

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 608 490**

51 Int. Cl.:

F03G 6/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.09.2008 PCT/IL2008/001220**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2009 WO09034577**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.09.2008 E 08808023 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2016 EP 2195532**

54 Título: **Centrales termoeléctricas solares**

30 Prioridad:

11.09.2007 US 960016 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

11.04.2017

73 Titular/es:

**SIEMENS CONCENTRATED SOLAR POWER LTD.
(100.0%)**

**14 Hamelacha Street Afeq Industrial Park
4809134 Rosh Ha'ayin, IL**

72 Inventor/es:

SCHAAL, MICHAEL

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 608 490 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

CENTRALES TERMOELÉCTRICAS SOLARES**DESCRIPCIÓN****5 Campo de la invención**

Esta invención se refiere a centrales termoeléctricas solares, y en particular, a centrales termoeléctricas solares que proporcionan energía térmica a centrales de generación termoeléctrica.

10 Antecedentes de la invención

Entre las preocupaciones sobre el calentamiento global, y las previsiones tanto del agotamiento de las fuentes de energía no renovables como de una demanda de energía creciente, los proveedores de energía están buscando cada vez más fuentes de energía primaria alternativas. Una fuente de energía de este tipo es la energía solar, y un modo de utilizar la energía solar es con una central termoeléctrica solar.

Un tipo de central electrosolar utiliza un "captador concentrador de radiación" que concentra la radiación solar enfocándola sobre un área más pequeña, por ejemplo, usando lentes o superficies de espejo. En este sistema, un reflector, que es normalmente parabólico, recibe y refleja (enfoca) radiación solar incidente sobre un absorbedor de radiación, que está formado como un tubo. El absorbedor tubular de radiación está rodeado de manera concéntrica por un tubo de carcasa de vidrio tratado para limitar la pérdida de calor. El sistema de captador incluye además medios para realizar un seguimiento del sol. Se conoce una central termoeléctrica solar de este tipo a partir del documento EP-A-0 526 816.

Para minimizar la pérdida de calor a través de convección y conducción y para mejorar el rendimiento de captación de radiación solar, se hace vacío en el espacio entre el absorbedor tubular de radiación y el tubo de carcasa de vidrio hasta una presión muy baja.

El absorbedor tubular de radiación está compuesto por metal con un recubrimiento que tiene un alto coeficiente de absorción de radiación solar para maximizar la transferencia de energía conferida por la radiación solar reflejada desde el reflector. Un fluido térmico que constituye un medio de transporte de calor, que es normalmente un líquido tal como aceite, fluye dentro del absorbedor tubular de radiación.

La energía térmica transportada por el fluido térmico se usa entonces para alimentar una central termoeléctrica para accionar una o más turbinas, para generar electricidad de un modo convencional, por ejemplo, acoplando el eje de cada una de las turbinas a un generador.

El fluido térmico alimenta la central termoeléctrica transfiriendo energía térmica a la misma. Por tanto, la central termoeléctrica solar conocida a partir del documento EP-A-0 526 816 comprende una central termoeléctrica. La central termoeléctrica comprende una turbina de vapor de presión intermedia, una turbina de vapor de baja presión y una turbina de vapor adicional que tiene una presión de entrada mayor que la de la turbina de vapor de presión intermedia. La central termoeléctrica comprende tuberías que contienen un fluido de trabajo. Cada turbina está asociada con un sistema de intercambio de calor adaptado para transferir calor desde dicho fluido térmico hasta dicho fluido de trabajo.

Aunque el ciclo termoeléctrico es más eficiente a altas temperaturas, en un umbral de alta temperatura particular, algunos fluidos térmicos pueden disociarse o descomponerse de otro modo o volverse menos eficaces en la transferencia de calor. Por consiguiente, tales plantas de generación energía solar térmica están limitadas normalmente a funcionar a temperaturas por debajo de este umbral, que para algunos fluidos térmicos puede estar en la región de aproximadamente 400°C.

Sumario de la invención

Según un aspecto de la presente invención, se proporciona una central termoeléctrica solar que comprende un sistema de captación de energía solar y una central termoeléctrica, en la que el sistema de captación de energía solar comprende uno o más absorbedores tubulares de radiación que contienen un fluido térmico dentro de los mismos, estando configurado el sistema para calentar dicho fluido térmico haciendo pasar el fluido térmico a través de dicho uno o más absorbedores tubulares de radiación mientras se irradian dichos absorbedores con radiación solar, o bien directa, o bien reflejada, o ambas; la central termoeléctrica comprende una turbina de vapor de presión intermedia, una turbina de vapor de baja presión, y al menos una turbina de vapor adicional que tiene una presión de entrada que es mayor que la de la turbina de vapor de presión intermedia, y tuberías que contienen un fluido de trabajo; estando asociada cada turbina con y conectada aguas arriba de la misma con un sistema de intercambio de calor adaptado para transferir calor desde dicho fluido térmico hasta dicho fluido de trabajo. La central termoeléctrica solar se caracteriza porque el sistema de intercambio de calor asociado con dicha turbina de vapor adicional comprende tres intercambiadores de calor, siendo un primero un precalentador, siendo un segundo un evaporador, y siendo un tercero un sobrecalentador.

Según algunas realizaciones, el fluido térmico puede ser aceite térmico o vapor/agua.

Según otras realizaciones, el fluido de trabajo pueden ser sales fundidas, dióxido de carbono o helio.

El sistema de captación de energía solar puede comprender además captadores cilindro-parabólicos, que pueden ser, por ejemplo, reflectores parabólicos de seguimiento solar de un solo eje o captadores lineales de Fresnel.

El fluido de trabajo de la central termoeléctrica puede ser vapor/agua.

La central termoeléctrica solar puede tener una temperatura de funcionamiento por debajo de aproximadamente 400°C.

El sistema de intercambio de calor asociado con la turbina de vapor adicional puede comprender tres intercambiadores de calor, siendo un primero un precalentador, siendo un segundo un evaporador, y siendo un tercero un sobrecalentador.

La central termoeléctrica solar puede comprender una turbina adicional, en la que las presiones de entrada de la turbina adicional, la turbina de presión intermedia y la turbina de baja presión son de aproximadamente 150 bar, 100 bar y 20 bar, respectivamente.

La central térmica puede tener un rendimiento bruto del ciclo de Rankine que es sustancialmente de o supera el 42%.

La central termoeléctrica solar puede comprender además un controlador adaptado para controlar la distribución del fluido térmico a cada uno de los sistemas de intercambio de calor de tal manera que se optimiza el rendimiento de la central.

Los absorbedores tubulares de radiación pueden estar dispuestos dentro de tubos de vacío transparentes, al menos dentro del sistema de captación de energía solar.

El sistema de intercambio de calor asociado con la turbina de presión intermedia puede constituir un primer recalentador, y el sistema de intercambio de calor asociado con la turbina de baja presión puede constituir un segundo recalentador.

Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona una central termoeléctrica solar tal como se describe en relación con uno cualquiera de los aspectos anteriores y/o cualquiera de las realizaciones asociadas, en la que se calienta el fluido térmico hasta una temperatura que no supere aproximadamente los 400°C. Por consiguiente, la temperatura de funcionamiento de la central termoeléctrica no supera aproximadamente los 400°C.

Según todavía otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para generar energía usando la central termoeléctrica solar descrita, comprendiendo el método:

(a) extraer energía de un fluido de trabajo expandiendo el fluido de trabajo en serie en al menos tres etapas de turbina, en el que antes de cada una de las etapas de expansión, se calienta el fluido de trabajo hasta una temperatura predeterminada asociada con la etapa correspondiente; y

(b) convertir la energía extraída en energía eléctrica;

en el que se calienta el fluido de trabajo por medio de transferencia de calor desde un fluido térmico, y en el que se calienta previamente el fluido térmico haciendo pasar el fluido térmico a través de uno o más absorbedores tubulares de radiación mientras se irradian los absorbedores con radiación solar, o bien directa, o bien reflejada, o ambas.

Los absorbedores tubulares de radiación pueden constituir una parte de un sistema de captación de energía solar de una central termoeléctrica solar que comprende el sistema de captación de energía solar y una central termoeléctrica.

El sistema de captación de energía solar puede comprender además captadores cilindro-parabólicos, que pueden ser reflectores parabólicos de seguimiento solar de un solo eje o captadores lineales de Fresnel.

El fluido de trabajo de la central termoeléctrica puede ser agua/vapor.

El sistema de intercambio de calor asociado con la turbina de vapor adicional puede comprender tres intercambiadores de calor, siendo un primero un precalentador, siendo un segundo un evaporador, y siendo un tercero un sobrecalentador.

La central termoeléctrica solar puede comprender una turbina adicional, en la que las presiones de entrada de las turbinas son de 150 bar, 60 bar y 20 bar.

5 La central térmica puede tener un rendimiento bruto del ciclo de Rankine que se aproxima a o supera el 42%.

La central termoeléctrica solar puede comprender además un controlador adaptado para controlar la distribución del fluido térmico a cada uno de los sistemas de intercambio de calor de tal manera que se optimiza el rendimiento de la central.

10 El sistema de intercambio de calor asociado con la turbina de presión intermedia puede constituir un primer recalentador, y el sistema de intercambio de calor asociado con la turbina de baja presión puede constituir un segundo recalentador.

15 Los absorbedores tubulares de radiación pueden estar dispuestos dentro de tubos de vacío transparentes.

El fluido térmico puede tener una temperatura de funcionamiento máxima de aproximadamente 400°C.

La generación de energía según cualquiera de los aspectos anteriores se asocia con, entre otras, las siguientes características:

20 • usando aceite térmico para suministrar calor para los ciclos de recalentamiento, se le permite a la distribución de los mismos una flexibilidad que permite un aumento del control de la temperatura del fluido de trabajo de la central;

25 • puede transportarse aceite térmico a mayores distancias que otras fuentes de calor (por ejemplo, gases de combustión de una central de carbón);

30 • puede aumentarse la velocidad de flujo del fluido térmico, por ejemplo, para devolver fluido térmico que va a exponerse a radiación solar a una mayor temperatura (por ejemplo, cuando está disponible menos radiación solar);

35 • aunque la temperatura de funcionamiento de una central de este tipo es relativamente baja, la pérdida de rendimiento que se asociaría normalmente con una baja temperatura de funcionamiento se compensa por el hecho de que los costes de funcionamiento de proporcionar fluido térmico que se había calentado mediante radiación solar son razonables con relación al rendimiento obtenido; por tanto, puede constatarse el coste-beneficio de proporcionar una turbina adicional y un segundo ciclo de recalentamiento, incluso a las temperaturas de funcionamiento relativamente bajas asociadas con una central electrosolar que comprende absorbedores tubulares de radiación; y

40 • aumenta significativamente el rendimiento, y se reduce el coste por kilovatio-hora de electricidad generada.

Breve descripción de los dibujos

45 Para entender la invención y ver cómo puede llevarse a la práctica, a continuación se describirán realizaciones, a modo de ejemplos no limitativos únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una representación esquemática de una central termoeléctrica solar según una realización de la invención;

50 la figura 2 es una representación esquemática de un ejemplo de una central termoeléctrica, que forma parte de la central termoeléctrica solar ilustrada en la figura 1;

55 la figura 3A es una representación esquemática de la central termoeléctrica ilustrada en la figura 2, que muestra, junto con la tabla en la figura 3B, información sobre el estado del fluido de trabajo de la misma en diferentes puntos en el ciclo de funcionamiento;

la figura 3B es una tabla que enumera valores de velocidad de flujo másico, entalpía, temperatura, presión y calidad del vapor en diferentes ubicaciones de la central termoeléctrica indicada en la figura 3A;

60 la figura 4 es un diagrama de balance térmico de la central termoeléctrica ilustrada en la figura 2;

la figura 5 es una representación esquemática de una central termoeléctrica solar según otra realización de la invención;

65 la figura 6A es una representación esquemática de otro ejemplo de una central termoeléctrica, como parte de la central termoeléctrica solar ilustrada en la figura 1; y

la figura 6B es una tabla que enumera valores de presión, temperatura y velocidad de flujo en diferentes ubicaciones de la central termoeléctrica indicada en la figura 6A.

5 Descripción detallada de realizaciones

Tal como se ilustra esquemáticamente en la figura 1, se proporciona una central termoeléctrica solar, que se indica generalmente como 10, según una primera realización de la presente invención. La central 10 comprende un sistema 12 de captación de energía solar y una central 14 termoeléctrica. La central comprende además un circuito 13 de calentamiento, que comprende uno o más absorbedores 15 tubulares de radiación (que también constituyen una parte del sistema 12 de captación de energía solar).

El sistema 12 de captación de energía solar comprende uno o más absorbedores 15 tubulares de radiación y una pluralidad de captadores 17 cilindro-parabólicos, tales como reflectores parabólicos de un solo eje. Alternativamente, puede proporcionarse cualquier medio adecuado para concentrar radiación solar, tal como captadores de Fresnel. Los tubos, incluyendo los que no se exponen a radiación solar, constituyen un circuito de calentamiento de la central 10. Los absorbedores tubulares de radiación contienen un fluido térmico en los mismos, tal como aceite (fenilos) que están disponibles comercialmente, tal como con el nombre comercial Therminol® VP-1. Según diferentes realizaciones, el fluido térmico también puede ser uno de vapor/agua, sales fundidas, dióxido de carbono y helio. El fluido térmico, según cualquiera de las realizaciones, se calienta dentro de los tubos con su exposición a radiación solar directa y concentrada. Por tanto, se calienta el fluido térmico a medida que fluye a través de los absorbedores 15 tubulares de radiación. Pueden proporcionarse reflectores, tales como reflectores parabólicos, para calentar adicionalmente el fluido térmico, tal como se conoce bien en la técnica. El fluido térmico puede calentarse hasta una temperatura superior umbral $T_{m\acute{a}x}$, que puede elegirse para que sea la mayor temperatura de trabajo segura para el fluido térmico, es decir, a la que el fluido térmico sigue siendo sustancialmente estable y no se desintegra ni ve afectadas adversamente sus propiedades térmicas por la alta temperatura. En algunas realizaciones, la temperatura superior umbral $T_{m\acute{a}x}$ puede ser de aproximadamente 400°C (por ejemplo, para Therminol® VP-1). Se proporcionan sistemas de captación de energía solar de este tipo, entre otros, por Solel Solar Systems, Ltd. (Israel).

El fluido térmico se hace circular, por medio de bombas adecuadas (no mostradas) dentro del circuito 13 de calentamiento, para proporcionar una fuente de calor a la central 14 termoeléctrica.

Tal como se ilustra en la figura 2, la central 14 termoeléctrica comprende tres turbinas 16, 18, 20 de vapor, que pueden formar parte de un ciclo de Rankine. Una primera turbina 16 que está adaptada para funcionar a una alta presión, una segunda turbina 18 que está adaptada para funcionar a una presión intermedia, y una tercera turbina 20 que está adaptada para funcionar a una baja presión. Según un ejemplo, la primera turbina 16 funciona a una presión de entrada de aproximadamente 150 bar, la segunda turbina 18 funciona a una presión de entrada de aproximadamente 60 bar, y la tercera turbina 20 funciona a una presión de entrada de aproximadamente 20 bar. En cualquier caso, las presiones de trabajo de las turbinas pueden seleccionarse para proporcionar un rendimiento óptimo y una materialización mecánica realista.

Las cajas de las tres turbinas están acopladas axialmente entre sí, y se usan para accionar un único generador 27 eléctrico, tal como se conoce en la técnica. Alternativamente, las tres turbinas pueden estar configuradas de tal manera que cada turbina acciona un generador independiente (no ilustrado). Cada turbina 16, 18, 20 está asociada con uno de los sistemas 22, 24, 26 de intercambio de calor primero, segundo y tercero, respectivamente, y recibe fluido de trabajo (por ejemplo, vapor) de los mismos. Los sistemas 22, 24, 26 de intercambio de calor primero, segundo y tercero están cada uno en comunicación térmica directa con una parte del circuito de calentamiento, tal como se describirá en más detalle a continuación, y cada uno calienta el fluido de trabajo antes de recibirse por su turbina asociada. Cada sistema de intercambio de calor está ubicado aguas arriba de su turbina 16, 18, 20 asociada, y calienta el fluido de trabajo antes de recibirse por su turbina asociada.

Además, la central 14 termoeléctrica comprende otros elementos que se encuentran normalmente en centrales termoeléctricas, tales como por ejemplo una pluralidad de calentadores 28 de agua de alimentación, tuberías/conductos apropiados para portar fluido de trabajo, tal como vapor/agua, en las condiciones requeridas de temperatura y presión, y a las velocidades de flujo requeridas, sensores adecuados (no mostrados) para monitorizar la temperatura, presión y velocidad de flujo másico en diversas ubicaciones en la central 14 termoeléctrica, un sistema de control de la central adecuado (no mostrado), etc.

Cada uno de los sistemas 22, 24, 26 de intercambio de calor está en comunicación térmica directa con los absorbedores 15 tubulares de radiación, o en comunicación térmica indirecta con los absorbedores 15 tubulares de radiación, mediante un segundo fluido térmico que está en comunicación térmica con los absorbedores 15 tubulares de radiación, y los sistemas de intercambio de calor.

El primer sistema 22 de intercambio de calor constituye un tren de generación de vapor, y comprende tres intercambiadores de calor, de modo que el fluido de trabajo puede alcanzar la temperatura y presión elevadas requeridas para accionar de manera óptima la primera turbina 16: un precalentador 30, un evaporador 32 y un

sobrecalentador 34. Cada uno de los demás sistemas 24, 26 de intercambio de calor puede comprender un único intercambiador de calor, y funcionar como los recalentadores primero y segundo, respectivamente.

A continuación se proporcionará un ejemplo no limitativo que ilustra un posible uso de la central 10 termoeléctrica solar descrita anteriormente. Se presentan valores de los estados del fluido de trabajo y el fluido térmico en diversas ubicaciones dentro de la central en la figura 3A con referencia a la tabla en la figura 3B, como parte del ejemplo no limitativo. Puede calcularse el rendimiento del sistema de un modo conocido usando estos valores. Para alcanzar estos valores, se supuso que las turbinas de vapor actúan de manera razonablemente próxima a un modo isoentrópico. Además, se supuso que las presiones de condensador, las pérdidas electromecánicas en el generador, la pérdida de presión en las tuberías, las diferencias de temperatura en los intercambiadores de calor y los rendimientos de las bombas concordaban con los obtenidos generalmente en la práctica.

Durante el funcionamiento de la central 10, puede calentarse el fluido térmico dentro del sistema 12 de captación de energía solar hasta su temperatura superior umbral $T_{m\acute{a}x}$, tal como por ejemplo aproximadamente 400°C o 395°C. El fluido térmico entra en un colector 36 de distribución de entrada, que forma parte del circuito 13, desde donde se divide y fluye en tres líneas 38, 40, 42 de distribución. Cada una de las líneas de distribución está preferiblemente aislada térmicamente para impedir la pérdida de calor, y porta fluido térmico a una temperatura de o próxima a la temperatura superior umbral $T_{m\acute{a}x}$ hasta uno u otro de los tres sistemas 22, 24, 26 de intercambio de calor. Por tanto, el fluido térmico sirve como fluido de calentamiento dentro de los intercambiadores de calor de los sistemas de intercambio de calor. El circuito 13 también comprende tres líneas de captación correspondientes a las líneas 38, 40, 42 de distribución, y un colector 44 de captación, que porta el fluido térmico de vuelta al sistema 12 de captación de energía solar que va a recalentarse. El ciclo de calentamiento solar del fluido térmico, y la transferencia térmica de este calor al fluido de trabajo de la central termoeléctrica mediante los sistemas de intercambio de calor, puede continuar indefinidamente, según se desee, con ausencia de un mal funcionamiento, etc. Se apreciará que la distribución relativa del fluido térmico con respecto a cada una de las tres líneas 38, 40, 42 de distribución puede configurarse de manera que se optimiza el rendimiento global de la central 10.

Pueden proporcionarse uno o más controladores (no mostrados) para monitorizar las condiciones de entrada del fluido de trabajo en cada una de las turbinas, así como las condiciones del fluido térmico en ubicaciones estratégicas, y para ajustar la distribución de las tres líneas 38, 40, 42 de distribución de fluido térmico en tiempo real en respuesta a las condiciones de trabajo del sistema, por ejemplo, para maximizar el rendimiento del mismo. Además, los controladores garantizan que las condiciones de temperatura/presión del fluido de trabajo son tales como para garantizar que el fluido de trabajo no se condense dentro de las turbinas.

El fluido térmico atraviesa el primer sistema 22 de intercambio de calor de la siguiente manera:

- (a) El fluido térmico que se porta directamente desde el sistema 12 de captación de energía solar mediante la primera línea 38 de distribución entra en el intercambiador de calor del sobrecalentador 34 y sirve como fluido caliente del mismo.
- (b) El fluido térmico, tras salir del sobrecalentador 34, entra luego en el intercambiador de calor del evaporador 32 a una menor temperatura y sirve como fluido caliente para el mismo.
- (c) El fluido térmico, tras salir del evaporador 32, entra luego en el intercambiador de calor del precalentador 30 a una temperatura incluso menor, y sirve como fluido caliente para el mismo.
- (d) El fluido térmico, tras salir del precalentador 30, se porta hasta el colector 44 de captación y luego vuelve al sistema 12 de captación de energía solar, donde se recalienta.

De manera simultánea a lo anterior, el fluido de trabajo de la central 14 termoeléctrica atraviesa el primer sistema de intercambio de calor en el orden inverso:

- (a) El fluido de trabajo entra en el intercambiador de calor del precalentador 30, sirviendo como fluido frío del mismo.
- (b) El fluido de trabajo abandona el intercambiador de calor del precalentador 30 a una temperatura elevada, y se porta hasta el intercambiador de calor del evaporador 32, donde se evapora. Como resultado de este calentamiento, la temperatura del fluido térmico disminuye, tal como se describe en la etapa (c) anterior.
- (c) El fluido de trabajo abandona el evaporador 32 como vapor saturado, y se porta hasta el intercambiador de calor del sobrecalentador 34, donde se calienta adicionalmente. Como resultado de este calentamiento, la temperatura del fluido térmico disminuye, tal como se describe en la etapa (b) anterior.
- (d) El fluido de trabajo, tras salir del sobrecalentador 34, se porta hasta la primera turbina 16 a temperatura y presión altas, por ejemplo, tal como se indica en las figuras 3A y 3B, y se usa para accionarla.

Posteriormente, el fluido de trabajo sale de la primera turbina 16, y entra en el segundo sistema 24 de intercambio de calor, que constituye un primer recalentador, como fluido frío. El fluido térmico procedente de la segunda línea 40 de distribución a o cerca de la temperatura superior umbral $T_{m\acute{a}x}$ sirve como fluido caliente en el intercambiador de calor del segundo sistema 24 de intercambio de calor. El fluido térmico que sale del segundo sistema 24 de intercambio de calor se porta hasta el colector 44 de captación, confluyendo con el fluido térmico que salió del primer sistema 22 de intercambio de calor tal como se describió anteriormente, desde donde se porta de vuelta al sistema 5 12 de captación de energía solar para su recalentamiento. El fluido de trabajo sale del segundo sistema 24 de intercambio de calor y entra en la segunda turbina 18 a una temperatura y presión elevadas, pero a una presión que es menor que la usada para accionar la primera turbina 16. Por ejemplo, puede usarse fluido de trabajo a una 10 temperatura de 377°C y 60 bar para accionar la segunda turbina 18.

Posteriormente, el fluido de trabajo sale de la segunda turbina 18, y entra en el tercer sistema 26 de intercambio de calor, que constituye un segundo recalentador, como fluido frío. El fluido térmico procedente de la tercera línea 42 de distribución a o cerca de la temperatura superior umbral $T_{m\acute{a}x}$ sirve como fluido caliente en el intercambiador de calor del tercer sistema 26 de intercambio de calor. El fluido térmico que sale del tercer sistema 26 de intercambio de calor se porta de vuelta al sistema 12 de captación de energía solar, se porta hasta el colector 44 de captación, 15 confluyendo con el fluido térmico que salió de los sistemas 22, 24 de intercambio de calor primero y segundo tal como se describió anteriormente, desde donde se porta de vuelta al sistema 12 de captación de energía solar para su recalentamiento. El fluido de trabajo sale del tercer sistema 26 de intercambio de calor y entra en la turbina 20 de 20 baja presión a una temperatura elevada, pero a una presión que es menor que la usada para accionar las turbinas 16, 18 primera y segunda. Por ejemplo, puede usarse fluido de trabajo a una temperatura de 379°C y 17,35 bar para accionar la turbina 20 de baja presión. Tras salir de la turbina 20 de baja presión, el fluido de trabajo se condensa mediante un condensador 29 antes de volver a entrar en el sistema 22 de intercambio de calor.

Además de lo anterior, puede descargarse una cantidad de fluido de trabajo (por ejemplo, vapor/agua) de algunas o 25 todas las turbinas 16, 18, 20, y suministrarse a los calentadores 28 de agua de alimentación. Este vapor/agua puede usarse para precalentar el condensado procedente del condensador 29.

Tal como puede observarse, la central eléctrica tal como se describió anteriormente, en la que las condiciones de la 30 misma son según los valores de ejemplo proporcionados en la figura 3A con referencia a la tabla en la figura 3B, así como en la figura 4, puede diseñarse para tener un rendimiento teórico del ciclo de Rankine de hasta o más del 42%, tal como del 42,3% en el presente ejemplo, mientras tiene una temperatura de funcionamiento relativamente baja por debajo de aproximadamente 400°C, que es una temperatura de funcionamiento típica para una central 35 termoeléctrica que usa absorbedores tubulares de radiación solar como fuente de calor. Ha de observarse que una central electrosolar de referencia que está diseñada según esta realización, pero modificada para funcionar de manera óptima con sólo un recalentamiento (es decir, dos turbinas), produce un menor rendimiento del ciclo de Rankine, por ejemplo, de aproximadamente el 38,4%.

Una segunda realización de la presente invención se ilustra en la figura 5 y comprende todos los elementos y 40 características de la primera realización descrita anteriormente, cambiando lo que se deba cambiar, con la principal diferencia de que en la segunda realización existen sistemas 12a, 12b, 12c de captación de energía solar independientes en vez del único sistema de captación de energía solar de la primera realización. Según esta 45 realización, cada uno de los sistemas 22, 24, 26 de intercambio de calor puede recibir fluido térmico de un sistema 12a, 12b, 12c de captación de energía solar independiente, respectivamente. Los absorbedores tubulares de radiación de los sistemas 12a, 12b, 12c de captación de energía solar están por tanto en aislamiento de fluido entre sí. Sin embargo, pueden estar ubicados físicamente unos cerca de otros.

Según la segunda realización, también es posible proporcionar calor a cada uno de los intercambiadores 22, 24, 26 50 de calor, a la misma alta temperatura $T_{m\acute{a}x}$, y por tanto puede requerirse menos flujo másico de líquido térmico calentado para proporcionar la transferencia de calor requerida para cada intercambiador de calor. Por consiguiente, la infraestructura requerida para proporcionar el calor a los intercambiadores de calor puede ser más sencilla y requerir menos potencia de bombeo que en la primera realización.

La segunda realización también puede comprender otras características y/o ventajas. Por ejemplo, si es necesario 55 apagar uno de los sistemas 12a, 12b, 12c de captación de energía solar, por ejemplo debido a mal funcionamiento o mantenimiento, puede ser posible apagar la turbina asociada, y proporcionar un canal de flujo de derivación para canalizar el fluido de trabajo entre las dos turbinas restantes, y permitir por tanto el funcionamiento de la central 10 usando estas dos turbinas, aunque con menor rendimiento. Puesto que no hay costes de funcionamiento relacionados con combustible para los sistemas de captación de energía solar, todavía puede merecer la pena hacer 60 funcionar temporalmente la central al menor rendimiento.

Opcionalmente, dos cualesquiera o todos los sistemas 12a, 12b, 12c de captación de energía solar pueden estar 65 interconectados por medio de válvulas y conductos adecuados para permitir que los mismos estén en comunicación de fluido selectiva cuando se desee, en cualquier combinación deseada, y permitir por tanto que se intercambie fluido térmico entre ellos de modo que puedan funcionar eficazmente de manera similar al sistema de captación de energía solar de la primera realización, cambiando lo que se deba cambiar, por ejemplo. Alternativamente, una

configuración de este tipo puede permitir que el fluido térmico procedente de dos de los sistemas 12a, 12b, 12c de captación de energía solar también proporcione calor a la otra turbina cuando se desconecta su sistema de captación de energía solar asociado.

5 A continuación se proporcionará otro ejemplo de una central 10 termoeléctrica solar descrita anteriormente, que se ilustra en la figura 6A, presentándose los valores de los estados del fluido de trabajo y el fluido térmico en diversas ubicaciones dentro de la propia central en la tabla en la figura 6B. Puede calcularse el rendimiento del sistema de un modo conocido usando estos valores. Para alcanzar estos valores, se supuso que las turbinas de vapor actúan de manera razonablemente próxima a un modo isoentrópico. Además, se supuso que las presiones de condensador,
10 las pérdidas electromecánicas en el generador, la pérdida de presión en las tuberías, las diferencias de temperatura en los intercambiadores de calor y los rendimientos de las bombas concordaban con los obtenidos generalmente en la práctica.

15 Se observará que en el ejemplo ilustrado en las figuras 6A y 6B, varias tuberías tienen dos conjuntos diferentes de valores enumerados. Esto es para tener en cuenta las pérdidas de presión y temperatura dentro de la tubería. Se apreciará que los valores indicados más próximos a la parte aguas arriba de la tubería son los valores iniciales dentro de la tubería, y los valores indicados más próximos a la parte aguas abajo de la tubería son los valores finales dentro de la tubería.

20 En el ejemplo específico presente en las figuras 6A y 6B, puede obtenerse un rendimiento bruto de sustancialmente el 42,51%, con un rendimiento neto de sustancialmente el 36,56%. Para referencia, un sistema similar que usa sólo un recalentamiento puede obtener un rendimiento bruto de sustancialmente el 39,79% y un rendimiento neto de sustancialmente el 35,08%. Por tanto, en el ejemplo presentado en las figuras 6A y 6B, pueden obtenerse aumentos de los rendimientos brutos y netos de aproximadamente el 6,8% y el 4,2%, respectivamente.

25 Los expertos en la técnica a la que pertenece esta invención apreciarán fácilmente que pueden realizarse numerosos cambios, variaciones y modificaciones sin apartarse del alcance de la invención, cambiando lo que se deba cambiar. Por ejemplo, puede eliminarse el calentador 28 de agua de alimentación conectado con la primera turbina 16. El rendimiento de la central seguirá siendo alto todavía, y se simplificará la construcción de la caja de la
30 primera turbina 16.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Central (10) termoeléctrica solar que comprende un sistema (12) de captación de energía solar y una central (14) termoeléctrica, en la que:
- (a) dicho sistema de captación de energía solar comprende uno o más absorbedores (15) tubulares de radiación que contienen un fluido térmico dentro de los mismos, estando configurado dicho sistema para calentar dicho fluido térmico haciendo pasar el fluido térmico a través de dicho uno o más absorbedores tubulares de radiación mientras se irradian dichos absorbedores con radiación solar; y en la que
- 10 (b) dicha central termoeléctrica comprende una turbina (18) de vapor de presión intermedia, una turbina (20) de vapor de baja presión, al menos una turbina (16) de vapor adicional que tiene una presión de entrada mayor que la de la turbina de vapor de presión intermedia, y tuberías que contienen un fluido de trabajo; estando asociada cada turbina con un sistema de intercambio de calor adaptado para transferir calor desde dicho fluido térmico hasta dicho fluido de trabajo,
- 15 caracterizada porque el sistema de intercambio de calor asociado con dicha turbina de vapor adicional comprende tres intercambiadores (22, 24, 26) de calor, siendo un primero un precalentador (30), siendo un segundo un evaporador (32), y siendo un tercero un sobrecalentador (34).
- 20 2. Central termoeléctrica solar según la reivindicación 1, en la que dicho fluido térmico se selecciona del grupo que comprende aceites térmicos y vapor/agua.
- 25 3. Central termoeléctrica solar según la reivindicación 1, en la que dicho fluido térmico se selecciona del grupo que comprende sales fundidas, dióxido de carbono y helio.
4. Central termoeléctrica solar según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que dicho sistema de captación de energía solar comprende además captadores cilindro-parabólicos.
- 30 5. Central termoeléctrica solar según la reivindicación 4, en la que dichos captadores cilindro-parabólicos son reflectores parabólicos de seguimiento solar de un solo eje.
6. Central termoeléctrica solar según la reivindicación 4, en la que dichos captadores cilindro-parabólicos son captadores lineales de Fresnel.
- 35 7. Central termoeléctrica solar según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que dicho fluido térmico se proporciona a cada uno de dichos sistemas de intercambio de calor sustancialmente a la misma temperatura de funcionamiento de 25.
- 40 8. Central termoeléctrica solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho fluido de trabajo es agua/vapor.
9. Central de generación eléctrica solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, teniendo dicha central termoeléctrica solar una temperatura de funcionamiento por debajo de aproximadamente 400°C.
- 45 10. Central termoeléctrica solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una de dicha turbina adicional, en la que las presiones de entrada de dicha turbina adicional, dicha turbina de presión intermedia y dicha turbina de baja presión son de aproximadamente 150 bar, 60 bar y 20 bar, respectivamente.
- 50 11. Central termoeléctrica solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene un rendimiento bruto del ciclo de Rankine de al menos sustancialmente el 42%.
- 55 12. Central termoeléctrica solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un controlador adaptado para controlar la distribución del fluido térmico a cada uno de los sistemas de intercambio de calor de tal manera que se optimiza el rendimiento de la central.
- 60 13. Central termoeléctrica solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos absorbedores tubulares de radiación están dispuestos dentro de tubos de vacío transparentes, al menos dentro del sistema de captación de energía solar.
- 65 14. Central termoeléctrica solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el sistema de intercambio de calor asociado con la turbina de presión intermedia constituye un primer recalentador, y el sistema de intercambio de calor asociado con la turbina de baja presión constituye un segundo recalentador.

15. Método para generar energía usando una central termoeléctrica solar según una de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende:
- 5 (a) extraer energía de un fluido de trabajo expandiendo dicho fluido de trabajo en serie en al menos tres etapas de turbina, en el que antes de cada una de dichas etapas de expansión, se calienta el fluido de trabajo hasta una temperatura predeterminada asociada con la etapa correspondiente; y
- 10 (b) convertir dicha energía extraída en energía eléctrica; en el que se calienta dicho fluido de trabajo por medio de transferencia de calor desde un fluido térmico, y en el que dicho fluido térmico se calienta previamente haciendo pasar el fluido térmico a través de uno o más absorbedores tubulares de radiación mientras se irradian dichos absorbedores con radiación solar.

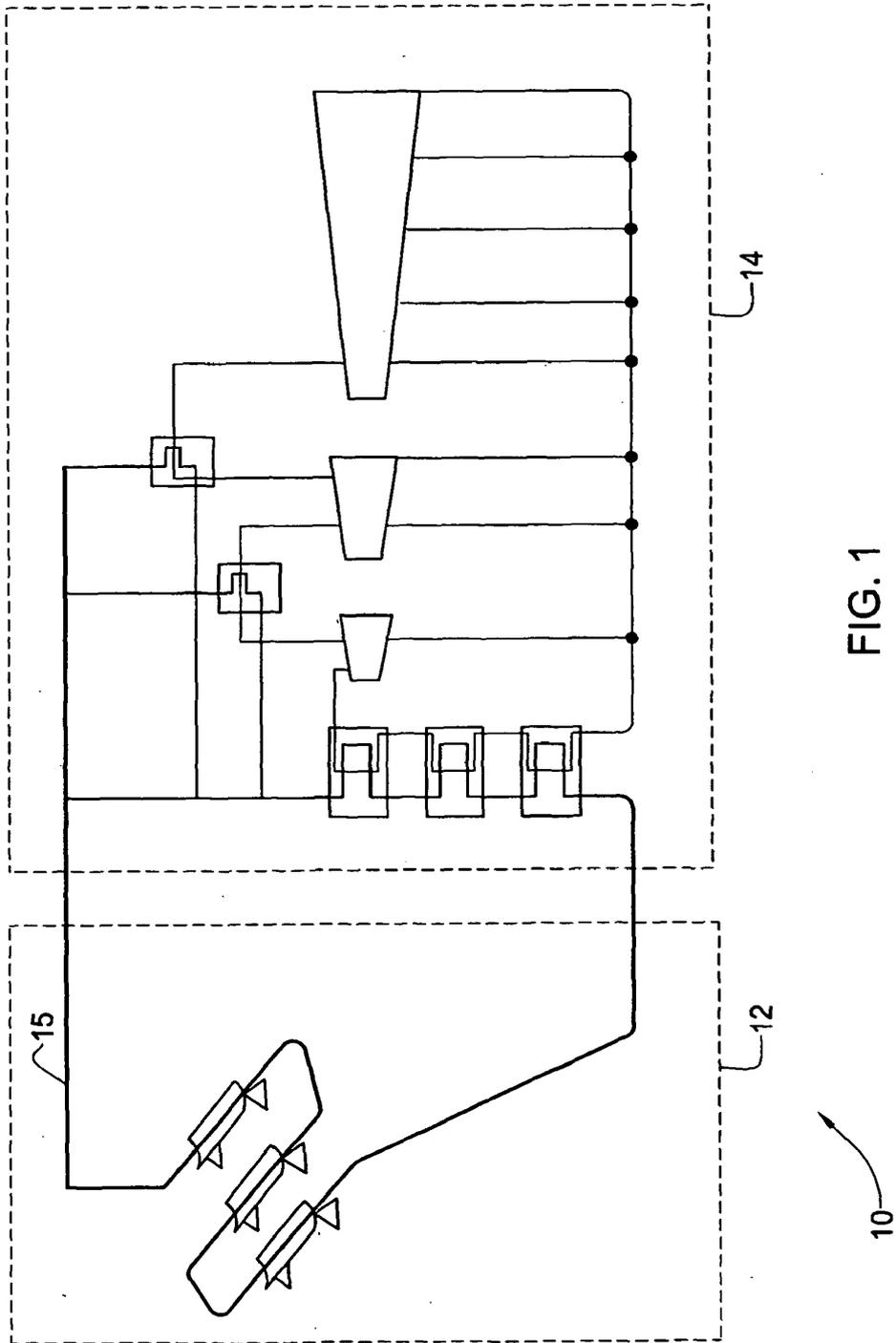
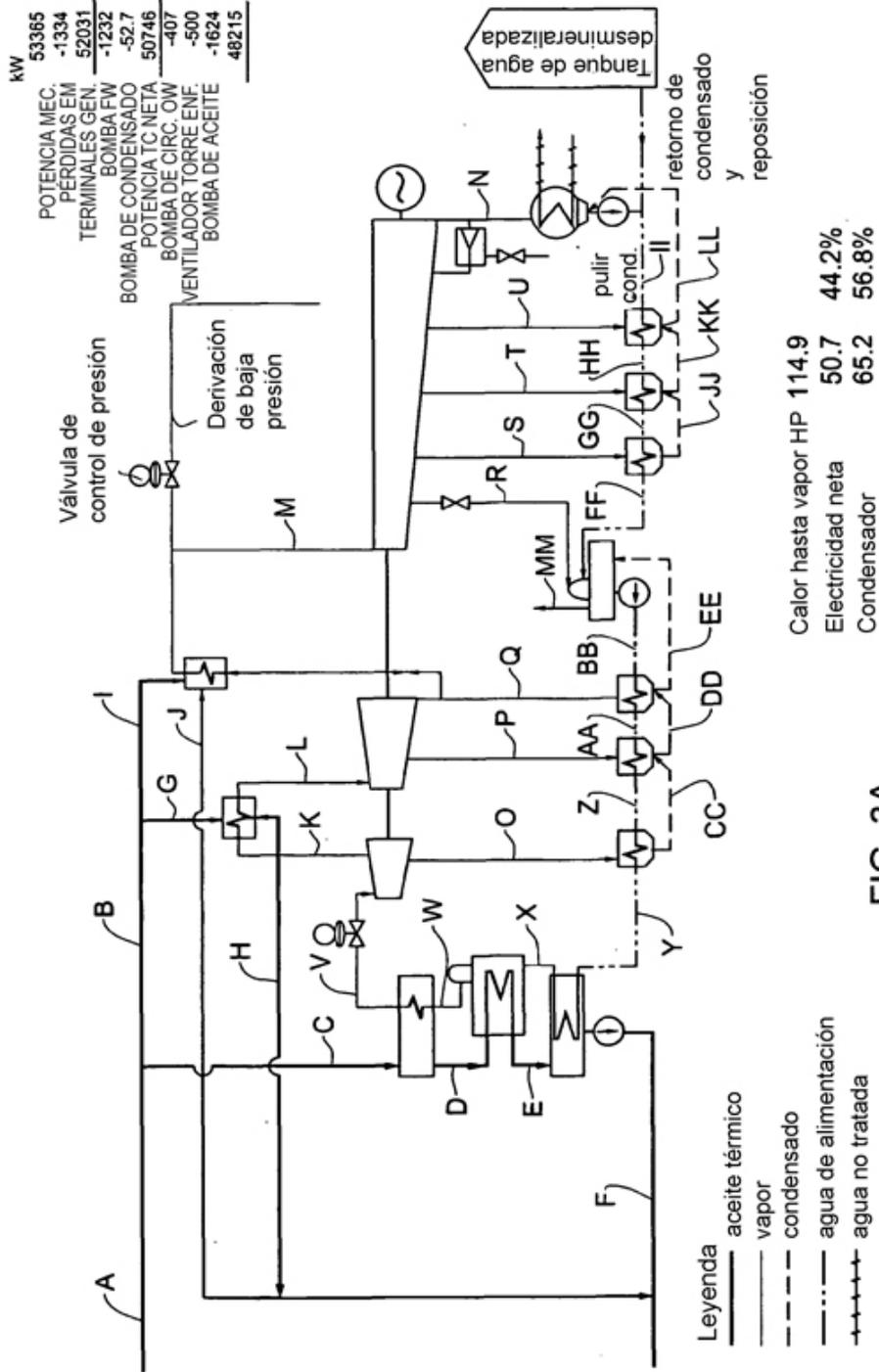


FIG. 1



Ubicación	Velocidad de flujo másico (ton/h)	Entalpía (kJ/kg)	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Calidad del vapor
A	3262.6		395.0		
B	160.9		395.0		
C	2954.3		395.0		
D	2954.3		389.5		
E	2954.3		356.8		
F	2954.3		352.0		
G	160.9		395.0		
H	160.9		300.0		
I	147.4		395.0		
J	147.4		235.0		
K	160.6	2750.0	280.0	62.0	1
L	160.6	3120.3	377.0	60	1
M	136.9	3207.3	379.0	17.35	1
N	106.2	2305.6	37.7	0.065	0.891
O	25.4	2836.5	330.0	100.0	1
P	15.2	2937.3	295.0	42.8	1
Q	8.5	2809.4	215.0	19.3	1
R	7.9	3096.1	320.8	10.2	1
S	9.6	2902.5	220.5	4.2	1
T	6.5	2683.9	105.1	1.21	1
U	6.7	2518.3	75.5	0.39	0.95
V	186.0	2872.2	377.0	150.0	
W	186.0	2671.1	353.0	172.5	1
X	186.0		351.0		
Y	186.0		308.9		
Z	186.0		252.6		
AA	186.0		206.1		
BB	186.0		178.0		
CC	25.4		262.2		
DD	40.6		216.1		
EE	49.1		188.0		
FF	130.3		144.9		
GG	130.3		102.0		
HH	130.3		72.0		
II	130.3		39.7		
JJ	9.6		112.0		
KK	16.1		82.0		
LL	22.8		49.7		
MM	1.3	2777			

FIG. 3B

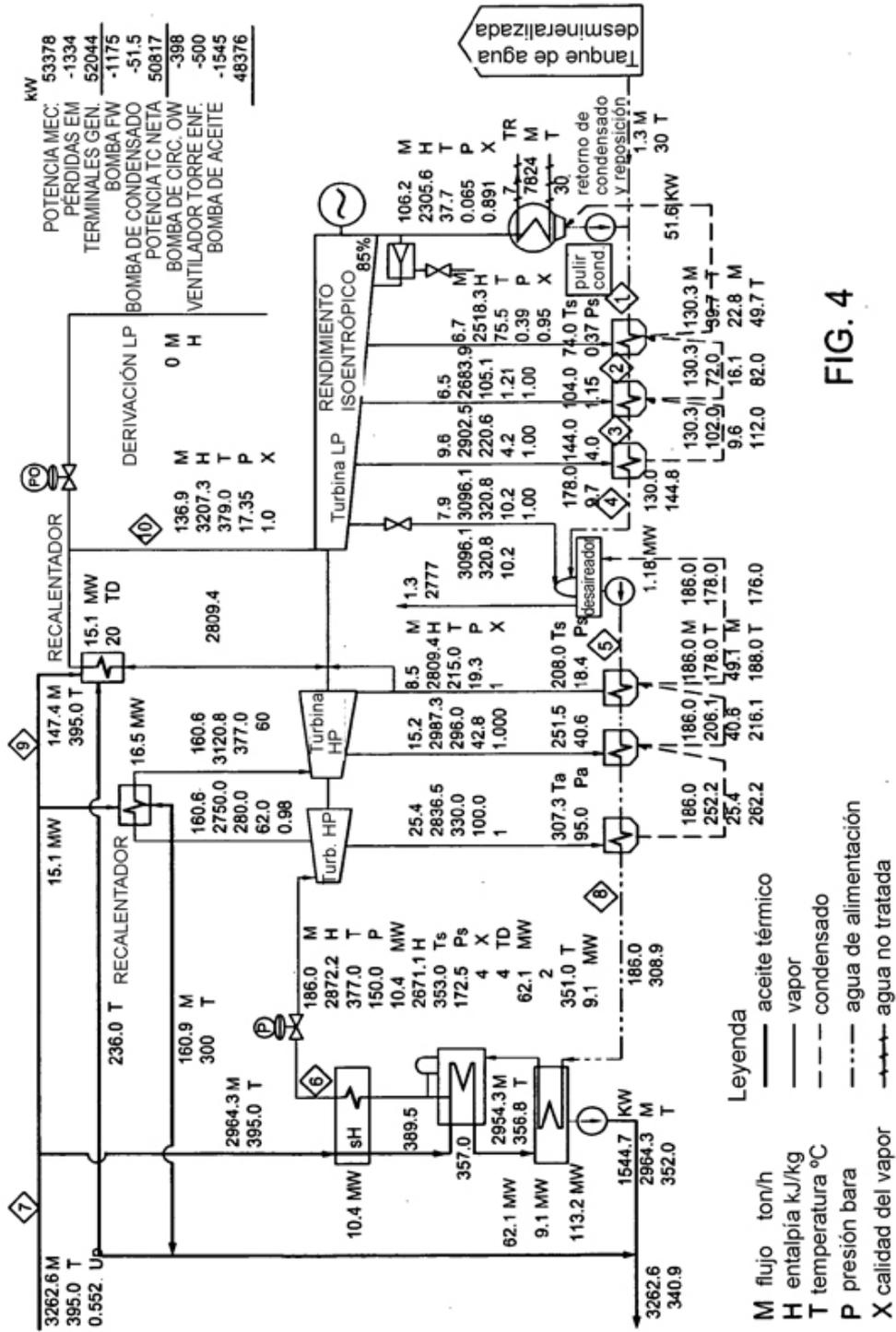


FIG. 4

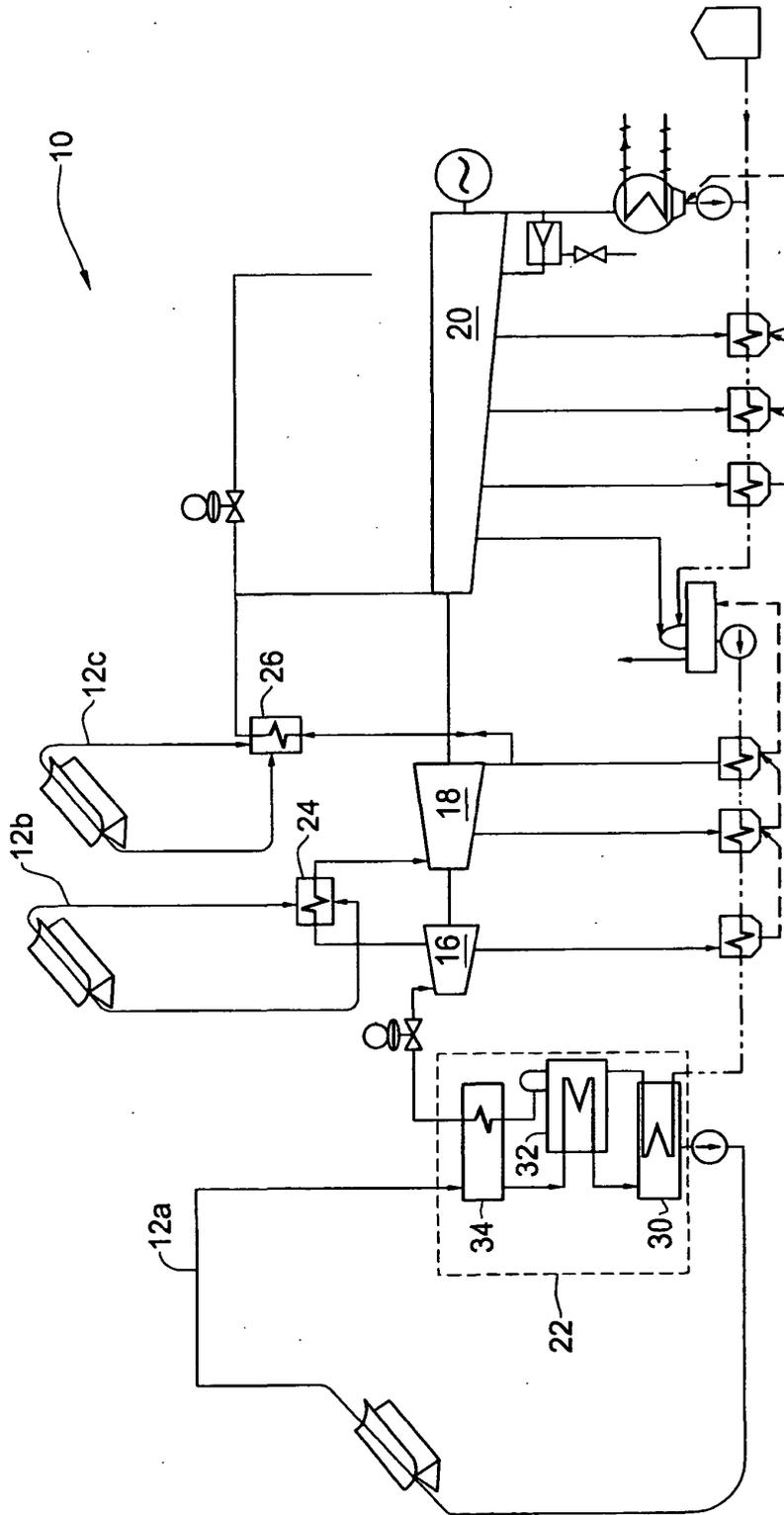


FIG. 5

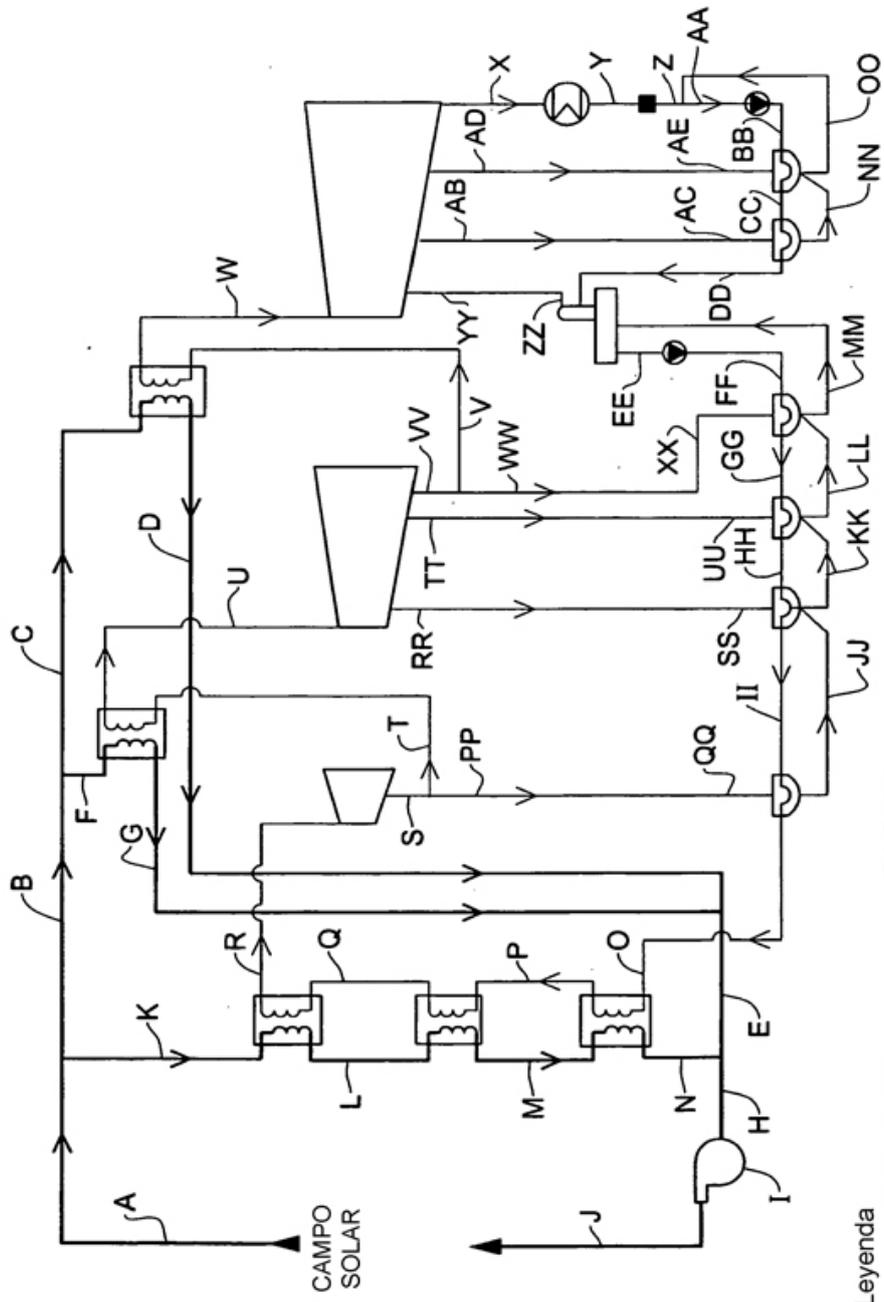


FIG.6A

Leyenda
 — aceite térmico
 - - - vapor

Ubicación	Presión (bar)	Temperatura (°C)	Velocidad de flujo (kg/s)
A	24.9	395	2260
B	12.2	395	379
C	12.2	395	134
D	12.0	233	134
E	12.0	268	379
F	12.2	395	244
G	12.0	287	244
H	12.0	320	2260
I	42.0	323	2260
J	36.5	323	2260
K	24.9	395	1882
L	12.5	381	1882
M	12.2	346	1882
N	12.0	330	1882
O	161	269	176
P	158	341	176
Q	153	344	176
R	150	382	176
S	61.8	277	176
T	61.8	277	167
U	60.0	379	167
V	15.8	223	142
W	15.0	379	142
X	0.069	38.7	112
Y	0.069	38.7	112
Z	0.069	38.7	112
AA	0.069	38.7	134
BB	9.02	39.9	134

Ubicación	Presión (bar)	Temperatura (°C)	Velocidad de flujo (kg/s)
CC	8.84	95.1	134
DD	8.57	141	134
EE	8.57	173	176
FF	169	178	176
GG	164	197	176
HH	164	208	176
II	164	253	176
JJ	59.3	275	9.05
KK	43.2	213	24.5
LL	19.5	202	28.0
MM	15.1	183	34.1
NN	4.00	101	10.3
OO	0.069	38.7	21.9
PP	61.8	277	9.05
QQ	59.3	275	9.05
RR	45.0	344	15.4
SS	43.2	342	15.4
TT	20.3	250	3.54
UU	19.5	248	3.54
VV	15.8	223	148
WW	15.8	223	6.07
XX	15.1	221	6.07
YY	9.34	321	7.37
ZZ	8.96	320	7.37
AB	4.15	230	10.3
AC	4.00	230	10.3
AD	1.10	107	11.6
AE	1.06	106	11.6

FIG. 6B