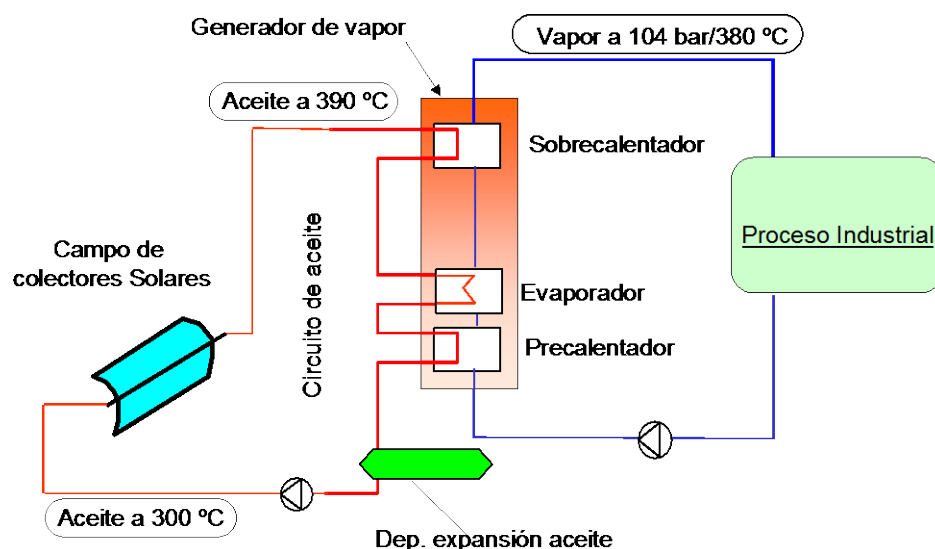


Figura 8: Acople típico entre el Sistema Solar y el Sistema de Aprovechamiento.

1. Precalentador o Economizador: donde el agua se precalienta hasta una temperatura próxima a la de evaporación
2. Evaporador: donde el agua se evapora y el vapor producido pasa al último cuerpo del intercambiador de calor
3. Sobrecalentador: donde el vapor se calienta a la temperatura demandada por el proceso, superior a la de saturación. Si lo que se desea es producir vapor saturado, el sobrecalentador no es necesario

En los sistemas solares que utilizan generación directa de vapor en los captadores, el campo solar es el evaporador mismo, con el consiguiente ahorro de inversión al no tener que implementar un generador de vapor aparte.

3. Mantenimiento de campos de CCPs

En este apartado se hace un resumen de cuales son las tareas de mantenimiento que requiere un sistema con CCPs, distinguiendo dos subsistemas: campo de captadores y sistema de almacenamiento térmico.

3.1 Campo de Captadores Cilindroparabólicos

Conviene recordar en este punto que los componentes principales de un CCP son los siguientes:

- Grupo óptico: incluye la superficie reflectante y el tubo absorbente.
- Estructura metálica: incluye las estructuras de los concentradores cilindroparabólicos, los apoyos de los concentradores y los soportes de los tubos absorbentes.
- Sistema de accionamiento y seguimiento solar: incluye el sensor de seguimiento, el grupo motor-reductor y todo el conexionado del circuito eléctrico-electrónico.

Además de los captadores, las tuberías y el correspondiente aislamiento térmico son otros de los elementos fundamentales a tener en cuenta en la composición del campo de captadores.

Grupo óptico: El mantenimiento normal correspondiente a este grupo casi se reduce a la medida periódica de la reflectividad de las facetas y al lavado de las mismas a intervalos de 1 mes, aproximadamente, cuando la reflectividad cae por debajo de 0.89. Este lavado se efectúa mediante chorros de agua desmineralizada a presión.

Como mantenimiento excepcional hay que considerar el reemplazo de espejos cuando estos se rompen por alguna causa accidental (generalmente se debe a la existencia de rachas de fuerte viento). El grado de calidad de los espejos actuales es excelente, lo que reduce al máximo las roturas por fallo de las piezas que sujetan los espejos a la estructura metálica.

En el caso de superficies reflectantes compuestas por espejos de vidrio fino pegados sobre un soporte metálico, se observan a veces la formación de burbujas de aire entre el espejo y el soporte, deformando la superficie parabólica reflectante del captador. Estas burbujas se forman debido a las diferentes dilataciones de los materiales pegados.

El problema del despegue de las facetas es más importante por los efectos que conlleva que por el despegue en sí. Generalmente, la faceta cuando se despegue se cae, golpeando y rompiendo en su caída al tubo de cristal que rodea al absorbente, produciendo incluso daños en la superficie selectiva del mismo.

En cuanto al tubo absorbedor, el único mantenimiento requerido es la alineación anual de los mismos, en caso de que haya habido algunos desplazamientos de los soportes.

Los elementos de unión entre los extremos de los captadores y las tuberías de aceite (manguitos flexibles o juntas rotativas) suelen requerir un mantenimiento que consiste en la sustitución periódica (una vez cada 10 años aproximadamente) de los manguitos, y la recarga con grafito del sellado de las juntas rotativas (una vez cada tres-cuatro años).

Sistemas de accionamiento y seguimiento solar: El único mantenimiento que requiere este sistema es la sustitución de los sensores defectuosos y la revisión anual de su correcta alineación, ya que de ella depende en gran medida el rendimiento global del captador.

El mantenimiento de las unidades de accionamiento se reduce al normal de este tipo de sistemas (engrasado y revisión periódica para asegurar un buen funcionamiento). El mantenimiento que requieren es muy bajo.

3.2 Sistema de Almacenamiento Térmico

El mantenimiento requerido por los sistemas de almacenamiento ha demostrado ser muy escaso. Se reduce a la comprobación del buen funcionamiento de la válvula de venteo y a la purga periódica del tanque de incondensables a fin de eliminar aquellos productos altamente inflamables que se han originado como consecuencia del calentamiento del aceite.

Así mismo, se debe hacer una revisión anual del contenido en agua que posee el aceite del tanque subterráneo de reserva. La presencia de gran cantidad de agua en el aceite puede ser muy peligrosa debido al riesgo que conlleva de evaporarse bruscamente y originar una súbita sobrepresión en el interior del tanque, con lo cual tendrían que actuar los discos de ruptura de emergencia. Sí pues, es altamente recomendable realizar anualmente un análisis del aceite para comprobar sus principales propiedades (punto de inflamación, contenido en agua, etc.)

4. Factores que influyen en la viabilidad comercial de los sistemas solares con CCPs

Aunque los procesos industriales térmicos y la generación de electricidad son aplicaciones importantes para los captadores cilindroparabólicos, no siempre resulta comercialmente interesante el uso de CCPs para estos fines. Hay diferentes factores que tienen una influencia importante y deben ser considerados al evaluar la idoneidad de una aplicación solar de este tipo. La tabla 3 enumera estos factores que se explican a continuación.

4.1 Factores Medioambientales

La intensidad de la radiación solar disponible en un determinado lugar es un factor obvio en el coste de la energía solar. Este factor es usualmente evaluado basándose en mapas de radiación directa para el emplazamiento en cuestión que se esté analizando. Dichos mapas están basados en el procesado de los datos que aportan las imágenes visibles e infrarrojas suministradas por los satélites meteorológicos, aunque lo ideal es disponer de medidas reales tomadas con pirheliómetros. La figura 9 muestra uno de los mapas de radiación solar directa que están actualmente disponibles. Puede conseguirse información de este tipo en diversas direcciones de Internet (<http://wrdc-mgo.nrel.gov> ó <http://rredc.nrel.gov>)

La temperatura ambiente afecta al comportamiento del sistema solar de dos formas. Primero, temperaturas ambiente altas reducen las pérdidas térmicas en los captadores solares y equipos relacionados durante la operación y por la noche. Segundo, temperaturas ambiente altas en invierno permiten utilizar agua como fluido de transferencia en captadores sin necesidad de un mecanismo de protección para congelación.

Altas concentraciones de contaminantes atmosféricos pueden afectar la duración y el comportamiento de los sistemas solares. Por ejemplo, cerca de la costa, los cloruros pueden corroer las superficies de aluminio. Las emisiones de productos químicos por torres de refrigeración pueden formar precipitados en la superficie de los captadores difíciles de eliminar. Los humos y la contaminación ambiental pueden reducir la intensidad de la radiación solar. El efecto de los contaminantes atmosféricos puede ser tan severo que se recomienda fuertemente un programa de ensayo de materiales. Este programa implicaría la colocación de muestras de captadores en el lugar donde se desea montar una planta solar, durante al menos seis meses antes de proceder a la construcción del sistema completo. Determinar los efectos de los procedimientos de lavado sería una parte integral del ensayo de exposición.

Las regulaciones de polución limitando el uso de combustibles convencionales aportarían un ímpetu para la exploración de la viabilidad de aplicaciones solares.

Tabla 3. Factores que favorecen la utilización de sistemas solares IPH

1. Factores medioambientales
 - Alta insolación
 - Temperaturas ambiente altas
 - Bajos niveles de polución

2. Factores del Proceso
 - Procesos de baja temperatura
 - Operación continua (7 días a la semana)
 - Picos de demanda de calor durante el día y en verano

3. Factores económicos
 - Altos costes de combustible
 - Incierto suministro de combustibles
 - Suelo disponible o tejado fuerte
 - Capital disponible
 - Incentivos fiscales federales, estatales y locales
 - Operaciones energía-intensiva
 - Nuevas plantas

4.2 Factores del proceso

El rendimiento de un sistema solar disminuye, y su coste de instalación tiende a subir, conforme la temperatura de operación aumenta. El almacenamiento térmico, que puede aumentar enormemente la contribución de la energía solar al proceso, es también más económico a bajas temperaturas. Calentar agua para procesos de lavado y precalentando agua de entrada a calderas, son ejemplos de aplicaciones solares particularmente favorables. El vapor es utilizado casi universalmente en la industria para aportar calor indirecto.

Saber la planificación de un proceso industrial es importante para determinar el volumen del tanque térmico que será necesario para expandir la fracción de calor de proceso más allá del suministrado directamente por el campo solar. Un proceso industrial que funcione de modo continuo (siete días a la semana) minimiza la necesidad de capacidad de almacenaje. Otro factor favorable sería que las necesidades de calor del proceso alcancen el pico durante las horas de sol y en los meses de verano.

El almacenamiento térmico utilizando agua caliente a temperaturas de hasta 121°C parece ser rentable hoy en día. A temperaturas más altas se puede usar otro sistema de almacenamiento (aceite, planchas de hierro/aceite, etc.) pero es más caro.

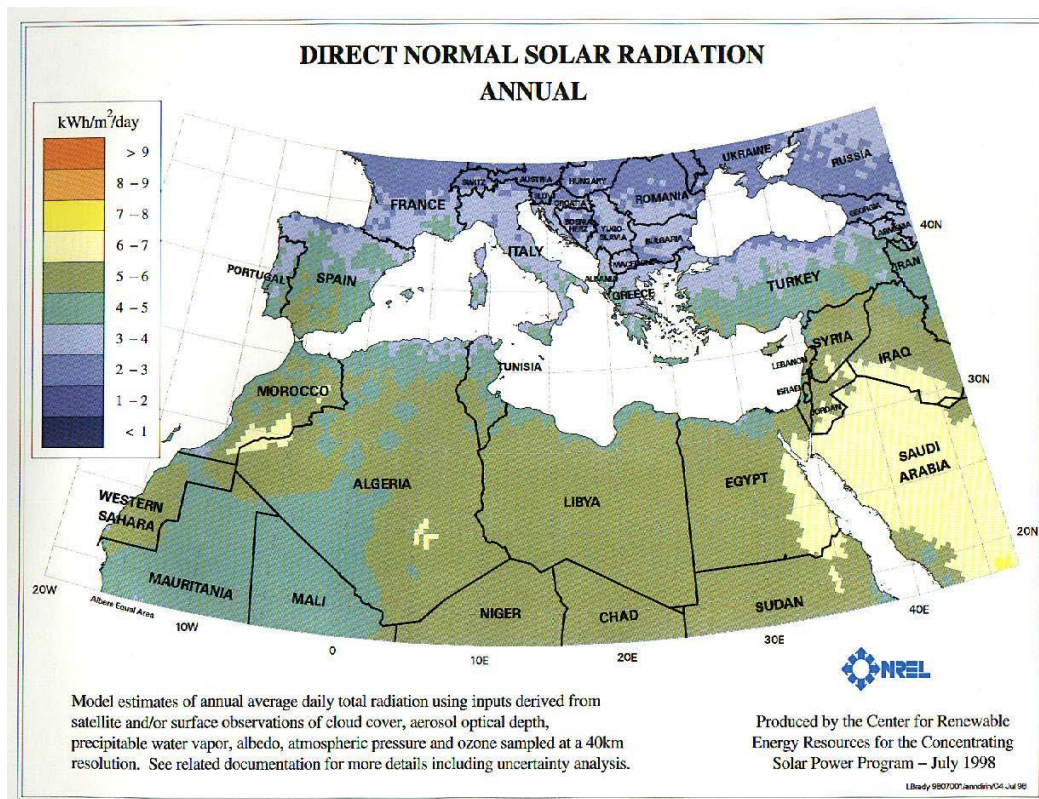


Figura 9: Mapa típico de radiación solar directa.

4.3 FACTORES ECONÓMICOS

Está claro que cuanto más alto sea el precio de los combustibles convencionales, más rentable es la instalación de un sistema solar.

También, incertidumbres en el suministro de los combustibles convencionales pueden ser un factor favorable a tener en cuenta. Por motivos políticos a menudo hay cortes o reducciones de suministros.

tro desde o hacia algunos países, pero la energía solar es gratis y se reparte por todo el mundo, fuera del alcance de decisiones políticas o influencias.

La disponibilidad de suficiente terreno para instalar el campo solar es imprescindible. Otro factor a tener en cuenta es que planificar un sistema solar para una planta nueva es mucho más fácil que acoplarlo a una planta ya existente, en términos de ubicar los captadores e integrar los captadores con el proceso y el resto de instalaciones.

Una compañía debe tener suficientes recursos económicos para afrontar un proyecto solar, ya que las instalaciones solares requieren una alta inversión inicial. Sin embargo, algunos costes pueden cubrirse con incentivos fiscales federales, estatales o locales.

Las industrias para las que el gasto energético representa la mayor parte de sus costes de operación resultan más atractivas para el acople de sistemas solares.

5. REFERENCIAS

1. Renne, D. (2001) "Solar Data Forms and available Databases". Proceeding presentado al congreso ASME 2001, celebrado en Washington el 23-25 de abril de 2001
2. Perez, R. (2001) "Sattelite Derived Data for Solar Radiation". Proceeding presentado al congreso ASME 2001, celebrado en Washington el 23-25 de abril de 2001
3. Lotker, M. (1991) " Barriers to Commercialization of Large Scale Solar Electricity. The LUZ experience". Informe técnico publicado por Sandia National Laboratories, Ref.: SAND91-7014
4. Rabl, A. (1985); "Active Solar Collectors and Their Applications". Libro editado por Oxford University Press. New York, 1985
5. Duffie, J.A.; Beckman, W.A.; (1980) "Solar Engineering of Thermal Processes". Libro editado por John Willey & Sons. New York, 1980
6. Klaiss, H.;Staiss, F. (1992) "Solar Thermal Power Potential In The Mediterranean Area" Editorial Spriegel-Verlag
7. Kutscher, F.C., et all (1982) "Design Approaches for Industrial Process Heat Systems". Informe editado por el SERI (Ref.: SERI/TR-253-1356) en agosto de 1982
8. Ajona, J.I.; et all. "Solar Thermal Electricity Generation. Lectures from the Summer School at the Plataforma Solar de Almería". Libro editado por el CIEMAT en 1999, ISBN: 84-7834-353-9
9. Zarza, E.; et all. "Solar Thermal Desalination project. Phase II Results & Final Project Report". Libro editado por la Secretaría General Técnica del CIEMAT. ISBN: 84-7834-285-0.
- 10 Zarza, E; et all. "Solar Thermal Desalination Project: First Phase Results & Second Phase Description". Libro editado por la Secretaría General Técnica del C.I.E.M.A.T. (ISBN: 84-7834-110-2), 1.991
- 11 Dudley, V.E.; Kolb, G.J; Sloan, M.; Kearney, D. " SEGS LS-2 Solar Collector ". Informe técnico SAND94-1884. Albuquerque (EEUU), Sandia National , 1994.
- 12 Ratzel, C.A.; Simpson, C.E. " Heat Loss Reduction techniques for Annular Receiver Design". Informe técnico SAND78-1769. Albuquerque (EEUU), Sandia National Laboratories, 1979.