



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 327 991**

② Número de solicitud: 200602134

⑤ Int. Cl.:
F03G 6/06 (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **04.08.2006**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **05.11.2009**

Fecha de la concesión: **01.07.2010**

⑭ Fecha de anuncio de la concesión: **15.07.2010**

⑮ Fecha de publicación del folleto de la patente:
15.07.2010

⑰ Titular/es:
ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES, S.A.
Avda. de la Buhaira, nº 2
41018 Sevilla, ES

⑱ Inventor/es: **Fernández Quero, Valerio;**
Sánchez González, Marcelino y
Osuna González-Aguilar, Rafael

⑲ Agente: **García-Cabrerizo y del Santo, Pedro María**

⑳ Título: **Planta de concentración solar.**

㉑ Resumen:

Planta de concentración solar.

Que utilizando un fluido caloportador, en cualquier ciclo termodinámico o sistema de aprovechamiento de calor de proceso, comprende;

medios de concentración solar bidimensional, para calentar el fluido caloportador desde una temperatura T1 a una temperatura T2,

medios de concentración solar tridimensional, para recalentar el fluido caloportador desde la temperatura T2 hasta una temperatura T3,

de tal manera que se aprovechen las ventajas del trabajo a alta temperatura de los medios de concentración solar tridimensional con costes globales similares a los de los sistemas de concentración solar bidimensional.

En una aplicación particular a la generación de energía eléctrica los medios de concentración solar bidimensional consisten en un colector cilindroparabólico (1) mientras que los medios de concentración solar tridimensional consisten en un campo de helióstatos y torre central (2) para generación de vapor de agua sobrecalentado que se expande en una turbina (6) acoplada a un generador eléctrico (7).

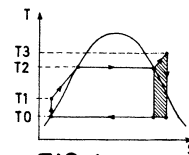


FIG. 1

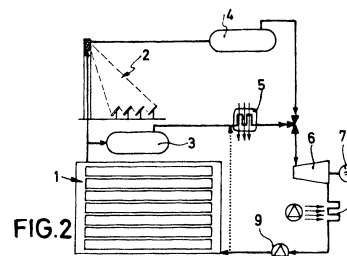


FIG. 2

ES 2 327 991 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Planta de concentración solar.

5 La presente invención se refiere a una instalación que pretende un resultado más eficiente y menos costoso de las actuales tecnologías de concentración solar. Su aplicación esta especialmente indicada en los campos de la producción de electricidad, calor de proceso, y combustibles solares, así como en los procesos termoquímicos.

Antecedentes de la invención

10 Si bien la radiación solar es una fuente térmica de elevadas temperatura y energía en origen, la utilización de la misma en las condiciones del flujo que llega a la superficie terrestre anula prácticamente todo su potencial de convertirse en trabajo, debido a la drástica reducción de la temperatura disponible en el fluido. Por esta razón, se hace uso en las centrales solares termoelectricas (CST), de sistemas de concentración óptica, que permiten lograr
15 mayores densidades de flujo y con ello temperaturas más elevadas. Supongamos un modelo simplificado de un sistema termosolar de concentración, formado por un concentrador óptico ideal, un receptor solar que se comporte como un cuerpo negro presentando únicamente pérdidas por emisión (un receptor de cavidad o un receptor volumétrico se aproximarían teóricamente a esta condición) y una máquina o motor térmico con un rendimiento ideal de Carnot. El rendimiento total de dicho sistema vendrá marcado principalmente por el rendimiento del sistema receptor y por
20 el rendimiento del ciclo termodinámico. El rendimiento del sistema receptor solar puede expresarse de manera muy simplificada por la Ecuación 1, siendo Q_{in} el aporte de energía entrante y Q_{loss} las pérdidas térmicas del sistema. Dado que la energía entrante es proporcional a la concentración y las pérdidas térmicas dependen principalmente de la temperatura de trabajo, podemos afirmar que cuanto mayor sea la concentración, mayor será el rendimiento del sistema receptor solar para una temperatura de trabajo determinada, o dicho de otra manera si queremos trabajar a altas
25 temperaturas y mantener el rendimiento de nuestro sistema receptor debemos entonces incrementar la concentración. Es decir, los rendimientos de los receptores solares serán tanto mayores cuanto mayores sean las concentraciones y menores las temperaturas de trabajo.

30 Por otra parte en la Ecuación 2 se representa el rendimiento de un ciclo termodinámico ideal (ciclo de Carnot) cuyo rendimiento es mayor cuanto mayor es la temperatura. El rendimiento global del sistema termosolar vendrá determinado por el producto de ambos tal como se muestra en la Ecuación 3. Si queremos elevar la eficiencia global del sistema necesitaremos forzosamente elevar la concentración, para poder trabajar a altas temperaturas y a unas altas eficiencias globales.

$$\eta_{receptor} = \frac{Q_{in} - Q_{loss}(T)}{Q_{in}} \quad [1]$$

$$\eta_{ciclo\ Carnot} = \frac{T - T_a}{T} = 1 - \frac{T_a}{T} \quad [2]$$

$$\eta_{TOTAL} = \eta_{receptor} * \eta_{ciclo\ Carnot} = \left(\frac{Q_{in} - Q_{loss}(T)}{Q_{in}} \right) * \left(1 - \frac{T_a}{T} \right) \quad [3]$$

50 Desde el punto de vista termodinámico existen unos límites de concentración que son diferentes si la concentración se hace tridimensionalmente (3D) o bidimensionalmente (2D), de tal manera que el limite de concentración depende del ángulo de aceptación, es decir de la forma tamaño y distancia del objeto a concentrar, en nuestro caso el sol, cuyo ángulo es 4.65 mrad.

$$C_{\max(2D)} = \frac{n}{\sin(\theta_a)}; C_{\max(2D)} \leq 215 \quad C_{\max(3D)} = \frac{n^2}{(\sin(\theta_a))^2} \quad C_{\max(3D)} \leq 46000 \quad [4]$$

65 Siendo los límites teóricos de concentración mucho más altos en el caso de los sistemas de concentración tridimensional que en el de los de los sistemas bidimensionales, ¿Por qué las primeras experiencias comerciales de aplicación de sistemas de concentración solar a la producción de electricidad se han basado en conceptos bidimensionales, como es el caso de los concentradores cilindroparabólicos?. La razón estriba en que en los sistemas de concentración de tipo bidimensional es suficiente la utilización de dispositivos de seguimiento en un único eje alcanzando concentraciones del orden de 20-80X y temperaturas de trabajo del orden de los 400°C. Por el contrario, los sistemas de concentración

tridimensional requieren de dispositivos de seguimiento en dos ejes, más complejos, y suelen tener concentraciones entre 300-2000X y temperaturas de trabajo de hasta 1000°C. Recordaremos que, en la actualidad, existen tres tecnologías diferentes desarrolladas para su uso en Plantas Solares Termoeléctricas. Estas tecnologías, denominadas colectores cilindro-parabólicos, de receptor central, y discos Stirling, hacen uso solamente de la componente directa de la radiación solar, lo que les obliga a tener dispositivos de seguimiento solar.

1. En los colectores cilindro-parabólicos (2D), la radiación solar directa es reflejada por espejos cilindro-parabólicos que la concentran en un tubo receptor o absorbedor por el que circula un fluido que se calienta como consecuencia de la radiación solar concentrada que incide sobre él hasta temperaturas máximas de 400°C. De este modo, la radiación solar es convertida en energía térmica que se utiliza posteriormente para generar electricidad mediante un ciclo Rankine de agua/vapor. Una variación de esta tecnología son los sistemas lineales de concentración fresnel, en los que el espejo parabólico se sustituye por una discretización fresnel con espejos de menores dimensiones que pueden ser ya planos o disponer de una leve curvatura en su eje axial, y que mediante el control de su orientación axial permiten concentrar radiación solar sobre el tubo absorbedor, que en este tipo de aplicaciones suele permanecer fijo.
2. Los sistemas de receptor central (3D) utilizan espejos de gran superficie (40-125 m² por unidad) denominados helióstatos, que están dotados de un sistema de control para reflejar la radiación solar directa sobre un receptor central situado en la parte superior de una torre. En esta tecnología, la radiación solar concentrada calienta en el receptor un fluido a temperaturas de hasta 1000°C, cuya energía térmica puede después utilizarse para la generación de electricidad.
3. Los sistemas de discos parabólicos Stirling (3D) utilizan una superficie de espejos montados sobre una parábola de revolución que reflejan y concentran los rayos del Sol en un foco puntual, donde se sitúa el receptor, en el que se calienta el fluido de trabajo de un motor Stirling que, a su vez, acciona un pequeño generador eléctrico.

Aunque todas las tecnologías antes mencionadas están en situación incipiente comercialmente y es pronto para dar estimaciones de costes concluyentes, *a priori* podemos decir que los sistemas de concentración de tipo tridimensional pueden alcanzar mayores temperaturas de trabajo, lo que en principio aumentará el rendimiento del ciclo termodinámico utilizado, si bien para alcanzar dichas concentraciones necesitan de sistemas de seguimiento en 2 ejes, de gran precisión, lo que puede grabar su coste por m² construido respecto a los sistemas de concentración bidimensional

En consecuencia, es un objetivo de la presente invención el disponer de un sistema más eficiente técnicamente y más competitivo económicamente.

Descripción de la invención

El concepto de planta de concentración solar de la invención se basa en integrar las ventajas de los sistemas de concentración de tipo bidimensional, como por ejemplo los colectores cilindroparabólicos (CCP), para aumentar la temperatura del fluido caloportador hasta las temperaturas medias donde son más eficientes este tipo de sistemas, con las ventajas de los sistemas de concentración de tipo tridimensional, por ejemplo sistemas de torre y campo de helióstatos que permiten alcanzar elevadas temperaturas, usando éstos principalmente para sobrecalentar el fluido caloportador desde la temperatura ya suministrada por los sistemas bidimensionales hasta aquellas que hagan posible su integración en el ciclo termodinámico de manera más eficiente. Desde el punto de vista del coste de la instalación, el uso de tecnologías de concentración tridimensionales para la etapa del calentamiento inicial resulta más costoso que el uso de sistemas de concentración bidimensionales para dicha etapa. Actualmente se emplean para ambas etapas sistemas de concentración bidimensionales que no llegan a alcanzar las temperaturas óptimas de operación de los ciclos termodinámicos o sistemas de concentración tridimensionales, más costosos. La combinación de ambos permite alcanzar altas temperaturas y por tanto altos rendimientos en los ciclos termodinámicos sin necesidad de que todo el sistema solar de concentración requiera de altas precisiones ni de seguimiento en dos ejes, lo que al final supone una reducción de costes significativa.

Así, el fluido caloportador con temperatura inicial T1 es calentado por un sistema de concentración bidimensional hasta temperatura T2 para desde allí ser almacenando o ser recalentado ya sea mediante el uso de apoyo fósil (en sistemas híbridos cuando no exista aporte solar suficiente) o mediante el uso de un sistema de concentración tridimensional (cuando exista aporte solar suficiente) hasta la temperatura T3, pudiendo ser almacenado para aumentar el factor de capacidad de la planta o enviado directamente al ciclo termodinámico existente.

De este modo ambas tecnologías de concentración, la bidimensional y la tridimensional, se usarían de modo más eficiente y menos costoso, pudiéndose adecuar la temperatura de suministro del fluido caloportador al foco caliente del ciclo termodinámico en las condiciones necesarias para que este sea más eficiente.

Breve descripción de las figuras

Para complementar la descripción que antecede, y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se va a realizar una descripción detallada de una realización preferida, en base a un juego de

ES 2 327 991 B1

dibujos que se acompañan a esta memoria descriptiva y en donde con carácter meramente orientativo y no limitativo se ha representado lo siguiente.

5 La figura 1 muestra un ciclo termodinámico Rankine, tal como se utiliza en una realización preferida de la invención.

La figura 2 muestra un esquema de la planta, tal como se utiliza en una realización preferida de la invención.

En las anteriores figuras las referencias numéricas corresponden a las siguientes partes y elementos.

10

1. Colector cilindroparabólico.
2. Campo de heliostatos y torre central.
- 15 3. Almacenamiento térmico a baja temperatura.
4. Almacenamiento térmico a alta temperatura.
- 20 5. Apoyo fósil.
6. Turbina.
7. Generador eléctrico.
- 25 8. Condensador.
9. Compresor.

25

30

Descripción detallada de una realización preferida

A continuación describiremos detalladamente una aplicación de la invención a la producción de energía eléctrica, utilizando para ello un ciclo termodinámico tipo Rankine. En este caso particular se ha escogido la tecnología de colectores cilindroparabólicos como tecnología de concentración solar bidimensional, y la tecnología de receptor central como tecnología de concentración tridimensional.

35

En los ciclos termodinámicos tipos Rankine la mayoría de la energía aportada al ciclo se realiza en la etapa de evaporación a temperatura constante, siendo únicamente la etapa de sobrecalentamiento la que exige el uso de temperaturas elevadas. En la aplicación del concepto de planta combinada de la invención a un ciclo Rankine, lo que se propone es el uso de la tecnología de CCP para las fases de calentamiento y evaporación, y si acaso para un leve sobrecalentamiento hasta temperatura máxima de 400°C, para luego usar la tecnología de receptor central únicamente en las etapas donde se requiere de altas temperaturas de trabajo, por encima de 400°C (La etapa de sobrecalentamiento alcanza temperaturas incluso por encima de 550°C en los ciclos Rankine sobrecalentados convencionales).

40

Como puede verse en la figura 1, el ciclo consta de cuatro procesos; partiendo de la temperatura más baja T0, el fluido caloportador es bombeado hasta la temperatura T1, a partir de la cual es calentado a presión constante por un sistema de concentración bidimensional hasta la temperatura T2 para desde allí ser recalentado por un sistema de concentración tridimensional hasta la temperatura T3, desde la que expande en una turbina hasta volver a la temperatura inicial T0, cerrándose el ciclo mediante un condensador que convierte en líquido el vapor saturado.

45

Como puede verse en la figura 2, esta planta estaría típicamente compuesta por:

50

- a) Medios de concentración solar bidimensional (incluyendo su receptor), consistentes en un colector cilindroparabólico (1) para generación de vapor saturado o levemente sobrecalentado. Este dispositivo permitirá realizar típicamente el aporte de calor al agua procedente del condensador desde los aproximadamente 50°C hasta los 250 o 330°C si se trabaja con vapor saturado (dependiendo de presión seleccionada para el ciclo), o incluso hasta los aproximadamente 400°C si se trabaja con vapor levemente sobrecalentado en la parte CCP.
- 55 b) Medios de concentración solar tridimensional (incluyendo su receptor), consistentes en un campo de heliostatos y torre central (2), para sobrecalentamiento del vapor producido por la parte CCP.
- 60 c) Un dispositivo de almacenamiento térmico a baja temperatura (3).
- d) Un dispositivo de almacenamiento térmico a alta temperatura (4).
- 65 e) Un dispositivo de apoyo fósil (5).

ES 2 327 991 B1

f) Una turbina (6) acoplada mecánicamente a un generador eléctrico (7).

g) Un condensador (8).

5 h) Una bomba (9).

El aporte energético en un ciclo Rankine para la etapa de sobrecalentamiento supone únicamente (con las temperaturas indicadas) alrededor del 18% del aporte energético total al ciclo. Teniendo en cuenta esta característica podría diseñarse una planta combinada cuya potencia térmica en el punto de diseño del campo de cilindroparabólicos fuese el 82% de la potencia térmica necesaria para el bloque de potencia y el 18% restante fuese aportado por el campo de helióstatos. El uso de vapor sobrecalentado puede permitir la implementación de ciclos termodinámicos de mayor eficiencia en las plantas. Por ejemplo, para una planta de 11 MWe con un ciclo de vapor saturado se obtienen rendimientos del ciclo del 28.5%. Una planta de similares proporciones trabajando con vapor sobrecalentado podría incorporar ciclos con rendimientos en el entorno del 35% al 38% en función de la temperatura y la presión de trabajo, lo que supone incrementar en más de un 20% ó 30% la producción anual de la planta.

Para que la planta pueda combinar ambas tecnologías de manera eficiente es importante tener en cuenta el efecto coseno de las mismas o lo que es lo mismo la variación de la energía solar utilizable por la tecnología de concentración bidimensional (CCP) y la tecnología de concentración tridimensional (Campo de helióstatos y torre) a lo largo del año. Para dimensionar adecuadamente el sistema mixto tenemos varias alternativas que son además distintas en función de la latitud y la radiación del lugar dónde se vaya a situar la planta. Los modos de operación que a continuación se describen se circunscriben a la combinación de plantas de CCP con orientación N-S (seguimiento E-W) combinadas con la tecnología de receptor central en latitudes similares a las de España.

Si queremos realizar la etapa de sobrecalentamiento solo con energía solar, hemos de sobredimensionar el campo de helióstatos para que en periodos veraniegos siempre exista un 18% de energía solar disponible para sobrecalentar. Eso implicaría un tamaño del campo de helióstatos en el punto de diseño ligeramente superior al 18%, lo que nos llevaría en invierno a un exceso de energía disponible para sobrecalentamiento, teniendo pues que utilizar ésta energía en exceso para los procesos de baja y media temperatura de precalentamiento y evaporación. También se podría realizar la etapa de sobrecalentamiento con apoyo de gas, y de esta manera no sería necesario un sobredimensionamiento del campo de helióstatos para suplir la carencia en periodos veraniegos y el exceso de energía para sobrecalentamiento en invierno sería menor. Otro modo de amortiguar las diferencias estacionales y diarias es haciendo uso de un sistema de almacenamiento térmico. De esta manera se pueden amortiguar los distintos desacoples de ambos sistemas. El uso combinado de apoyo fósil, sistema de almacenamiento y dimensionamiento adecuado de los sistemas de concentración bi y tridimensional llevarán a las condiciones óptimas de operación en cada caso.

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Planta de concentración solar, que utiliza un fluido caloportador en cualquier ciclo termodinámico o sistema de aprovechamiento de calor de proceso, **caracterizada** por comprender;
- 10 medios de concentración solar bidimensional, para calentar el fluido caloportador desde una temperatura T1 a una temperatura T2,
- 10 medios de concentración solar tridimensional, para sobrecalentar el fluido caloportador desde la temperatura T2 hasta una temperatura T3,
- de tal manera que se aprovechen las ventajas del trabajo a alta temperatura de los medios de concentración solar tridimensional con costes globales similares a los de los sistemas de concentración solar bidimensional.
- 15 2. Planta de concentración solar de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** por qué los medios de concentración solar bidimensional comprenden un colector cilindroparabólico (1).
- 20 3. Planta de concentración solar de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** por qué los medios de concentración solar tridimensional comprenden un campo de helióstatos y torre central (2).
- 20 4. Planta de concentración solar de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** por incorporar dispositivos de almacenamiento térmico (3) (4),
- 25 5. Planta de concentración solar de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** por incorporar un dispositivo de apoyo fósil (5), complementario de los dispositivos de concentración (1) (2).
- 30 6. Planta de concentración solar de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** por qué el ciclo termodinámico es un ciclo Rankine, para generación de vapor de agua sobrecalentado.

30

35

40

45

50

55

60

65



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 327 991

② Nº de solicitud: 200602134

③ Fecha de presentación de la solicitud: **04.08.2006**

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **F03G 6/06** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	FR 2450363 A1 (ANVAR) 26.09.1980, página 1, línea 1 - página 5, línea 34; figuras 1-4.	1-6
Y	US 5444972 A (MOORE et al.) 29.08.1995, resumen; columna 2, línea 46 - columna 4, línea 15; figura 1.	1-6
Y	US 5228293 A (VITALE et al.) 20.07.1993, resumen; columna 1, línea 62 - columna 3, línea 7; figura 1.	1-6
A	US 4942736 A (BRONICKI et al.) 24.07.1990, columna 2, línea 34 - columna 4, línea 42; figura 1.	1,3-6

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

23.10.2009

Examinador

A. Hoces Díez

Página

1/1