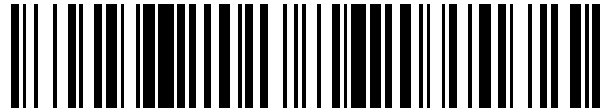


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 575 352**

21 Número de solicitud: 201431777

51 Int. Cl.:

F02C 1/05 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

28.11.2014

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.06.2016

Fecha de concesión:

04.04.2017

45 Fecha de publicación de la concesión:

11.04.2017

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2015/070863

73 Titular/es:

**ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES, S.A.
(100.0%)**

**Campus Palmas Altas - 7/ Energía Solar nº1
41014 Sevilla (Sevilla) ES**

72 Inventor/es:

GRELLIER, Cyrille

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

54 Título: **Planta híbrida solar-fósil de alto rendimiento**

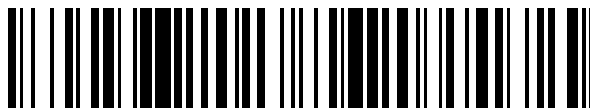
ES 2 575 352 B1

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 575 352**

21 Número de solicitud: 201431777

57 Resumen:

Planta híbrida solar-fósil de alto rendimiento.

La invención se refiere a una planta híbrida (100a, 100b) solar-fósil que comprende:

- una planta de concentración solar que incluye:
- al menos un primer circuito cerrado con un primer fluido caloportador;
- un receptor de energía solar (20) para calentar el primer fluido caloportador; y
- al menos un medio de almacenamiento (22) de energía térmica para almacenar el primer fluido caloportador;

comprendiendo también la planta híbrida:

- un ciclo principal cerrado de CO_2 supercrítico que incluye al menos una turbina (10) cuyo fluido de trabajo es CO_2 supercrítico y una cámara de combustión (16) para quemar un combustible, estando el ciclo principal cerrado de CO_2 supercrítico en comunicación térmica con el primer fluido caloportador de la planta de concentración solar.

La cámara de combustión (16) está diseñada para incrementar una temperatura del CO_2 supercrítico hasta una temperatura de operación de la turbina (10) utilizando calor procedente de la combustión del combustible, sin mezclarse los gases de escape de combustión con el CO_2 supercrítico de trabajo.

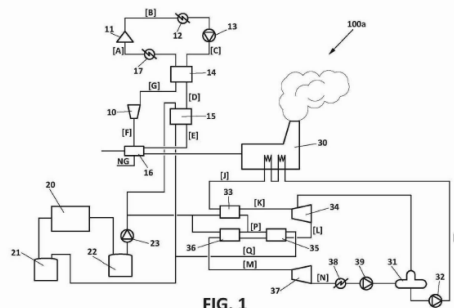


FIG. 1

ES 2 575 352 B1

DESCRIPCIÓN

Planta híbrida solar-fósil de alto rendimiento.

5 **Campo de la invención**

La invención pertenece al sector de las plantas híbridas que combinan la energía solar con el gas natural para producir energía eléctrica. Concretamente, al campo de las plantas híbridas que usan, entre otros, CO₂ supercrítico y vapor como fluidos para las turbinas.

10

Antecedentes de la invención

Es conocida la tecnología de plantas de ciclo combinado que usan una caldera de recuperación para aprovechar la energía contenida en los gases de escape de una turbina de gas. Normalmente, las calderas de recuperación se usan acopladas a un ciclo Brayton en ciclos combinados convencionales.

15

La tecnología de plantas de producción de energía eléctrica que usan CO₂ supercrítico como fluido de trabajo (también denominado fluido a turbinar) está todavía poco usada pero sus ventajas son conocidas y existen publicaciones al respecto. Las soluciones que usan CO₂ supercrítico como fluido de trabajo usan en la mayoría de los casos únicamente gas natural como fuente de calor. Un ejemplo de ello es el documento de patente US-2013/0213049 relativa a un sistema para la producción de energía eléctrica con alta eficiencia usando dióxido de carbono (CO₂) como fluido de trabajo.

20

El uso de energía solar como fuente de calor para ciclos de CO₂ supercrítico se menciona en algunos documentos de patente como, por ejemplo, US-2012/0216536, en el que se describe una planta solar que funciona con CO₂ supercrítico como fluido caloportador. En este documento se describe la posibilidad de hibridación con un ciclo Rankine convencional, aprovechando el calor sobrante del ciclo Brayton para producir vapor.

25

Una combinación de los dos métodos de aporte de calor descritos en los dos párrafos anteriores es la hibridación solar-fuel. El concepto de hibridación de plantas solar-fósil consiste en incorporar energía solar en ciclos que funcionan con energía fósil y que tienen un alto rendimiento energético. Este concepto se aplica a los ciclos de potencia de CO₂ en US 2013/0118145, en la que se describe un sistema y método de generación de energía eléctrica con dióxido de carbono supercrítico calentado hibridando combustible fósil-energía solar. Esta patente describe un sistema que usa una combinación de energía fósil y solar para producir energía en un ciclo Brayton.

30

35

Por otra parte, el aprovechamiento de la energía proveniente del sol durante horas de radiación solar limitada o nula es también un proceso conocido y usado hoy en día en el sector termosolar; más específicamente en plantas termosolares con sistema de almacenamiento térmico. Un ejemplo de ello es la patente US-7299633, relativa a un concentrador solar con receptor de sales fundidas que incorpora almacenamiento térmico.

40

El uso de un sistema de almacenamiento en plantas solares de producción de electricidad que funcionan con CO₂ supercrítico como fluido de trabajo se describe en las patentes US-2012/0216536 y US-7685820. En la patente US-20125/0216536 el almacenamiento térmico se realiza almacenando directamente el CO₂ caliente en estado supercrítico. En la patente US-7685820, el sistema descrito utiliza sales fundidas como medio de almacenamiento térmico y fluido caloportador para transmitir energía a un ciclo Brayton de CO₂ supercrítico.

45

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a una planta híbrida solar-fósil de alto rendimiento que tiene un ciclo principal cerrado en el que el fluido de trabajo es CO₂ supercrítico, y una planta de concentración solar que incluye un receptor solar y un fluido caloportador, utilizándose el fluido caloportador para calentar el CO₂ supercrítico del ciclo principal cerrado.

50

Según un primer aspecto de la invención, ésta se refiere a una planta híbrida solar-fósil que comprende una planta de concentración solar y un ciclo principal cerrado en el que el fluido de trabajo es CO₂ supercrítico.

55

La planta de concentración solar incluye:

- al menos un primer circuito cerrado con al menos un fluido caloportador;
- un receptor de energía solar para calentar el fluido caloportador; y
- al menos un medio de almacenamiento de energía térmica para almacenar el fluido caloportador.

60

Esta planta de concentración solar se dimensiona para calentar durante las horas de sol al menos un fluido caloportador en cantidad suficiente para permitir tanto la producción eléctrica diurna no interrumpida de la planta

65

como la producción eléctrica nocturna requerida a partir del almacenamiento.

El ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico incluye al menos una turbina cuyo fluido de trabajo es CO₂ supercrítico y una cámara de combustión para calentar el CO₂ supercrítico quemando un combustible.

5

De acuerdo con la invención:

- el ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico está en comunicación térmica con el fluido caloportador de la planta de concentración solar, de forma que dicho fluido caloportador calienta el CO₂ supercrítico antes de que éste entre en la cámara de combustión; y

10

- la cámara de combustión está diseñada para incrementar la temperatura del CO₂ supercrítico hasta la temperatura de operación de la turbina utilizando calor procedente de la combustión del combustible, sin que se mezclen los gases de escape de combustión y el CO₂ supercrítico de trabajo.

15

Es decir, la cámara de combustión está diseñada para dar el último salto de temperatura al CO₂ supercrítico hasta que alcance la temperatura de operación de la turbina, sin que se mezclen los gases de combustión con el CO₂ supercrítico a turbinar.

20

Para ello, preferiblemente la cámara de combustión tiene un primer compartimento con una entrada para combustible y una salida para los gases de escape de la combustión del combustible, y un segundo compartimento con una entrada y una salida de CO₂ supercrítico en la cual se incrementa la temperatura del CO₂ supercrítico, siendo dichas primera y segunda porciones estancas entre sí de forma que no hay mezcla entre los gases de escape de combustión y el CO₂ supercrítico del ciclo cerrado.

25

La proporción solar (definida como el ratio de energía solar aportada/ energía total aportada) está limitada en las plantas híbridas solar-fósil existentes debido al rendimiento más bajo en la parte solar del ciclo. Esto se evita en la planta híbrida de la invención compensando el bajo rendimiento de la parte solar con un rendimiento más alto del ciclo de CO₂ supercrítico.

30

De esta forma, mediante la planta híbrida solar-fósil de la presente invención se consigue incrementar la proporción solar respecto al estado del arte actual, manteniendo un rendimiento global equivalente. Asimismo, se reducen las emisiones contaminantes de los ciclos Brayton convencionales, y se reduce el coste general de producción de energía a largo plazo mediante ahorro de combustible fósil.

35

En este contexto se entiende por fluido caloportador cualquier fluido que pueda calentarse a temperaturas superiores a 200 °C Preferiblemente es un fluido a base de sodio, sales y/o metales. Preferiblemente tiene una temperatura de trabajo superior a 327 °C.

40

Adicionalmente, el rendimiento de la planta híbrida solar-fósil con ciclo de CO₂ supercrítico se mejora en una realización preferida en la que la planta híbrida comprende además un ciclo secundario con vapor como fluido de trabajo, en comunicación térmica con los gases de escape procedentes de la cámara de combustión del ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico. Estos gases calientan el fluido de trabajo del ciclo secundario.

45

Se utiliza preferiblemente una caldera de recuperación de gases del ciclo de CO₂ supercrítico en el ciclo secundario de vapor. En esta realización preferida el ciclo secundario aprovecha, en la caldera de recuperación, los gases de escape de la cámara de combustión del ciclo principal cerrado como fuente de energía térmica para precalentar y evaporar el agua de alimentación. La caldera de recuperación del ciclo secundario preferiblemente incluye al menos un evaporador y un precalentador de agua de alimentación. La cantidad de vapor saturado producida en el ciclo depende de la energía contenida en los gases de escape del ciclo principal cerrado.

50

Según una realización preferida, el ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico está en comunicación térmica con el primer circuito del primer fluido caloportador de la planta solar mediante un intercambiador de calor situado aguas arriba de la cámara de combustión, de forma que dicho primer fluido caloportador calienta el CO₂ supercrítico antes de entrar en cámara de combustión.

55

En este caso, el primer fluido caloportador puede estar también en comunicación térmica con el ciclo secundario de vapor, de forma que el primer fluido caloportador suministra energía en forma de calor al ciclo secundario de vapor.

60

De acuerdo con otra realización preferida la planta comprende dos fluidos caloportadores, donde el primer fluido caloportador es calentado en la planta solar y el segundo fluido caloportador es calentado por el primer fluido caloportador mediante un intercambiador de calor en un segundo circuito cerrado. En tal caso, el primer fluido caloportador preferiblemente tiene una temperatura máxima de trabajo superior al segundo fluido caloportador.

65

El segundo circuito cerrado con el segundo fluido caloportador también puede estar en comunicación térmica con el ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico, mediante por ej., un intercambiador de calor, para así aportar calor al CO₂ supercrítico.

En esta segunda realización el segundo fluido caloportador puede estar en comunicación térmica con el ciclo secundario de vapor, de forma que el segundo fluido caloportador suministra energía en forma de calor al ciclo secundario de vapor.

5 Esta realización en la que la planta híbrida tiene dos fluidos caloportadores, tiene la ventaja de poder tener dos fluidos con diferentes temperaturas de trabajo y utilizar así un primer fluido caloportador de muy alta temperatura que permite aumentar la temperatura del fluido de trabajo antes de entrar a la cámara de combustión, gracias a un aumento del aporte de calor de la parte solar al ciclo principal cerrado. Al usar dos fluidos caloportadores diferentes uno puede ser compatible con el agua del ciclo secundario de vapor –por ej. un segundo fluido caloportador a base de sales– y el otro puede tener una muy alta temperatura de trabajo, una temperatura de solidificación relativamente alta, y no necesita ser compatible con el agua –por ej., un primer fluido caloportador mezcla de sodio-potasio o metal fundido– en el ciclo principal cerrado.

15 En esta realización el primer fluido caloportador preferiblemente tiene una temperatura máxima de trabajo entre 650 °C y 1100 °C Y el segundo fluido caloportador tiene una temperatura máxima de trabajo entre 550 °C y 600 °C

20 La comunicación térmica entre la planta de concentración solar y el ciclo de vapor puede llevarse a cabo mediante al menos un sobrecalentador y/o un recalentador del ciclo secundario: el o los fluidos caloportadores aportan, directa o indirectamente, la energía necesaria en el sobrecalentador y/o en el recalentador para sobrecalentar y recalentar el vapor producido por la caldera de recuperación.

25 Un segundo aspecto de la invención se refiere a un método para generar energía eléctrica mediante un ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico que incluye una turbina cuyo fluido de trabajo es CO₂ supercrítico y una cámara de combustión para quemar combustible, que comprende los siguientes pasos:

- calentar al menos un fluido caloportador con energía procedente del sol;
- transportar el fluido caloportador caliente hasta el ciclo principal cerrado de CO₂;
- calentar el CO₂ supercrítico mediante el fluido caloportador caliente antes de entrar en la cámara de combustión;
- introducir el CO₂ supercrítico calentado por el fluido caloportador en una cámara de combustión para incrementar la temperatura del CO₂ supercrítico hasta una temperatura de operación de la turbina utilizando calor procedente de la combustión del combustible, sin que se mezclen los gases de escape de combustión con el CO₂ supercrítico de trabajo; y
- generar energía eléctrica haciendo pasar el CO₂ supercrítico calentado en la cámara de combustión por la turbina.

40 Preferentemente, antes de calentar el CO₂ supercrítico con al menos un fluido caloportador, se aplica un incremento de temperatura al CO₂ supercrítico en un recuperador que recupera el calor sobrante del CO₂ no supercrítico que sale de la turbina.

45 Los diferentes aspectos y realizaciones de la invención definidos en los párrafos anteriores pueden combinarse entre sí, siempre y cuando sean compatibles.

Otras ventajas y características adicionales de la invención serán evidentes de la descripción detallada que sigue y serán particularmente señaladas en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de las figuras

50 Para complementar la descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de la descripción un juego de figuras en el que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

55 La figura 1 muestra el esquema de una primera posible realización de una planta híbrida solar-fósil que incluye un ciclo de CO₂ supercrítico, un ciclo Rankine y con un único fluido caloportador.

60 La figura 2 muestra el esquema de una segunda posible realización de una planta híbrida solar-fósil que incluye un ciclo de CO₂ supercrítico, un ciclo Rankine, con dos fluidos caloportadores.

Se incluyen a continuación los componentes de la invención:

- 100a Primera realización de la planta híbrida solar-fósil
- 10 Turbina de CO₂

- 11 Compresor
- 12 Enfriador
- 13 Bomba del ciclo cerrado de CO₂
- 14 Recuperador
- 5 15 Intercambiador
- 15a Primer intercambiador de la segunda realización preferente de la invención
- 15b Segundo intercambiador de la segunda realización preferente de la invención
- 16 Cámara de combustión
- 17 Enfriador
- 10 18 Intercambiador
- 20 Receptor solar
- 21 Tanque frío
- 21_I Primer tanque frío de la segunda realización de la invención
- 21_II Segundo tanque frío de la segunda realización de la invención
- 15 22 Tanque caliente
- 23 Bomba de la planta solar
- 24 Bomba de impulsión del segundo fluido de la segunda realización de la invención
- 30 Caldera de recuperación
- 31 Desgasificador
- 20 32 Bomba de alimentación del ciclo secundario de vapor
- 33 Sobrecalentador
- 34 Turbina de alta presión
- 35 Segundo recalentador de la segunda realización preferente de la invención
- 36 Primer recalentador de la segunda realización preferente de la invención
- 25 37 Turbina de baja presión
- 38 Condensador
- 39 Bomba de condensado
- 100b Segunda realización de la planta híbrida solar-fósil

30 **Descripción de un modo de realización de la invención**

En la presente descripción se explica en detalle posibles configuraciones, no limitantes, de la invención así como su funcionamiento. La descripción omite y/o simplifica algunos aspectos ya conocidos en el sector para no complicar la descripción de la planta híbrida que aquí nos interesa.

35 En la Figura 1 se muestra el esquema de una primera posible realización preferente de una planta híbrida 100a solar-fósil según la invención.

40 Esta primera realización preferente de la planta híbrida 100a solar-fósil incluye un ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico (Brayton) siendo éste el fluido de trabajo o fluido a turbinar, un ciclo secundario de vapor (Rankine), y un ciclo correspondiente al calentamiento de un fluido caloportador por parte de una planta de concentración solar.

45 Se considera el ciclo de CO₂ como ciclo principal al ser el ciclo en el cual se produce la mayor cantidad de energía eléctrica. Se considera el ciclo Rankine como secundario porque aprovecha la energía no usada en el ciclo principal para producir energía eléctrica.

50 La planta solar puede ser cualquier tipo de planta solar de concentración, por ejemplo, de torre o de cilindros parabólicos, que permita calentar y almacenar un fluido caloportador, a alta temperatura. Se consideran como altas las temperaturas superiores a 450 °C.

En esta primera realización preferente de la invención el fluido caloportador de aplicación solar denominado de

alta temperatura tiene una temperatura máxima de trabajo que asciende a entre 550 °C y 600 °C. Puede ser, por ejemplo, una mezcla binaria de sales de nitrato.

5 La planta de concentración solar comprende un receptor (20) de concentración solar para calentar un fluido caloportador de alta temperatura. Este fluido caloportador se almacena frío en un primer tanque (21) frío. Del tanque (21) frío se manda al receptor solar (20) en el cual se calienta mediante concentración de la radiación solar hasta su temperatura caliente, cercana a 567 °C. Una vez alcanzada la temperatura caliente, el fluido caloportador caliente se almacena en un segundo tanque (22) caliente. Desde el segundo tanque (22) caliente se bombea mediante una bomba (23) parte del fluido a un intercambiador (15) del ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico, con el que intercambia calor, y otra parte (como se explicará más adelante) a un sobrecalentador (33) y a unos recalentadores (35), (36) del ciclo secundario de vapor. Tras el intercambiador (15) del ciclo principal cerrado, el fluido caloportador sale a una temperatura cercana a su temperatura fría, aproximadamente 300 °C, y se envía de vuelta directamente al primer tanque (21) frío.

15 El ciclo principal de CO₂ comprende una turbina de CO₂ supercrítico (10), cuyas condiciones de entrada se han fijado a una presión de trabajo de 300 bares, una temperatura de trabajo de 1150 °C y un "pressure ratio" o ratio de presión de 60 (el "pressure ratio" es la presión de entrada a la turbina dividida por la presión de salida de la turbina), un compresor (11), un enfriador (12), una bomba (13), un recuperador (14), un intercambiador (15), una cámara de combustión (16) y un enfriador (17).

20 En el ciclo principal cerrado, el CO₂ está en el punto (A) a baja presión, aproximadamente 5 bares, y a temperatura ambiente, unos 20 °C; se comprime en una primera etapa de compresión en un compresor (11) hasta alcanzar una presión superior a su presión crítica, es decir cercana a 80 bares. Este proceso de compresión calienta el CO₂ a una temperatura superior a 227 °C (punto B). Este compresor (11) de CO₂ está configurado para comprimir el CO₂ hasta que adquiera sus propiedades supercríticas.

25 A continuación, el CO₂ supercrítico se enfría en un enfriador (12), que puede ser un enfriador con aire, hasta una temperatura no inferior a su temperatura crítica para posteriormente dirigirse a la entrada de una bomba (13). En esta bomba (13) se le aplica una segunda etapa de presurización, donde alcanza la presión de trabajo de la turbina. A la salida de la bomba (13) (punto C), el CO₂ supercrítico está a una presión de aproximadamente 300 bares y una temperatura poco superior a la temperatura ambiente.

A continuación se aplican varios incrementos de temperatura al CO₂ supercrítico:

35 - Primero en un recuperador (14) o intercambiador de CO₂-CO₂ supercrítico: recupera el calor sobrante del CO₂ que sale de la turbina (10) (punto G) para transmitírselo a la corriente de CO₂ supercrítico que sale de la bomba (13). A la salida de este recuperador (14) la temperatura del CO₂ supercrítico es de aproximadamente 227 °C (punto D).

40 - A continuación en el intercambiador (15) de fluido caloportador de alta temperatura-CO₂ supercrítico: la corriente de CO₂ que sale del recuperador (14) se calienta usando el fluido caloportador caliente proveniente de la planta solar. La temperatura de salida del CO₂ supercrítico después de este intercambiador (15) es cercana a la temperatura caliente del fluido caloportador, es decir unos 557 °C (punto E).

45 - Finalmente en una cámara de combustión (16): esta cámara de combustión (16) se alimenta con energía fósil, por ejemplo gas natural NG, y la energía térmica de la combustión del gas natural se aporta al CO₂ supercrítico para que alcance las condiciones de entrada de la turbina (10), es decir, una temperatura de 1150 °C (punto F). En la cámara de combustión (16) no se mezclan los gases de combustión del gas natural con el CO₂ supercrítico a turbinar.

50 El CO₂ supercrítico se introduce entonces en la turbina (10) de la cual sale a unos 5 bares y aproximadamente 377 °C (punto G). En este punto G el CO₂ ya no se encuentra en su estado supercrítico.

55 Este CO₂ no supercrítico que sale de la turbina (10) se utiliza en el recuperador (14) del cual sale a una temperatura la más cercana posible a la temperatura ambiente tras haber cedido parte de su energía a la corriente de CO₂ que sale de la bomba (13).

60 El ciclo principal de CO₂ supercrítico se cierra enfriando esta corriente de CO₂ no supercrítico en un enfriador (17) hasta la temperatura admisible de entrada del compresor (11).

65 Además, y para un mejor rendimiento de la planta híbrida de la invención, los gases de combustión del gas natural que salen de la cámara de combustión (16) se mandan directamente a una caldera de recuperación (30) del ciclo secundario de vapor. Se trata de una cámara de combustión (16) en la que no se mezclan los gases de combustión del gas natural –que son los que se envían y utilizan en el ciclo secundario de vapor– con el CO₂ supercrítico del ciclo principal de trabajo. Se produce un intercambio térmico sin haber mezcla de fluidos.

El ciclo secundario de vapor comprende una caldera de recuperación (30), un desgasificador (31) una bomba de alimentación (32), un sobrecalentador (33), una turbina de alta presión (34), dos recalentadores (35 y 36), una turbina de baja presión (37), un condensador (38) y una bomba de condensado (39).

5

Por otra parte, en el ciclo secundario de vapor, la presión alta de trabajo se ha fijado, en este ejemplo, a 90 bares, la presión baja de trabajo a 5,2 bares y la presión del desgasificador (31) a 2 bares.

10

El agua de alimentación se bombea desde un desgasificador (31) hasta la caldera de recuperación (30) por medio de una bomba de alimentación (32). A la entrada (punto H) de la caldera de recuperación (30) las condiciones del agua son de 90 bares y aproximadamente 127 °C.

15

De la caldera de recuperación (30) sale vapor saturado a 90 bares y unos 307 °C (punto J). Los gases de la caldera, por su parte, se liberan a la atmosfera a la temperatura más baja admisible.

20

A continuación, el vapor se sobrecalienta en un sobrecalentador (33) gracias al intercambio de calor con el fluido caloportador de la planta solar, hasta una temperatura cercana a la temperatura caliente del fluido caloportador, es decir, unos 557 °C (punto K). El vapor se turbiniza en una turbina (34) de alta presión de la cual sale a aproximadamente 5,2 bares y 157 °C (punto L). El vapor de salida de la turbina (34) de alta presión se recalienta en dos recalentadores (35), (36), en el primer recalentador (36) el vapor es calentado gracias al calor del fluido caloportador proveniente de la planta solar, mientras que en el segundo recalentador (35) es gracias a una mezcla de fluido proveniente de la salida del primer recalentador (36) y de la salida del sobrecalentador (33), alcanzando así el vapor de nuevo una temperatura cercana a la temperatura caliente del fluido caloportador, unos 557 °C (punto M). Este vapor recalentado se turbiniza en una turbina (37) de baja presión, de la cual sale a la menor presión posible (punto N), normalmente en condiciones de vacío, antes de pasar por un condensador (38) y de vuelta al desgasificador (31) mediante impulsión de una bomba de condensado (39).

25

30

En el ciclo secundario, los recalentadores (35), (36) y el sobrecalentador (33) están conectados de tal forma que el fluido caloportador caliente entra tanto al sobrecalentador (33) como al primer recalentador (36). El segundo recalentador (35) recibe la mezcla de las corrientes de fluido caloportador que salen del sobrecalentador (33) y del primer recalentador (36) a una temperatura intermedia comprendida entre 290 °C y 565 °C (punto P). El fluido caloportador sale del segundo recalentador (35) a una temperatura cercana a la fría (punto Q) y se manda de vuelta al segundo tanque (21) frío de la planta solar.

35

En esta primera configuración de la presente invención, se estima un aporte solar global de aproximadamente 38,5% por una eficiencia global de la planta de aproximadamente 53%, lo que significa una mejora considerable respecto al estado del arte.

40

Además, se consigue reducir el consumo de energía fósil y las emisiones contaminantes correspondientes reemplazando parte del aporte de la energía fósil necesaria para el funcionamiento de las plantas de producción eléctrica con energía solar.

45

El método para generar energía eléctrica según esta primera realización preferente de la invención comprende los siguientes pasos:

50

- calentar al menos un fluido caloportador con energía procedente del sol;
- transportar el fluido caloportador caliente hasta el ciclo principal cerrado de CO₂;
- incrementar la temperatura al CO₂ supercrítico en un recuperador (14) que recupera el calor sobrante del CO₂ no supercrítico que sale de la turbina (10)

55

- calentar el CO₂ supercrítico mediante el fluido caloportador caliente antes de entrar en la cámara de combustión (16).
- introducir el CO₂ supercrítico calentado por el fluido caloportador en una cámara de combustión (16) para incrementar la temperatura del CO₂ supercrítico hasta una temperatura de operación de la turbina (10) superior a 1127°C utilizando calor procedente de la combustión del combustible, sin que se mezclen los gases de escape de combustión con el CO₂ supercrítico de trabajo; y
- generar energía eléctrica haciendo pasar el CO₂ supercrítico calentado en la cámara de combustión (16) por la turbina (10); y,

60

enviar los gases de combustión generados en la cámara de combustión (16) preferiblemente a una caldera de recuperación (30) para incrementar la temperatura de un fluido de trabajo de un ciclo secundario, siendo el fluido de trabajo del ciclo secundario preferiblemente vapor.

En este ciclo secundario:

65

- alimentar agua bombeándola desde un desgasificador (31) hasta la caldera de recuperación (30) de la que sale vapor saturado;

- sobrecalentar este vapor saturado con al menos un fluido caloportador;
 - turbinar este vapor sobrecalentado en una turbina (34) de alta presión;
 - recalentar el vapor de salida de la turbina de alta presión (34) mediante al menos un fluido caloportador;
- y
- turbinar este vapor recalentado en una turbina (37) de baja presión
 - enviar el vapor a la salida de la turbina (37) de baja presión a un condensador (38) y de ahí al desgasificador (31).

En la Figura 2 se muestra el esquema de una segunda posible realización de una planta híbrida 100b solar-fósil según la invención.

Esta segunda realización la planta híbrida 100b solar-fósil incluye también un ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico (Brayton), que se combina con una planta de concentración solar con dos fluidos caloportadores y con un ciclo secundario de vapor (Rankine).

Esta planta funciona con dos fluidos caloportadores:

- Un primer fluido caloportador de muy alta temperatura (en adelante, fluido I) que tiene una temperatura máxima de trabajo entre 650 °C y 1100 °C. Puede ser, por ejemplo, un metal fundido, sodio o una mezcla a base de sodio.
- Un segundo fluido caloportador de alta temperatura (en adelante, fluido II) que tiene una temperatura máxima de trabajo entre 550 °C y 600 °C. Puede ser, por ejemplo, una mezcla binaria de sales de nitrato.

El objetivo de la configuración de esta segunda realización de la invención es aumentar la temperatura del fluido de trabajo antes de entrar en la cámara de combustión (16), gracias a un aumento del aporte de calor de la parte solar. La necesidad de emplear dos fluidos caloportadores surge a raíz de los inconvenientes que presenta el uso de un fluido de muy alta temperatura. En la actualidad, los fluidos caloportadores de muy alta temperatura potencialmente utilizables presentan estos inconvenientes:

- La mayoría de los metales tienen una temperatura de congelación demasiado alta impidiendo su uso en los intercambiadores de baja temperatura.
- El sodio o las mezclas con base de sodio presentan riesgos de explosión e incendio en presencia de agua impidiendo su uso en intercambiadores de ciclos Rankine.

La configuración mostrada en la Figura 2 es especialmente ventajosa porque permite usar un fluido caloportador de muy alta temperatura únicamente en los intercambiadores en los cuales su uso no presenta riesgo de congelación ni de explosión. De acuerdo con esta realización de la invención, de los dos fluidos caloportadores sólo el fluido I de muy alta temperatura se calienta en la planta solar y se almacena en el primer tanque (22) caliente. Este fluido I se usa directamente como fluido de intercambio de calor en los intercambiadores en los que no existen riesgos, y se usa también para calentar el fluido II de alta temperatura de manera que éste sea el fluido caloportador en los intercambiadores en los cuales el uso del fluido I no es posible.

El intercambio fluido caloportador de muy alta temperatura (fluido I)-fluido caloportador de alta temperatura (fluido II) se hace en un intercambiador de calor.

A continuación se explica en detalle esta segunda posible realización de la planta híbrida solar-fósil de la invención. (A igualdad de elementos que en la realización mostrada en la Figura 1, se utiliza la misma referencia numérica en esta Figura 2).

El fluido I es una mezcla con base de sodio (por ejemplo mezcla de sodio-potasio) con una temperatura máxima de trabajo cercana a los 751 °C. El fluido II tiene una temperatura máxima de trabajo entre 550 °C y 600 °C y puede ser, por ejemplo, una mezcla binaria de sales de nitrato.

El sodio (base del fluido I) es muy reactivo y conlleva un alto riesgo usarlo en intercambiadores con agua o vapor. Sin embargo, puede usarse en intercambiadores con CO₂. La configuración mostrada en esta segunda realización permite beneficiarse de la compatibilidad de las sales de nitrato (fluido II) con el agua en el ciclo secundario, y de la alta temperatura de trabajo de la mezcla de sodio-potasio (fluido I) en el ciclo principal cerrado de CO₂.

En esta segunda realización preferente, el fluido I de muy alta temperatura, es el fluido calentado por la planta solar.

En el ciclo principal cerrado de CO₂, se considera la misma turbina (10) que la descrita en la realización de la figura 1, con las mismas condiciones de presión, temperatura y "pressure ratio" de trabajo.

El ciclo desde la entrada a la turbina (10) hasta la salida del recuperador (14) o intercambiador de CO₂-CO₂ supercrítico es también idéntico al descrito anteriormente.

5 Sin embargo, en esta realización, a la salida del recuperador (14) el CO₂ supercrítico, que está a una temperatura cercana a 227 °C (punto D), se manda a dos intercambiadores de fluido caloportador-CO₂ supercrítico para aumentar su temperatura:

10 - Un intercambiador (15a) de fluido II-CO₂ supercrítico: la corriente de CO₂ se calienta usando el fluido II que proviene del tanque 21_II tras pasar por intercambiador (18). La temperatura de salida del CO₂ supercrítico después de este intercambiador (15a) es cercana a la temperatura caliente del fluido II, es decir, unos 557 °C (punto R).

15 - Un intercambiador (15b) de fluido I-CO₂ supercrítico: en este intercambiador (15b) se aprovecha la muy alta temperatura del fluido I, proveniente de la planta solar, para calentar el CO₂ hasta una temperatura cercana a los 746 °C (punto E) antes de su entrada a la cámara de combustión (16).

20 Al salir de este intercambiador (15b), el CO₂ pasa por la cámara de combustión (16) cuyo rol es aportar al CO₂ supercrítico la energía necesaria para que alcance las condiciones de entrada de la turbina (10), es decir, una temperatura de 1150 °C (punto F). Los gases de la cámara de combustión (16) se mandan directamente a la caldera de recuperación (30) del ciclo secundario.

25 El ciclo secundario es idéntico en equipos y temperaturas en cada punto al descrito en la realización anterior. Sin embargo, las condiciones de caudal en el ciclo de vapor son diferentes al ser mayor la temperatura de salida de los gases de la cámara de combustión (16).

El fluido caloportador usado para sobrecalentar y recalentar el vapor es el fluido II que ha sido previamente calentado por el fluido I.

30 Al igual que en la realización anterior, el fluido I frío se almacena en un primer tanque frío (21_I) de la planta solar. Se bombea al receptor solar (20) para su calentamiento hasta su temperatura caliente. Una vez alcanzada la temperatura caliente, en este caso cercana a los 751 °C, el fluido I se almacena en el segundo tanque (22) caliente.

35 Desde este segundo tanque (22) caliente el fluido I se manda al intercambiador (15b) del ciclo principal cerrado, del cual sale a una temperatura superior a la temperatura caliente del fluido II (punto S). A continuación se manda un intercambiador (18) de fluido I-fluido II para calentar el fluido II hasta su temperatura de trabajo. Al salir de este intercambiador (18) el fluido I se almacena en el primer tanque frío (21_I).

40 Por otra parte, el fluido II se almacena en un tercer tanque (21_II) frío, desde el cual se bombea mediante una bomba (24) al intercambiador (18) de fluido I-fluido II para ser calentado. A la salida de este intercambiador (punto T):

45 - una parte del fluido II se manda al intercambiador (15a) de fluido II-CO₂ supercrítico, desde el cual se vuelve a mandar al tercer tanque (21_II) frío;

- otra parte se manda al sobrecalentador (33) y a los recalentadores (35), (36) del ciclo secundario, que operan en las mismas condiciones que en la realización anterior.

50 El método para generar energía eléctrica según esta segunda realización preferente de la invención comprende los siguientes pasos:

55 - calentar un primer fluido caloportador con energía procedente del sol;
- calentar un segundo fluido caloportador a partir del primer fluido caloportador en un intercambiador de calor (18)

- transportar el primer fluido caloportador caliente hasta el ciclo principal cerrado de CO₂;
- incrementar la temperatura al CO₂ supercrítico en un recuperador (14) que recupera el calor sobrante del CO₂ que sale de la turbina (10);

60 - calentar el CO₂ supercrítico mediante un segundo fluido caloportador caliente antes de entrar en la cámara de combustión (16) en un primer intercambiador de calor (15a); - calentar el CO₂ supercrítico mediante un primer fluido caloportador caliente mediante un segundo intercambiador de calor (15b) antes de entrar en la cámara de combustión;

65 - introducir el CO₂ supercrítico calentado en una cámara de combustión (16) para incrementar la temperatura del CO₂ supercrítico hasta una temperatura de operación de la turbina (10) superior a 1127°C utilizando calor procedente de la combustión del combustible, sin que se mezclen los gases de escape de

combustión con el CO₂ supercrítico de trabajo;

- generar energía eléctrica haciendo pasar el CO₂ supercrítico calentado en la cámara de combustión (16) por la turbina (10); y,

5 enviar los gases de combustión generados en la cámara de combustión (16) preferiblemente a una caldera de recuperación (30) para incrementar la temperatura de un fluido de trabajo de un ciclo secundario, siendo el fluido de trabajo del ciclo secundario preferiblemente vapor.

En este ciclo secundario:

10 - alimentar agua bombeándola desde un desgasificador (31) hasta la caldera de recuperación (30) de la que sale vapor saturado;

- sobrecalentar este vapor saturado con el segundo fluido caloportador;

- turbinar este vapor sobrecalentado en una turbina (34) de alta presión;

15 - recalentar el vapor de salida de la turbina (34) de alta presión mediante al menos un recalentador (35), a partir del segundo fluido caloportador; y

- turbinar este vapor recalentado en una turbina (37) de baja presión

- enviar el vapor a la salida de la turbina (37) de baja presión a un condensador y de ahí al desgasificador(31)

20 En este texto, la palabra “comprende” y sus variantes (como “comprendiendo”, etc.) no deben interpretarse de forma excluyente, es decir, no excluyen la posibilidad de que lo descrito incluya otros elementos, pasos etc.

Por otra parte, la invención no está limitada a las realizaciones concretas que se han descrito sino abarca también, por ejemplo, las variantes que pueden ser realizadas por el experto medio en la materia (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro de lo que se desprende de las reivindicaciones.

25

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Planta híbrida (100a, 100b) solar-fósil que comprende:
- una planta de concentración solar que incluye:
- al menos un primer circuito cerrado con al menos un fluido caloportador;
- un receptor de energía solar (20) para calentar al menos un fluido caloportador; y
- al menos un medio de almacenamiento (22) de energía térmica para almacenar el fluido caloportador;
comprendiendo la planta híbrida:
10 - un ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico que incluye al menos una turbina (10) cuyo fluido de trabajo es CO₂ supercrítico y una cámara de combustión (16) para quemar un combustible, estando el ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico en comunicación térmica con el primer fluido caloportador de la planta de concentración solar;
15 estando la planta híbrida caracterizada por que
- la cámara de combustión (16) está diseñada para incrementar una temperatura del CO₂ supercrítico hasta una temperatura de operación de la turbina (10) utilizando calor procedente de la combustión del combustible, sin mezclarse los gases de escape de combustión con el CO₂ supercrítico de trabajo.
20 2. Planta según la reivindicación 1, que además comprende un ciclo secundario cuyo fluido de trabajo es vapor calentado por los gases de combustión producidos en la cámara de combustión(16).
25 3. Planta según reivindicación 2, en la que el vapor del ciclo secundario está calentado por los gases de combustión producidos en la cámara de combustión (16) mediante una caldera de recuperación (30).
30 4. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en la que el ciclo cerrado de CO₂ supercrítico está en comunicación térmica con el circuito del fluido caloportador de la planta solar mediante un intercambiador de calor (15) situado antes de la cámara de combustión (16).
35 5. Planta según cualquiera de la reivindicaciones 2-4, en la que el fluido caloportador está también en comunicación térmica con el ciclo secundario de vapor.
6. Planta según la reivindicación 5, en la que el fluido caloportador está en comunicación térmica con el ciclo secundario mediante al menos un sobrecalentador (33) y/o al menos un recalentador (35, 36) de dicho ciclo secundario.
40 7. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en la que el fluido caloportador tiene una temperatura de trabajo superior a 327°C.
8. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, que comprende dos fluidos caloportadores donde el primer fluido caloportador es el fluido calentado por la planta solar y el segundo fluido caloportador es calentado por el primer fluido caloportador en al menos un segundo circuito cerrado.
45 9. Planta según la reivindicación 8, en la que el primer fluido caloportador tiene una temperatura máxima de trabajo superior al segundo fluido caloportador.
50 10. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 8-9, en la que el segundo fluido caloportador está en comunicación térmica con el ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico.
11. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en la que la que el segundo fluido caloportador está en comunicación térmica con el ciclo secundario de vapor.
55 12. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 8-11, en la que dicho primer fluido caloportador tiene una temperatura máxima de trabajo entre 650°C y 1100 °C y dicho segundo fluido caloportador tiene una temperatura máxima de trabajo de entre 550°C y 600°C .
60 13. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 1-13, en la que al menos un fluido caloportador está compuesto a base de sodio, sales y/o metales.
65 14. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 1-13, en la que la cámara de combustión (16) tiene un primer compartimento con una entrada para combustible y una salida para gases de escape de la combustión del combustible, y un segundo compartimento con una entrada y una salida de CO₂ supercrítico para incrementar la temperatura del CO₂ supercrítico, siendo dichos primer y segundo compartimentos estancos entre sí de forma que no hay mezcla entre los gases de escape de combustión y el CO₂ supercrítico de trabajo.

15. Método para generar energía eléctrica mediante un ciclo principal cerrado de CO₂ supercrítico que incluye una turbina (10) cuyo fluido de trabajo es CO₂ supercrítico y una cámara de combustión (16) para quemar combustible, que comprende:

- 5
- calentar al menos un fluido caloportador con energía procedente del sol;
 - transportar el fluido caloportador caliente hasta el ciclo principal cerrado;
 - calentar el CO₂ supercrítico mediante el fluido caloportador caliente antes de entrar en la cámara de combustión (16);
- 10 caracterizado por que el método incluye además:
- introducir el CO₂ supercrítico calentado por el fluido caloportador en la cámara de combustión (16) para incrementar la temperatura del CO₂ supercrítico hasta una temperatura de operación de la turbina (10) utilizando calor procedente de la combustión del combustible, sin que se mezclen los gases de escape de combustión con el CO₂ supercrítico de trabajo;
 - generar energía eléctrica haciendo pasar el CO₂ supercrítico calentado en la cámara de combustión (16) por la turbina (10).

16. Método según la reivindicación 15, en el que antes de calentar el CO₂ supercrítico con al menos un fluido caloportador, se aplica un incremento de temperatura al CO₂ supercrítico en un recuperador (14) que recupera el calor sobrante del CO₂ no supercrítico que sale de la turbina (10).

17. Método según cualquiera de las reivindicaciones 15-16, en el que los gases de combustión generados en la cámara de combustión (16) se mandan a una caldera de recuperación (30) para incrementar la temperatura de un fluido de trabajo de un ciclo secundario.

18. Método según la reivindicación 17, en el que el fluido de trabajo del ciclo secundario es vapor.

19. Método según cualquiera de las reivindicaciones 17-18, en el que el ciclo secundario comprende:

- alimentar agua bombeándola desde un desgasificador (31) hasta la caldera de recuperación (30) de la que sale vapor saturado;
 - sobrecalentar este vapor saturado con al menos un fluido caloportador;
 - turbinar este vapor sobrecalentado en una turbina (34) de alta presión ;
 - recalentar el vapor de salida de la turbina (34) de alta presión mediante al menos un fluido caloportador;
- y
- turbinar este vapor recalentado en una turbina (37) de baja presión

20. Método según cualquiera de las reivindicaciones 15-19, en el que la planta comprende dos fluidos caloportadores utilizándose un primer fluido caloportador para calentar un segundo fluido caloportador, teniendo el primer fluido caloportador una temperatura máxima de trabajo superior a la del segundo fluido caloportador.

21. Método según reivindicación 20, en el que el segundo fluido caloportador calienta el CO₂ supercrítico del ciclo principal en un intercambiador (15a) antes de que el CO₂ supercrítico sea calentado por el primer fluido caloportador en un intercambiador (15b)

22. Método según cualquiera de las reivindicaciones 20-21, en el que el segundo fluido caloportador calienta el fluido de trabajo del ciclo secundario.

23. Método según cualquiera de las reivindicaciones 20-23 en el que el segundo fluido caloportador se almacena en un tanque frío (21_II) antes de ser calentado por el primer fluido caloportador en un intercambiador (18)

24. Método según cualquiera de las reivindicaciones 15-23, en el que el CO₂ supercrítico calentado entra en la turbina (10) a una temperatura superior a 1127 °C.

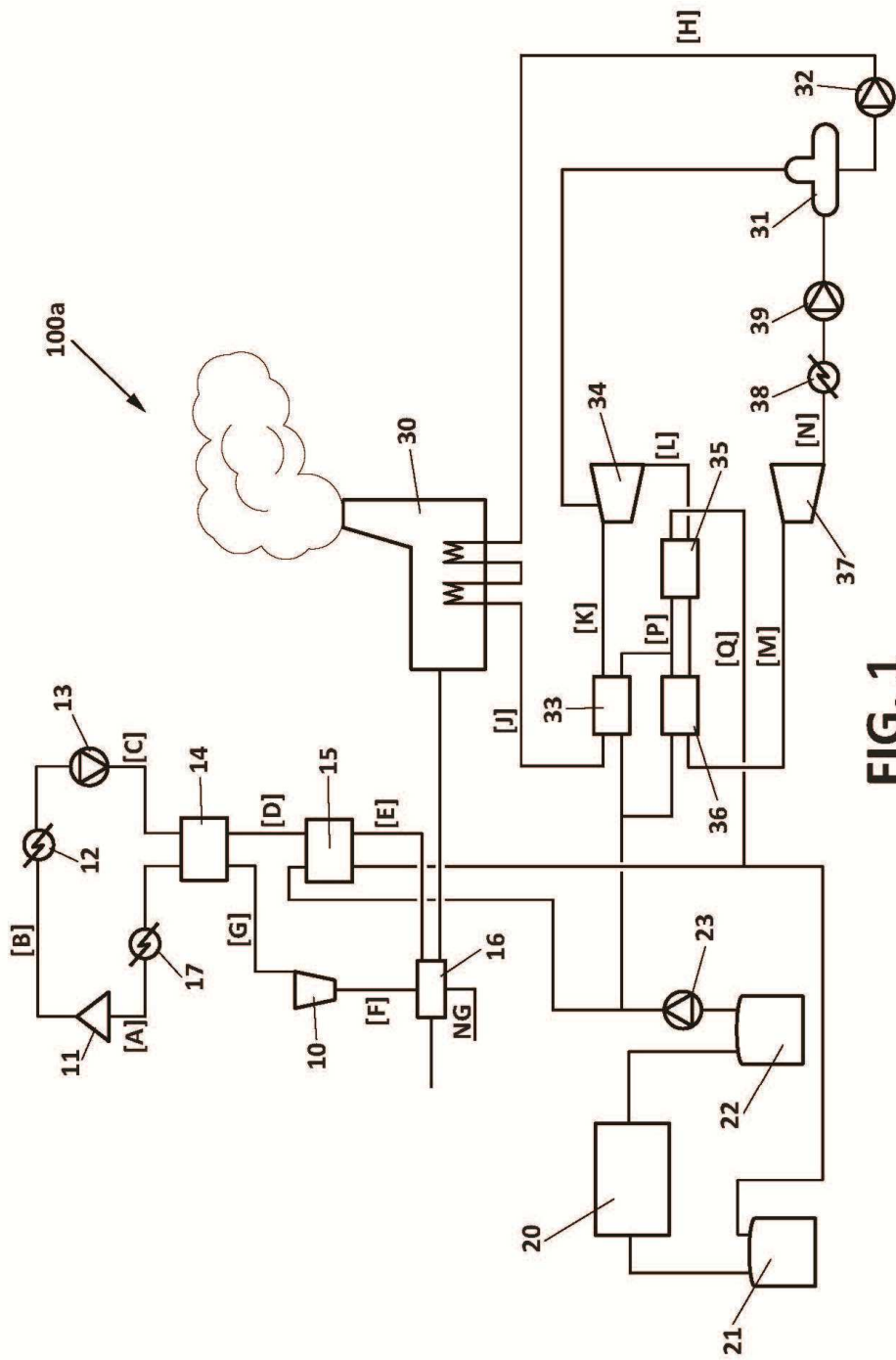


FIG. 1

