

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 699 375**

51 Int. Cl.:

F03G 6/06 (2006.01)

F02C 1/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2015** **E 15198438 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018** **EP 3032099**

54 Título: **Sistema de generación de energía termo-solar**

30 Prioridad:

11.12.2014 JP 2014251157

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

11.02.2019

73 Titular/es:

**MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.
(100.0%)
3-1, Minatomirai 3-chome, Nishi-ku,
Yokohama 220-8401, JP**

72 Inventor/es:

**MISHIMA, NOBUYOSHI y
NAGAFUCHI, NAOYUKI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 699 375 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).

DESCRIPCIÓN

Sistema de generación de energía termo-solar

Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema de generación de energía termo-solar.

2. Descripción de la técnica relacionada

10 Como ejemplo de una planta de generación de energía termo-solar capaz de acumular eficientemente el calor solar, existe una planta de generación de energía termo-solar que comprende un dispositivo de captación de calor solar que genera vapor sobrecalentado utilizando agua/vapor (vapor de agua) como principal medio de calor, un dispositivo de acumulación/radiación de calor solar que utiliza sal fundida o aceite como el medio de acumulación/radiación de calor solar, y un equipo de generación de energía de turbina de vapor que utiliza vapor (vapor de agua) como medio de calor secundario (véase el documento JP-2014-92086-A, por ejemplo).

15 También existe una planta de generación de energía termo-solar que comprende un tanque de sal fundida a alta temperatura que almacena sal fundida a alta temperatura suministrada desde un colector de calor utilizando sal fundida como medio de calor primario y el medio de acumulación de calor/radiación de calor mientras se usa vapor (vapor de agua) como medio de calor secundario y un tanque de sal fundida de baja temperatura que almacena la sal fundida después de usarse para calentar el medio de calor secundario que impulsa la turbina de vapor (véase "Crescent Dunes" [en línea]. Solar Reserve, LLC. [recuperado 20. Mayo de 2015]. Recuperado de Internet: < URL: <http://www.solarreserve.com/en/global-projects/csp/crescent-dunes> > (en lo sucesivo en el presente documento denominado "Bibliografía 1 no perteneciente a patentes"), por ejemplo).

20 Como se muestra en la Figura 7 (diagrama conceptual que muestra la configuración de una planta de generación de energía termo-solar convencional), esta planta de generación de energía termo-solar comprende helióstatos 200 como espejos de seguimiento solar configurados para cambiar su posición dependiendo de la dirección del sol para captar de manera eficiente el calor de la luz solar directa (radiación de calor del sol) en el colector de calor, un sistema primario A como sistema de captación/acumulación de calor solar en el que sal fundida circula como medio de calor primario, y un sistema secundario B, que realiza la generación de energía eléctrica impulsando la turbina de vapor con el vapor (vapor de agua) como el medio de calor secundario.

30 El sistema primario A incluye un tanque de sal fundida de baja temperatura 201, una primera bomba de sal fundida 202, un colector de calor 203, un tanque de sal fundida de alta temperatura 204, una segunda bomba de sal fundida 205, un sobrecalentador 206, un recalentador 207, un evaporador 208 y un precalentador de agua de alimentación 209. El tanque de sal fundida de baja temperatura 201 almacena la sal fundida de baja temperatura. La primera bomba de sal fundida 202 extrae la sal fundida de baja temperatura del tanque de sal fundida de baja temperatura 201 y envía fuera la sal fundida de baja temperatura. El colector de calor 203 capta el calor de la luz solar directa de los helióstatos 200 y de ese modo calienta la sal fundida enviada desde la primera bomba de sal fundida 202. El tanque de sal fundida de alta temperatura 204 almacena la sal fundida de alta temperatura calentada por el colector de calor 203. La segunda bomba de sal fundida 205 extrae la sal fundida de alta temperatura del tanque de sal fundida de alta temperatura 204 y envía fuera la sal fundida de alta temperatura. El sobrecalentador 206, el recalentador 207, el evaporador 208 y el precalentador de agua de alimentación 209 son abastecidos con la sal fundida de alta temperatura desde la segunda bomba de sal fundida 205 y calientan de este modo el agua de alimentación y el vapor (vapor de agua) como medio de calor secundario. La sal fundida, después de enfriarse debido al calentamiento del agua de alimentación en el precalentador de agua de alimentación 209, se almacena en el tanque de sal fundida de baja temperatura 201.

45 El sistema secundario B incluye una turbina de alta presión 301, una turbina de presión intermedia/baja 302, un condensador de vapor enfriado por aire 303, un tanque de condensación 304, una bomba de agua de alimentación 305 y un generador 306. La turbina de alta presión 301 es impulsada por vapor sobrecalentado suministrado desde el sobrecalentador 206. La turbina de presión intermedia/baja 302 es impulsada por vapor recalentado suministrado desde el recalentador 207. El condensador de vapor enfriado por aire 303 condensa el medio de calor secundario después de terminar el trabajo en la turbina de presión intermedia/baja 302. El tanque de condensación 304 almacena el agua condensada. La bomba de agua de alimentación 305 envía el agua de alimentación desde el tanque de condensación 304 al precalentador de agua de alimentación 209. El generador 306 es impulsado por la turbina de alta presión 301 y la turbina de presión intermedia/baja 302 y realiza la generación de energía eléctrica.

55 En esta planta de generación de energía termo-solar, durante la noche, es posible calentar el medio de calor secundario suministrando la sal fundida de alta temperatura, almacenada en el tanque de sal fundida de alta temperatura 204, al sobrecalentador 206, al recalentador 207, al evaporador 208 y al precalentador de agua de alimentación 209, y recuperar la sal fundida en el tanque de sal fundida de baja temperatura 201, sin suministrar la sal fundida desde el tanque de sal fundida de baja temperatura 201 al colector de calor 203 y al tanque de sal fundida de alta temperatura 204. Por lo tanto, la generación de energía puede realizarse durante la noche

impulsando la turbina de alta presión 301 y la turbina de presión intermedia/baja 302 con el vapor generado calentando el medio de calor secundario.

5 Sistemas de generación de energía termo-solar adicionales, que usan aire como medio de calentamiento secundario, se divulgan en los documentos EP 1 873 397 A2, US 2011/127773 A1, GB 24449181 A, y US 2004/244376 A1. El documento JP 2013 147996 A divulga un dispositivo de generación de energía termo-solar de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

10 La planta de generación de energía termo-solar descrita en el documento JP-2014-92086-A comprende una válvula selectora de vapor principal 6, una válvula 41 de entrada del intercambiador de calor de vapor de funcionamiento por acumulación de calor y una válvula 107 de confluencia de tuberías de entrada de la turbina de vapor de alta presión, de funcionamiento por radiación de calor, y el control de conmutación de estas tres válvulas se regula según el modo operativo (modo operativo de acumulación de calor solar o modo operativo de radiación de calor solar). Por lo tanto, existe una preocupación por la complicación del sistema de conmutación que emplea las tres válvulas y la complicación del funcionamiento, tal como el control de conmutación.

15 Además, el vapor (vapor de agua) como medio de calor primario para transmitir calor a un material de almacenamiento de calor experimenta fenómenos de cambio de fase de gas a líquido (desde vapor sobrecalentado y vapor saturado a agua saturada) debido a las variaciones de temperatura. Por lo tanto, la instalación de cuatro tipos de intercambiadores de calor (intercambiador de calor de vapor 33, condensador de vapor saturado 34, intercambiador de calor de agua saturada 35, evaporador de agua saturada 38) se hace necesaria, y el sistema de acumulación/radiación de calor debe complicarse, lo que conduce a un aumento del coste de construcción de la planta de generación de energía termo-solar.

20 La planta de generación de energía termo-solar descrita en la Bibliografía 1 no perteneciente a patentes también es un sistema que realiza la generación de energía impulsando una turbina de vapor mediante el uso de vapor (vapor de agua) como medio de calor secundario. Por lo tanto, también en este caso, la instalación de múltiples intercambiadores de calor (precalentador de agua de alimentación, evaporador, sobrecalentador, recalentador) compatibles con los fenómenos de cambio de fase se hace necesaria, el sistema es complicado y el coste de construcción aumenta.

Compendio de la invención

25 El objeto de la presente invención, que se ha realizado teniendo en cuenta la situación descrita anteriormente, es simplificar los sistemas en la planta de generación de energía termo-solar y, por lo tanto, proporcionar un sistema de generación de energía termo-solar que logre una reducción en el coste de construcción y el coste de generación de energía.

Para resolver el problema mencionado anteriormente, la presente invención propone un sistema de generación de energía termo-solar que tenga las características definidas en la reivindicación 1. Se definen realizaciones preferidas adicionales en las reivindicaciones dependientes.

35 De acuerdo con la presente invención, los sistemas en la planta de generación de energía termo-solar se pueden simplificar y se puede proporcionar un sistema de generación de energía termo-solar que logre una reducción en el coste de construcción y el coste de generación de energía.

Breve descripción de los dibujos

40 La Figura 1 es un diagrama conceptual que muestra la configuración de una primera realización de un sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención.

La Figura 2 es un diagrama conceptual característico que muestra las características de la presión de entrada de la turbina de aire de alta temperatura con respecto al tiempo de arranque de un compresor en la primera realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención.

45 La Figura 3 es un diagrama conceptual característico que muestra las características de la temperatura de entrada de la turbina de aire de alta temperatura, el caudal de entrada de la turbina de aire de alta temperatura y la salida del generador de la turbina de aire de alta temperatura con respecto al cambio en la irradiación normal directa en un día en la primera realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención.

50 La Figura 4 es un diagrama conceptual característico que muestra la configuración operativa de la energía térmica solar en un día en la primera realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención.

La Figura 5 es un diagrama conceptual que muestra la configuración de una segunda realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención.

La Figura 6 es un diagrama conceptual característico que muestra las características de la presión de entrada de la turbina de aire de alta temperatura con respecto al tiempo de arranque del compresor en la segunda realización del

sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención.

La Figura 7 es un diagrama conceptual que muestra la configuración de una planta de generación de energía termo-solar convencional.

Descripción de las realizaciones preferidas

5 Una realización de un sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención se describirá a continuación.

La realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención comprende un sistema primario que capta calor solar y realiza una acumulación de calor y radiación de calor usando sal fundida como medio de calor del sistema primario y un sistema secundario que realiza la generación de energía eléctrica impulsando una turbina de aire de alta temperatura utilizando aire comprimido (aire tomado de la atmósfera circundante y comprimido por un compresor de aire) como medio de calor del sistema secundario. En el sistema secundario, el aire comprimido se calienta mediante un calentador de medio de calor secundario, por lo que se convierte en aire de alta temperatura e impulsa la turbina de aire de alta temperatura. Después de impulsar la turbina de aire de alta temperatura, el aire de alta temperatura calienta el aire en la salida del compresor y a continuación se descarga a la atmósfera.

La turbina de aire de alta temperatura se diseña no suponiendo el aire de alta temperatura (por ejemplo, aproximadamente 850°C) en la entrada de la turbina, sino suponiendo un intervalo de temperaturas inferior, de aproximadamente 400°C - 600°C. Esto hace posible proporcionar una turbina de aire de alta temperatura utilizando un tipo estándar de acero de aleación de carbono reduciendo al mismo tiempo la cantidad de uso de materiales metálicos costosos tal como el níquel. Como resultado, se logra una reducción de costes de la turbina de aire de alta temperatura y se pueden construir sistemas de generación de energía termo-solar que sean respetuosos con el medio ambiente y económicos.

Concretamente, no se utiliza vapor (vapor de agua) sino sal fundida como medio de calor primario como medio de calor del sistema primario para captar calor solar y realizar la acumulación de calor y la radiación de calor, y este medio de calor de alta temperatura se utiliza como una fuente de calor de alta temperatura. Por otro lado, no se utiliza una turbina de vapor sino la turbina de aire de alta temperatura para el sistema secundario (sistema de generación de energía). Específicamente, se genera aire de alta presión y alta temperatura a una temperatura de aproximadamente 600°C y una presión relativamente baja de aproximadamente 6 bares (presión absoluta) - 10 bares (presión absoluta) mediante el uso de un compresor de aire, y la generación de energía se realiza impulsando la turbina de aire de alta temperatura y el generador, utilizando el aire como medio de calor secundario.

Como material de almacenamiento de calor como el medio de calor de alta temperatura necesario para la operación de acumulación de calor y la operación de radiación de calor, puede usarse sal fundida de bajo precio que resiste las especificaciones de alta temperatura hasta aproximadamente 600°C (por ejemplo, sal fundida como una mezcla de nitrato de sodio al 60% y nitrato de potasio al 40%). En cuanto al medio de calor de baja temperatura, el aire de la atmósfera se utiliza como medio de calor secundario. El medio de calor secundario se comprime utilizando uno o varios compresores de aire.

El calentador del medio de calor secundario se proporciona como el intercambiador de calor para realizar el intercambio de calor entre el medio de calor primario y el medio de calor secundario. Con esta configuración, el aire de alta temperatura calentado por el calor solar se genera y se suministra a la turbina de aire de alta temperatura. La turbina de aire de alta temperatura realiza la generación de energía impulsando el generador directamente conectado a la misma. La energía restante después de restar el consumo interno de energía (energía consumida por el compresor o compresores de aire, etc.) se suministra al sistema (sistema eléctrico) como la energía eléctrica de transmisión.

Un dispositivo no del tipo canal sino del tipo torre, ventajoso para adquirir aire a alta temperatura, se emplea como un dispositivo de captación de calor solar, que constituye la realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención. En esta realización, durante el día, la generación de energía se realiza mientras también se realiza una operación de almacenamiento del medio de calor primario en un tanque del tipo de dos tanques, en preparación para la generación de energía por la noche. Por la noche se realiza una operación para realizar la generación de energía mediante el envío del medio de calor primario desde el tanque e irradiando (liberando) calor.

Los detalles se describirán a continuación con referencia a las figuras.

Primera realización

La Figura 1 es un diagrama conceptual que muestra la configuración de una primera realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención. En la Figura 1, el sistema de generación de energía termo-solar comprende un dispositivo de acumulación/radiación de calor solar 100A que constituye el sistema primario, un dispositivo de captación de calor solar 100B que también constituye el sistema primario, y un

dispositivo 200 de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura que constituye el sistema secundario.

5 El dispositivo de acumulación/radiación de calor solar 100A está compuesto principalmente por un tanque de medio de calor primario de baja temperatura 5, una bomba de medio de calor primario de baja temperatura 7, un tanque de medio de calor primario de alta temperatura 25, una bomba de medio de calor primario de alta temperatura 27, y un calentador de medio de calor secundario 47. El tanque de medio de calor primario de baja temperatura 5 almacena un medio de calor primario de baja temperatura. La bomba de medio de calor primario de baja temperatura 7 envía el medio de calor primario desde el tanque de medio de calor primario de baja temperatura 5 al dispositivo de captación de calor solar 100B. El tanque de medio de calor primario de alta temperatura 25 almacena el medio de calor primario de alta temperatura suministrado desde el dispositivo de captación de calor solar 100B. La bomba de medio de calor primario de alta temperatura 27 envía el medio de calor primario del tanque de medio de calor primario de alta temperatura 25 al calentador de medio de calor secundario 47 o al tanque de medio de calor primario de baja temperatura 5. El calentador de medio de calor secundario 47 transfiere la energía térmica del medio de calor primario de alta temperatura al aire comprimido (medio de calor secundario).

15 El dispositivo de captación de calor solar 100B está compuesto principalmente por un colector de calor 48, una pluralidad de helióstatos 2 y una unidad de control de cantidad de captación de calor solar 4. El colector de calor 48 está montado en la parte superior de una torre 3. Los helióstatos 2 elevan la temperatura del medio de calor primario reflejando la irradiación normal directa 42 (radiación del sol 1) con espejos reflectantes y captando la irradiación normal directa 42 en el colector de calor 48 como luz solar directa reflejada. La unidad de control de cantidad de recolección de calor solar 4 controla el ángulo de reflexión de luz solar de cada helióstato 2 para captar una cantidad necesaria de energía térmica solar.

25 El dispositivo 200 de generación de energía del compresor/turbina de alta temperatura incluye principalmente un primer compresor 86 que extrae aire de la atmósfera y comprime el aire, un regenerador 65 que calienta el aire comprimido del primer compresor 86, una turbina de aire de alta temperatura 56, que es impulsada por aire de alta temperatura calentado adicionalmente por el calentador de medio de calor secundario 47 después de ser calentado por el regenerador 65, un generador 145 que es impulsado por la turbina de aire de alta temperatura 56 y realiza la generación de energía, y un sistema eléctrico interno 500. El aire saliente descargado de la turbina de aire de alta temperatura 56 se suministra al regenerador 65, que se utiliza para calentar el aire comprimido procedente del primer compresor 86, y luego se descarga desde una torre de descarga 80. Ejes giratorios de la turbina de aire de alta temperatura 56 y del generador 145 se acoplan/separan entre sí a través de un acoplador de ejes 146. Se utiliza un embrague o un convertidor de par como el acoplador de ejes 146.

35 Una tubería 171 de aire de entrada del primer compresor está conectada a la entrada de aire del primer compresor 86. La tubería 171 de aire de entrada de primer compresor está equipada con un secador de aire 168 y una unidad de eliminación de dióxido de carbono 172. Un extremo de una tubería de entrada de aire 164 está conectado a un punto aguas arriba de la tubería 171 de aire de entrada de primer compresor. El otro extremo de la tubería de entrada de aire 164 está equipado con un primer filtro de entrada de aire entrante 73.

40 El sistema eléctrico interno 500 incluye un circuito principal de salida del generador cuyo extremo está conectado al extremo de salida del generador 145, un disyuntor 143 de salida del generador que está conectado al otro extremo del circuito principal de salida del generador, una transformador principal 140 que aumenta la tensión de salida del generador 145 a una tensión de sistema, y un disyuntor de circuito principal 139 que está dispuesto en el lado de alta tensión del transformador principal 140 para conectar e interrumpir la línea entre el generador 145 y un sistema eléctrico externo 135.

45 El sistema eléctrico interno 500 también incluye un disyuntor de energía eléctrica interna 141 que conecta e interrumpe la línea entre la energía eléctrica interna y el sistema eléctrico externo 135, un transformador interno 134 que baja la tensión del sistema a la tensión del suministro de alimentación interno, un sistema eléctrico interno 121 que está conectado al lado de baja presión del transformador interno 134, y un primer disyuntor 129 del compresor que conecta e interrumpe la línea entre (la energía eléctrica de) el sistema eléctrico interno 121 y una primera unidad inversora 130 del motor de compresor.

50 A continuación se describirá la configuración del dispositivo de acumulación/radiación de calor solar 100A, el dispositivo de captación de calor solar 100B y el dispositivo 200 de generación de energía del compresor/turbina de alta temperatura, mientras se explica el flujo de cada medio de calor en el sistema de generación de energía termo-solar.

55 Como se muestra en la Figura 1, en el dispositivo de acumulación/radiación de calor solar 100A y en el dispositivo de captación de calor solar 100B, se extrae sal fundida de baja temperatura como medio de calor primario, almacenada en el tanque 5 de medio de calor primario de baja temperatura, a través de una tubería 6 de entrada de la bomba de medio de calor primario de baja temperatura y presurizada por la bomba 7 de medio de calor primario de baja temperatura. La sal fundida de baja temperatura presurizada fluye a través de una válvula 8 de salida de la bomba de medio de calor primario de baja temperatura, una tubería 9 de salida de la bomba de medio de calor primario de baja temperatura, una válvula 10 de entrada de la torre y una tubería 13 de medio de calor de entrada de

la torre, y se suministra al colector de calor 48.

En el colector de calor 48, la energía térmica de alta temperatura obtenida al captar la irradiación normal directa 42 (radiación del sol 1) mediante el uso de un gran número de helióstatos (espejos que reflejan la luz del sol) 2 que reflejan la luz del sol, se utiliza para el calentamiento de la sal fundida de baja temperatura.

5 La sal fundida de baja temperatura calentada se convierte en sal fundida de alta temperatura, fluye a través de una tubería 14 de medio de calor de salida de la torre, de una válvula 15 de salida de la torre y de una tubería 17 de salida de la torre, y se suministra a una válvula 21 de control de nivel de líquido del tanque de medio de calor primario de alta temperatura, que controla el nivel de líquido del tanque (tanque de alta temperatura) 25 de medio de calor primario de alta temperatura. La tubería 17 de salida de la torre está equipada con un sensor de temperatura 20 para detectar la temperatura de la sal fundida de alta temperatura en la tubería. El tanque (tanque de alta temperatura) 25 de medio de calor primario de alta temperatura está equipado con un sensor de nivel de líquido 43 para detectar el nivel de líquido de la sal fundida de alta temperatura y un sensor de temperatura 72 para detectar la temperatura de la sal fundida de alta temperatura. Se envía una señal de control correspondiente al nivel de líquido de la sal fundida a alta temperatura, detectada por el sensor de nivel de líquido 43, a la válvula 21 de control de nivel de líquido del tanque de medio de calor primario de alta temperatura, mediante lo cual se controla el nivel de líquido del tanque (tanque de alta temperatura) 25 del medio de calor primario de alta temperatura.

Después de pasar a través de la válvula 21 de control de nivel de líquido del tanque de medio de calor primario de alta temperatura, la sal fundida de alta temperatura se envía al tanque (tanque de alta temperatura) 25 de medio de calor primario de alta temperatura a través de una tubería 22 de entrada del tanque de medio de calor primario de alta temperatura, de una válvula 23 de entrada del tanque de medio de calor primario de alta temperatura y una tubería 24 de salida de la válvula de entrada del tanque de medio de calor primario de alta temperatura.

Una tubería 12 de derivación de la torre y una válvula 16 de derivación de la torre están dispuestas para derivar la torre 3. Un extremo de la tubería 12 de derivación de la torre está conectado a la tubería 9 de salida de la bomba de medio de calor primario de baja temperatura, mientras que el otro extremo está conectado a la tubería 17 de salida de la torre. La válvula 16 de derivación de la torre conecta e interrumpe la tubería 12 de derivación de la torre. La válvula 16 de derivación de la torre es una válvula de derivación para suministrar directamente la sal fundida de baja temperatura al tanque (tanque de alta temperatura) 25 de medio de calor primario de alta temperatura cuando se produjo alguna anomalía en el lado de la torre 3 y la sal fundida de baja temperatura no se puede suministrar al colector de calor 48. Además, cuando no se puede captar suficiente calor solar (por ejemplo, temprano por la mañana), al inicio del sistema, es posible realizar una operación de envío directo de la sal fundida de baja temperatura al tanque (tanque de alta temperatura) 25 de medio de calor primario de alta temperatura utilizando el sistema de derivación según sea necesario.

Posteriormente, la sal fundida a alta temperatura almacenada en el tanque 25 de medio de calor primario de alta temperatura se extrae a través de una tubería 26 de salida del tanque de medio de calor primario de alta temperatura y se presuriza mediante la bomba 27 de medio de calor primario de alta temperatura. La sal fundida de alta temperatura presurizada fluye a través de una válvula 28 de salida de la bomba de medio de calor primario de alta temperatura, de una tubería 32 de salida de válvula de salida de la bomba de medio de calor primario de alta temperatura y, un tubo colector 33 de salida del tanque de medio de calor primario de alta temperatura, de una tubería 34 de medio de calor primario de entrada del calentador de medio de calor secundario, de una válvula 35 de medio de calor primario de entrada del calentador de medio de calor secundario y de una tubería 44 de entrada de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario, y se suministra al calentador 47 de medio de calor secundario. La tubería 44 de entrada de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario está equipada con un sensor de temperatura 46 para detectar la temperatura de la sal fundida de alta temperatura en la tubería.

45 El caudal de la sal fundida de alta temperatura extraída por la bomba 27 de medio de calor primario de alta temperatura es aproximadamente la mitad del caudal de la sal fundida de baja temperatura enviada (suministrada) desde la bomba 7 de medio de calor primario de baja temperatura. El resto de la sal fundida de alta temperatura correspondiente a la diferencia de caudales se almacena en el tanque (tanque de alta temperatura) 25 de medio de calor primario de alta temperatura. Esto permite la operación de acumulación de calor solar.

50 Una tubería 30 de entrada de la válvula de derivación del tanque de medio de calor primario de alta temperatura, una válvula 29 de derivación del tanque de medio de calor primario de alta temperatura y una tubería 31 de salida de la válvula de derivación de tanque de medio de calor primario de alta temperatura están dispuestas para derivar el tanque (tanque de alta temperatura) 25 de medio de calor primario de alta temperatura. Un extremo de la tubería 30 de entrada de la válvula de derivación de tanque de medio de calor primario de alta temperatura está conectada al lado de aguas abajo de la tubería 17 de salida de la torre, mientras que el otro extremo está conectado al lado de entrada de la válvula 29 de derivación del tanque de medio de calor primario de alta temperatura. Un extremo de la tubería 31 de salida de válvula de derivación de tanque de medio de calor primario de alta temperatura está conectado al lado de salida de la válvula 29 de derivación del tanque de medio de calor primario de alta temperatura, mientras que el otro extremo está conectado al lado aguas abajo de la tubería 32 de salida de la válvula de salida de la bomba de medio de calor primario de alta temperatura. La válvula de derivación 29 del tanque de medio de calor

primario de alta temperatura es una válvula de derivación para derivar el tanque (tanque de alta temperatura) 25 de medio de calor primario de alta temperatura cuando se produce una anomalía en el lado del tanque (tanque de alta temperatura) 25 de medio de calor primario de alta temperatura y la sal fundida de alta temperatura no puede suministrarse al tanque (tanque de alta temperatura) 25 de medio de calor primario de alta temperatura.

5 La sal fundida que calentó el medio de calor secundario en el calentador de medio de calor secundario 47 se convierte en sal fundida de baja temperatura. La sal fundida de baja temperatura fluye a través de una tubería 40 de salida de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario, de una válvula 37 de salida de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario, de una tubería 71 de salida de la válvula de salida de medio de calor primario de calentador de medio de calor secundario, de una tubería 39 de medio de calor primario de retorno del tanque de medio de calor primario de baja temperatura, y de una válvula 41 de control del nivel de líquido del tanque de medio de calor primario de baja temperatura que controla el nivel de líquido del tanque (tanque de baja temperatura) 5 de medio de calor primario de baja temperatura. Después, la sal fundida de baja temperatura regresa al tanque (tanque de baja temperatura) 5 de medio de calor primario de baja temperatura y se almacena en el mismo.

15 La tubería 40 de salida de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario está equipada con un sensor de temperatura 45 para detectar la temperatura de la sal fundida de baja temperatura en la tubería. La tubería 39 de medio de calor primario de retorno del tanque de medio de calor primario de baja temperatura también está equipada con un sensor de temperatura 173 para detectar la temperatura de la sal fundida de baja temperatura en la tubería. El tanque (tanque de baja temperatura) 5 de medio de calor primario de baja temperatura está equipado con un sensor de nivel de líquido 19 para detectar el nivel de líquido de la sal fundida de baja temperatura, y con un sensor de temperatura 18 para detectar la temperatura de la sal fundida de baja temperatura. Se envía una señal de control correspondiente al nivel de líquido de la sal fundida a baja temperatura detectada, por el sensor de nivel de líquido 19, a la válvula 41 de control de nivel de líquido del tanque de medio de calor primario de baja temperatura, mediante la cual se controla el nivel de líquido del tanque (tanque de baja temperatura) 5 de medio de calor primario de baja temperatura.

Una tubería 36 de medio de calor primario de salida de la válvula de derivación del calentador de medio de calor secundario y una válvula 38 de derivación de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario están dispuestas para derivar el calentador de medio de calor secundario 47. Un extremo de la tubería 36 de medio de calor primario de salida de la válvula de derivación del calentador de medio de calor secundario está conectado al tubo colector 33 de salida del tanque de medio de calor primario de alta temperatura, mientras que el otro extremo está conectado a la tubería 71 de salida de la válvula de salida de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario. La válvula 38 de derivación de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario conecta e interrumpe la tubería 36 de medio de calor primario de salida de la válvula de derivación de calentador de medio de calor secundario. La válvula 38 de derivación de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario es una válvula de derivación para derivar el calentador de medio de calor secundario 47 cuando se produce una anomalía en el calentador de medio de calor secundario 47 y la sal fundida de alta temperatura no puede suministrarse al calentador de medio de calor secundario 47.

A continuación se describirán en lo que sigue los sistemas de instrumentación de control del dispositivo de acumulación/radiación de calor solar 100A y del dispositivo de captación de calor solar 100B.

40 La unidad 4 de control de la cantidad de captación de calor solar, que constituye el dispositivo de captación de calor solar 100B, recibe una señal de comando enviada desde una unidad 133 (explicada posteriormente) de control de salida de la turbina de aire de alta temperatura, una señal de temperatura que representa la temperatura de la sal fundida de baja temperatura en el tanque 5 de medio de calor primario de baja temperatura, detectada por el sensor de temperatura 18, y una señal de temperatura que representa la temperatura de la sal fundida de alta temperatura en el tanque 25 de medio de calor primario de alta temperatura, detectada por el sensor de temperatura 72. Basándose en estas señales, la unidad 4 de control de la cantidad de captación de calor solar transmite comandos para controlar el ángulo de reflexión de la luz solar a los helióstatos pertinentes 2 (seleccionado de todos los helióstatos 2) para captar de manera eficiente la luz solar en el colector de calor 48 y captar de este modo una cantidad necesaria de energía termo-solar.

50 La unidad 4 de control de la cantidad de captación de calor solar también recibe una señal de temperatura que representa la temperatura de la sal fundida a alta temperatura que fluye en la tubería 17 de salida de la torre, detectada por el sensor de temperatura 20 y verifica si el colector de calor 48 está funcionando normalmente, y la sal fundida de alta temperatura ha sido calentada por la energía térmica solar hasta una temperatura planificada.

La unidad 4 de control de la cantidad de captación de calor solar también recibe una señal de temperatura que representa la temperatura de la sal fundida de alta temperatura que fluye en la tubería 44 de entrada de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario, detectada por el sensor de temperatura 46, una señal de temperatura que representa la temperatura de la sal fundida de baja temperatura que fluye en la tubería 40 de salida de medio de calor primario del calentador de medio de calor secundario, detectada por el sensor de temperatura 45, y una señal de temperatura que representa la temperatura de la sal fundida de baja temperatura que fluye en la tubería 39 de medio de calor primario de retorno del tanque de medio de calor primario de baja temperatura,

detectada por el sensor de temperatura 173. Mediante el uso de estas señales, la unidad 4 de control de la cantidad de captación de calor solar controla si la energía térmica solar se está transmitiendo o no de forma consistente al medio de calor secundario.

5 La unidad 4 de control de cantidad de recolección de calor solar también recibe una señal de temperatura que representa la temperatura de la sal fundida de baja temperatura en el tanque 5 de medio de calor primario de baja temperatura, detectada por el sensor de temperatura 18 y realiza el control de supervisión de manera que la temperatura no caiga por debajo de una temperatura límite inferior (aproximadamente 260°C) de la sal fundida de baja temperatura. Específicamente, el tanque 5 de medio de calor primario de baja temperatura está dotado de un calentador y la sal fundida de baja temperatura en el tanque se calienta alimentando el calentador cuando la
10 temperatura de la sal fundida de baja temperatura se acerca a la temperatura límite inferior, por ejemplo. La temperatura límite inferior (260°C en esta explicación) varía según el tipo de sal fundida.

A continuación, la configuración del dispositivo 200 de generación de energía del compresor/turbina de alta temperatura se describirá en lo que sigue mientras se explica el flujo del medio de calor en el dispositivo 200 de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura.

15 Como se muestra en la Figura 1, en el dispositivo 200 de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura, el aire que se va a usar como medio de calor secundario se toma a través del primer filtro de entrada de aire entrante 73 y fluye hacia el secador de aire 168 a través de la tubería de entrada de aire 164, de una válvula 165 de entrada del secador de aire y de una tubería 166 de entrada del secador de aire. El secador de aire 168 elimina la humedad (agua) del aire entrante. La humedad eliminada (agua) se descarga al exterior del sistema a
20 través de una tubería 167 de descarga de humedad del secador de aire.

El aire limpio del que se ha eliminado la humedad por el secador de aire 168 pasa a través de la unidad de eliminación de dióxido de carbono 172, fluye a través de la tubería 171 de aire entrante del primer compresor, y es aspirado hacia el primer compresor 86. La unidad de eliminación de dióxido de carbono 172 es un dispositivo para eliminar el gas dióxido de carbono contenido en una pequeña cantidad en el aire entrante. La unidad de eliminación
25 de dióxido de carbono 172 es un dispositivo usado con el fin de prevenir la corrosión de metales ferrosos de los dispositivos en el lado aguas abajo por el ácido carbónico que se deriva del gas dióxido de carbono, y por lo tanto, no es un dispositivo absolutamente necesario en la presente invención.

El aire a alta presión obtenido por la compresión del primer compresor 86 fluye a través de una tubería 87 de salida de primer compresor y luego fluye hacia el regenerador 65. La tubería 87 de salida de primer compresor está equipada con un sensor de presión 88 para detectar la presión del aire saliente del primer compresor 86. El rendimiento del primer compresor 86 se controla usando el sensor de presión 88.
30

El aire a alta presión que fluyó hacia el regenerador 65 se calienta por medio de intercambio de calor utilizando el aire de escape descargado de la turbina de aire de alta temperatura 56 como medio de calentamiento. El aire a alta presión calentado por el regenerador 65 se envía al calentador del medio de calor secundario 47 a través de una tubería 74 de entrada de aire del calentador de medio de calor secundario. La tubería 74 de entrada de aire del calentador de medio de calor secundario está equipada con un sensor de presión 95 para detectar la presión de
35 entrada de aire del calentador de medio de calor secundario 47.

El aire a alta presión que fluyó al calentador de medio de calor secundario 47 es calentada por medios de intercambio de calor usando la sal fundida de alta temperatura (medio de calor primario) como medio de calentamiento. El aire a alta presión y alta temperatura obtenido por el calentamiento del calentador de medio de calor secundario 47 fluye a través de una tubería de salida de medio de calor secundario 51 y luego se bifurca hacia una tubería 53 de entrada de la válvula de mariposa de entrada de la turbina de aire de alta temperatura y tubería 52 de entrada de la válvula de mariposa de derivación de la turbina de aire de alta temperatura. La tubería de salida del medio de calor secundario 51 está equipada con un sensor de presión 54 para detectar la presión de salida de aire del calentador de medio de calor secundario 47. El sensor de presión 54 se usa para controlar si la presión en el
40 lado del aire del calentador de medio de calor secundario 47 está o no de acuerdo con un valor planificado. La tubería 53 de entrada de la válvula de mariposa de entrada de la turbina de aire de alta temperatura está equipada con un sensor de temperatura 76 para detectar la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire de alta temperatura 56 y un sensor de presión 75 para detectar la presión del aire en la entrada de la turbina de aire de alta temperatura 56.
45

La tubería 53 de entrada de la válvula de mariposa de entrada de la turbina de aire de alta temperatura está conectada a una válvula de mariposa 55 de entrada de la turbina de aire de alta temperatura, mientras que la tubería 52 de entrada de la válvula de mariposa de derivación de la turbina de aire de alta temperatura está conectada a una válvula de mariposa 60 de derivación de la turbina de aire de alta temperatura. Los ángulos abiertos de estas
50 válvulas de mariposa 55 y 60 se controlan mediante comandos enviados desde la unidad 133 (explicada más adelante) de control de salida de la turbina de aire de alta temperatura. Específicamente, en la operación de carga normal, la potencia de salida de la turbina de aire de alta temperatura 56 se controla regulando el caudal y la presión del aire de alta temperatura que fluye hacia la turbina de aire de alta temperatura 56 mediante el control de ángulo abierto de la válvula de mariposa 55 de entrada de la turbina de aire de alta temperatura. Por el contrario, cuando el
55

aire a alta presión y alta temperatura no puede suministrarse a la turbina de aire de alta temperatura 56 (por ejemplo, en el arranque de la turbina de aire de alta temperatura 56, o cuando se ha producido una anomalía), la válvula de mariposa 60 de derivación de la turbina de aire de alta se abre y el aire de alta presión y alta temperatura se libera en un tubo colector 62 de escape de la turbina de aire de alta temperatura a través de una tubería 61 de salida de válvula de mariposa de derivación de turbina de aire de alta temperatura.

El aire de escape de la turbina de aire de alta temperatura 56 se descarga a través de la salida de la turbina de aire de alta temperatura 56, fluye a través de una válvula de retención 58 de escape de la turbina de aire de alta temperatura, del tubo colector 62 de escape de la turbina de aire de alta temperatura y de una tubería 64 de entrada del regenerador de medio de calor secundario de alta temperatura, y luego fluye hacia el regenerador 65 como un medio de calor secundario de alta temperatura. Un sensor de temperatura 57 para detectar la temperatura del aire en la salida de la turbina de aire de alta temperatura 56 está dispuesto en el lado de aguas arriba de la válvula de retención 58 de escape de la turbina de aire de alta temperatura. En el lado aguas abajo de la válvula de retención 58 de escape de la turbina de aire de alta temperatura está dispuesto un sensor de presión 59 para detectar la presión del aire en la salida de la turbina de aire de alta temperatura 56. El tubo colector 62 de escape de la turbina de aire de alta temperatura está equipado con un sensor de temperatura 63 para detectar la temperatura de entrada del medio de calor secundario de alta temperatura, que fluye hacia el regenerador 65.

El aire de escape que fluye hacia el regenerador 65 calienta el aire en la salida del primer compresor 86 y luego fluye hacia aguas abajo a través de una tubería 66 de salida de regenerador de medio de calor secundario de alta temperatura y de una tubería 68 de medio de calor secundario de salida del regenerador. A continuación, el aire de escape es conducido a la torre de descarga de medio de calor secundario 80 a través de una válvula de mariposa 69 de escape de medio de calor secundario de salida del regenerador y de una tubería 70 de entrada de la torre de descarga de medio de calor secundario, y se descarga desde la torre a la atmósfera. La tubería 66 de salida del regenerador de medio de calor secundario de alta temperatura está equipada con un sensor de temperatura 67 para detectar la temperatura del aire de escape.

Como se ha explicado anteriormente, el aire a alta presión y alta temperatura, cuya presión y caudal han sido controlados por la válvula de mariposa 55 de entrada de la turbina de aire de alta temperatura, se introduce en la turbina de aire de alta temperatura 56 e impulsa la turbina de aire de alta temperatura 56 y el generador 145 acoplado a la misma. La energía eléctrica generada por el generador 145 se suministra (en paralelo) al sistema eléctrico externo 135 a través del disyuntor 143 de salida del generador, del transformador principal 140, del disyuntor 139 del circuito principal y de un circuito de transmisión de energía eléctrica interno 136. Un circuito de transmisión de energía eléctrica interno 137 está conectado al circuito de transmisión de energía eléctrica interno 136. La energía eléctrica interna pasa a través del disyuntor de energía eléctrica interno 141, es disminuida por el transformador interno 134 a una tensión interna, y se suministra al sistema eléctrico interno 121.

En el sistema eléctrico interno 121, un primer motor 132 de compresor (motor eléctrico, primer motor eléctrico), para impulsar el primer compresor 86, recibe energía eléctrica convertida en frecuencia desde la unidad inversora 130 del primer motor de compresor a través de un circuito eléctrico 131 del primer motor de compresor. La unidad inversora 130 del primer motor de compresor se abastece con la energía eléctrica interna del sistema eléctrico interno 121 a través del disyuntor 129 del primer compresor.

Con esta configuración, resulta posible el control de la velocidad de revolución del primer motor 132 de compresor, y la operación de control de la velocidad de revolución es posible desde el arranque del primer compresor 86 hasta la operación de carga parcial, y siguiendo hacia la operación de carga completa (operación de carga nominal). En consecuencia, el consumo de energía del primer compresor 86 se puede reducir significativamente en comparación con el método de control de la válvula de mariposa de salida del compresor, comúnmente utilizado.

A continuación se describirá el sistema de instrumentación de control del dispositivo 200 de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura.

La unidad 133 de control de salida de la turbina de aire de alta temperatura que constituye el dispositivo 200 de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura recibe una señal de desviación de una unidad de cálculo de desviación 147 que calcula una desviación comparando la salida de generación de energía del generador 145 con un comando 148 de carga del sistema desde una oficina de despacho de carga central. La unidad 133 de control de salida de la turbina de aire de alta temperatura carga la señal de desviación, una señal de temperatura de aire entrante de la turbina de aire de alta temperatura desde el sensor de temperatura 76, una señal de presión del aire entrante de la turbina de aire de alta temperatura desde el sensor de presión 75, una señal de temperatura de aire saliente de la turbina de de alta temperatura desde el sensor de temperatura 57, y una señal de presión del aire saliente de la turbina de aire de alta temperatura desde el sensor de presión 59, y calcula la salida o producción eléctrica de la turbina de aire de alta temperatura 56 y el caudal y la presión del aire a alta presión y alta temperatura que se introducirá en la turbina de aire de alta temperatura 56. El control de salida de la turbina de aire de alta temperatura 56 se realiza transmitiendo señales de comando de ángulo abierto de válvula a la válvula de mariposa 55 de entrada de la turbina de aire de alta temperatura y a la válvula de mariposa 60 de derivación de la turbina de aire de alta temperatura de manera que el caudal y la presión del aire de alta presión y alta temperatura resulten iguales al caudal y la presión calculados. La válvula de mariposa 55 de entrada de la turbina de aire de alta

temperatura y la válvula de mariposa 60 de derivación de la turbina de aire de alta temperatura también se utilizan cuando la planta se pone en marcha o se detiene. Específicamente, en el momento de la puesta en marcha, para sincronizar la velocidad de revolución de la turbina de aire de alta temperatura 56 con la frecuencia del sistema, la velocidad de revolución de la turbina de aire de alta temperatura 56 se controla mediante la regulación de la cantidad del aire de alta temperatura introducido en la turbina de aire de alta temperatura 56 (para acelerar la turbina) y la cantidad de aire que deriva la turbina de aire de alta temperatura 56, por lo que el generador 145 (generador de la turbina de aire de alta temperatura) conectado a la turbina se acelera, se sincroniza con el sistema y se incorpora (en paralelo) al sistema. En el momento de la parada, el generador 145 se divide (sin estar en paralelo) del sistema mediante la regulación de la cantidad de aire a alta temperatura que fluye hacia la turbina de aire de alta temperatura 56 al nivel sin carga. Al mismo tiempo, la válvula de mariposa 55 de entrada de la turbina de aire de alta temperatura se cierra totalmente y la válvula de mariposa 60 de desviación de turbina de aire de alta temperatura se abre, por lo que la turbina de aire de alta temperatura 56 se detiene, mientras tiene la derivación aire de alta temperatura de la turbina de aire de alta temperatura 56 y escapa a la atmósfera.

La unidad 133 de control de salida de la turbina de aire de alta temperatura emite una señal que representa la salida eléctrica calculada de la turbina de aire de alta temperatura 56 a la unidad 4 de control de cantidad de captación de calor solar. De acuerdo con la señal de entrada que representa la salida eléctrica de la turbina de aire de alta temperatura 56, la unidad 4 de control de la cantidad de captación de calor solar emite los comandos para controlar el ángulo de reflexión de la luz solar a los helióstatos pertinentes 2 (seleccionados de todos los helióstatos 2) para captar la cantidad necesaria de energía térmica solar.

La unidad 133 de control de salida de la turbina de aire de alta temperatura calcula la caída de temperatura a partir de la señal de temperatura de aire entrante de la turbina de aire de alta temperatura y la señal de temperatura de aire saliente de la turbina de aire de alta temperatura mencionadas anteriormente, calculando también al mismo tiempo la caída de presión a partir de la señal de presión del aire entrante de la turbina de aire de alta temperatura y la señal de presión del aire saliente de la turbina de aire de alta temperatura mencionadas anteriormente. Utilizando estos valores se calcula la potencia (potencia rotativa) producida en la turbina de aire de alta temperatura 56.

Además, la unidad 133 de control de salida de la turbina de aire de alta temperatura recibe una señal que representa la temperatura de entrada del regenerador del medio de calor secundario de alta temperatura, detectada por el sensor de temperatura 63 y una señal que representa la temperatura de salida de regenerador del medio de calor secundario de alta temperatura, detectada por el sensor de temperatura 67, y controla si la energía térmica del medio de calor secundario de alta temperatura se está utilizando o no de forma sistemática para el calentamiento del aire saliente del primer compresor 86.

A continuación, las características de compresión del primer compresor 86, que constituye la primera realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención, con respecto a su tiempo de arranque, se explicarán seguidamente con referencia a la Figura 2. La Figura 2 es un diagrama conceptual característico que muestra las características de la presión de entrada de la turbina de aire de alta temperatura con respecto al tiempo de arranque del compresor en la primera realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención.

En la Figura 2, el eje horizontal representa el tiempo de arranque desde el momento 0 en que se pone en marcha el primer compresor 86, mientras que el eje vertical representa la presión del aire entrante de la turbina de aire de alta temperatura (presión absoluta). En este ejemplo, un compresor con una relación de presiones de aproximadamente 6 se seleccionó como el primer compresor 86.

Aunque la presión de entrada del primer compresor 86 resulta ligeramente más baja que la presión atmosférica, ya que el aire entrante pasa a través del primer filtro de entrada de aire entrante 73, del secador de aire 168, etc., que se muestran en la Figura 1, la caída de presión es suficientemente pequeña y la presión de entrada es de aproximadamente 1 bar-abs (presión absoluta), que es sustancialmente igual a la presión atmosférica. Por lo tanto, antes de la puesta en marcha del primer compresor 86 (0 en el eje horizontal), la presión del aire entrante de turbina de aire de alta temperatura (presión absoluta) permanece aproximadamente a 1 bar-abs (presión absoluta).

Como se muestra en la Figura 2, la presión del aire entrante de la turbina de aire de alta temperatura (presión absoluta) se aumenta de 1 bar-abs (presión absoluta) a aproximadamente 6 bar-abs (presión absoluta) en aproximadamente 20 minutos desde el arranque del primer compresor 86. Aunque el aire descargado de la salida del primer compresor 86 experimenta una ligera caída de presión cuando pasa a través del regenerador 65 y del calentador de medio de calor secundario 47, la presión del aire es de aproximadamente 6 bar-abs (presión absoluta) en la entrada de la turbina de aire de alta temperatura 56.

A continuación, el cambio en la salida del generador de la turbina de aire de alta temperatura, etc. con respecto al cambio en la irradiación normal directa en un día en la primera realización del sistema de generación de energía termo-solar, de acuerdo con la presente invención, se explicará en lo que sigue con referencia a la Figura 3. La Figura 3 es un diagrama conceptual característico que muestra las características de la temperatura de entrada de la turbina de aire de alta temperatura, el caudal de entrada de la turbina de aire de alta temperatura y la salida del generador de la turbina de aire de alta temperatura, con respecto al cambio en la irradiación normal directa en un

día, en la primera realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención.

5 En la Figura 3, el eje horizontal representa la hora del día, mientras que el eje vertical representa (a) la irradiación normal directa [kW/m^2], (b) la señal de temperatura de entrada de la turbina de aire de alta temperatura [$^{\circ}\text{C}$], (c) señal de caudal de entrada de la turbina de aire de alta temperatura [kg/s], y (d) señal de salida del generador de turbina de aire de alta temperatura [kWe].

10 La (a), irradiación normal directa [kW/m^2] en la Figura 3, muestra que la captación de radiación solar directa (irradiación normal directa) es posible desde aproximadamente las 6 de la mañana. La señal de temperatura de entrada de la turbina de aire de alta temperatura y la señal de caudal de entrada de la turbina de aire de alta temperatura comienzan a aumentar al mismo tiempo, como se muestra en los gráficos (b) y (c). La salida de generador del generador 145, conectado a la turbina de aire de alta temperatura 56, capta la potencia máxima (potencia nominal) alrededor del mediodía, como se muestra en el gráfico (d).

15 Posteriormente, se produjo una caída brusca (caída repentina) en la (a), irradiación normal directa en la Figura 3, alrededor de las 3 de la tarde. Este tipo de caída brusca es causada por la interrupción de la luz solar debido al paso de nubes en el cielo, por ejemplo. En esta realización, incluso con tal caída brusca en la irradiación normal directa, la (b), señal de temperatura de entrada de la turbina de aire de alta temperatura, y la (c), señal de caudal de entrada de turbina de aire de alta temperatura, no caen bruscamente, como se muestra en la Figura 3, por lo que se proporciona un funcionamiento con salida estable del generador de la turbina de aire de alta temperatura. Esto se debe a que el tanque de medio de calor primario de alta temperatura (tanque de alta temperatura) 25, que constituye esta realización, tiene una alta capacidad de calor y una alta inercia térmica.

20 A continuación, la configuración operativa de la energía térmica solar en un día en la primera realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención, se explicará en lo que sigue con referencia a la Figura 4. La Figura 4 es un diagrama conceptual característico que muestra la configuración operativa de la energía térmica solar en un día en la primera realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención.

25 En la Figura 4, el eje horizontal representa la hora del día, mientras que el eje vertical representa la energía térmica solar. La Figura 4 indica las variaciones de tiempo totales de la energía de acumulación de calor, energía de generación de potencia y energía de radiación de calor (energía de liberación de calor) en un día. Específicamente, el calor solar se capta en el periodo de tiempo de 6 de la mañana a 6 de la tarde, en el que la duración de la luz solar por hora es larga, aproximadamente la mitad de la energía captada se almacena como la energía de acumulación de calor, y la mitad restante de la energía captada se usa como energía de generación de potencia durante el día.

30 La energía de acumulación de calor sobre la línea discontinua en la Figura 4 se usa en la noche como la energía de radiación térmica (energía de liberación de calor) para generar el aire de alta temperatura, con el que se impulsa la turbina de aire de alta temperatura 56, se impulsa el generador 145, y se realiza la generación de energía. La energía de generación de potencia y la energía de radiación de calor, debajo de la línea discontinua en la Figura 4, representan la energía térmica solar utilizada para la generación de energía.

35 Mediante la primera realización descrita anteriormente del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención, los sistemas en la planta de generación de energía termo-solar se pueden simplificar y se puede proporcionar un sistema de generación de energía termo-solar que logre una reducción en el coste de construcción y el coste de generación de energía.

40 Además, mediante la realización descrita anteriormente del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención, pueden absorberse las variaciones en la energía térmica causada por cambios repentinos en la irradiación normal directa. Por lo tanto, se puede realizar una generación de energía termo-solar estable y el coste de construcción unitario y el coste de generación de energía pueden reducirse a niveles equivalentes o inferiores a los de los equipos de generación de energía fotovoltaica (equipos de generación de energía solar). En consecuencia, se puede proporcionar un sistema de generación de energía termo-solar económico, capaz de suministrar energía eléctrica estable.

Segunda realización

45 Una segunda realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención se describirá a continuación con referencia a las figuras. La Figura 5 es un diagrama conceptual que muestra la configuración de la segunda realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención. La Figura 6 es un diagrama conceptual característico que muestra las características de la presión de entrada de la turbina de aire de alta temperatura con respecto al tiempo de arranque del compresor en la segunda realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención. Los caracteres de referencia en las Figuras 5 y 6 idénticos a los de las Figuras 1 - 4 representan elementos equivalentes a los de las Figuras 1 - 4 y, por lo tanto, la explicación detallada de los mismos se omite por brevedad.

En la segunda realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención, la configuración del sistema de generación de energía termo-solar es básicamente equivalente a la de la primera realización. Sin embargo, el dispositivo 200 de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura en esta realización está configurado para tener dos compresores de aire, como se muestra en la Figura 5. El dispositivo 200 de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura incluye un primer compresor 86 que comprime el aire desde la presión atmosférica a una relación de presiones prescrita, un primer inter-enfriador 90, que enfría el aire comprimido descargado del primer compresor 86, y un segundo compresor 94, que extrae el aire comprimido enfriado por el primer inter-enfriador 90 y comprime el aire enfriado a una relación de presiones prescrita.

Las características de compresión de los compresores que constituyen la segunda realización del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención con respecto al tiempo de puesta en marcha se explicarán a continuación con referencia a la Figura 6. En la Figura 6, el eje horizontal representa el tiempo de arranque desde el momento 0 en que se pone en marcha el primer compresor 86, mientras que el eje vertical representa la presión del aire entrante de la turbina de aire de alta temperatura (presión absoluta). En este ejemplo, un compresor que tiene una relación de presiones de aproximadamente 2 se seleccionó como el primer compresor 86, y un compresor con una relación de presiones de aproximadamente 3 se seleccionó como el segundo compresor 94.

Aunque la presión de entrada del primer compresor 86 resulta ligeramente más baja que la presión atmosférica, ya que el aire entrante pasa a través del primer filtro de entrada de aire entrante 73, del secador de aire 168, etc., que se muestran en la Figura 5, la caída de presión es suficientemente pequeña y la presión de entrada es de aproximadamente 1 bar-abs (presión absoluta), que es sustancialmente igual a la presión atmosférica. Por lo tanto, antes de la puesta en marcha del primer compresor 86 (0 en el eje horizontal), la presión (presión absoluta) del aire entrante de turbina de aire de alta temperatura permanece aproximadamente a 1 bar-abs (presión absoluta).

Como se muestra en la Figura 6, la presión del aire entrante (presión absoluta) de la turbina de aire de alta temperatura se aumenta de 1 bar-abs (presión absoluta) a aproximadamente $1 \times 2 = 2$ bar-abs (presión absoluta) en aproximadamente 10 minutos desde el arranque del primer compresor 86. Posteriormente, la presión del aire entrante (presión absoluta) de turbina de aire de alta temperatura es aumentada por el segundo compresor 94 de 2 bar-abs (presión absoluta) a aproximadamente $2 \times 3 = 6$ bar-abs (presión absoluta) en aproximadamente 20 minutos desde el arranque del primer compresor 86. Aunque el aire descargado de la salida del primer compresor 86 experimenta una ligera caída de presión cuando pasa a través del primer inter-enfriador 90, el regenerador 65 y el calentador de medio de calor secundario 47, la presión del aire es de aproximadamente 6 bar-abs (presión absoluta) en la entrada de la turbina de aire de alta temperatura 56, de forma similar a la primera realización.

Con la configuración anterior dividiendo el compresor en dos fases y empleando el primer inter-enfriador 90 para enfriar el aire comprimido por el primer compresor 86, la temperatura del aire entrante del segundo compresor 94 puede reducirse y el consumo de energía del segundo compresor 94 se puede reducir significativamente. Un sistema de este tipo que divide el compresor en dos fases y realiza el enfriamiento intermedio, en lugar de comprimir el aire con un solo compresor, proporciona un efecto significativo en la reducción del consumo total de energía del compresor.

Incidentalmente, aunque se ha mostrado una configuración que emplea dos compresores en esta realización, el número de compresores no está limitado a dos. Es deseable determinar el número óptimo de compresores teniendo en cuenta la presión de aire planificada, el rendimiento de los compresores, el rendimiento de la turbina de aire de alta temperatura y la eficiencia económica de cada dispositivo.

A continuación, la configuración del dispositivo 200 de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura, que difiere de la de la primera realización, se explicará en lo que sigue con referencia a la Figura 5. Como se ha mencionado anteriormente, el primer inter-enfriador 90 está dispuesto entre los dos compresores en esta realización. Como se muestra en la Figura 5, el aire a usar como medio de calor para enfriar el aire comprimido en el primer inter-enfriador 90 se toma de la atmósfera a través de un segundo filtro 101 de entrada de aire de admisión y luego es aspirado por un ventilador de enfriamiento 104 a través de una tubería 102 de salida del filtro de entrada de aire admisión y una válvula de mariposa 103 de entrada del ventilador de enfriamiento. El aire comprimido por el ventilador de enfriamiento 104 fluye a través de una tubería 105 de salida del ventilador de enfriamiento, de una primera válvula 107 de entrada de aire de enfriamiento de inter-enfriador y de una primera tubería 108 de entrada de aire de enfriamiento del inter-enfriador, y luego fluye hacia el primer inter-enfriador 90.

El aire que fluye hacia el primer inter-enfriador 90 enfría el aire de salida del primer compresor 86, fluye hacia abajo a través de una tubería 109 de salida de aire de enfriamiento del inter-enfriador, de una primera válvula 110 de salida de aire de enfriamiento del inter-enfriador y de una primera tubería 111 de salida de la válvula de salida de aire de enfriamiento del inter-enfriador, fluye hasta una torre 112 de descarga de salida de aire de enfriamiento a través de una válvula 119 de entrada de la torre de descarga de salida de aire de enfriamiento, y se descarga a la atmósfera.

El aire de salida que se ha comprimido por el primer compresor 86 a 2 bar-abs (presión absoluta) fluye a través de la

5 primera tubería de salida 87 del primer compresor, fluye hacia el primer inter-enfriador 90, y se enfría por medio de intercambio de calor usando el aire suministrado desde el ventilador de enfriamiento 104 como el medio de enfriamiento. El aire de salida enfriado por el primer inter-enfriador 90 fluye a través de una tubería de salida 91 del inter-enfriador y se suministra al segundo compresor 94. El aire de salida que ha sido comprimido por el segundo compresor 94 a 6 bar-abs (presión absoluta) se envía al regenerador 65 a través de una tubería 92 de salida del segundo compresor. La tubería de salida 92 del segundo compresor está equipada con un sensor de presión 93 para detectar la presión del aire saliente del segundo compresor 94. El rendimiento del segundo compresor 94 se controla usando el sensor de presión 93.

10 En el sistema eléctrico interno 121, un motor 125 (segundo motor eléctrico) del compresor para impulsar el segundo compresor 94 recibe energía eléctrica convertida en frecuencia desde una unidad inversora 123 del segundo motor de compresor a través de un circuito eléctrico 124 del segundo motor de compresor. La unidad inversora 123 del segundo motor de compresor se abastece con la energía eléctrica interna del sistema eléctrico interno 121 a través de un disyuntor 122 del segundo compresor.

15 Con esta configuración, se hace posible el control de la velocidad de revolución del segundo motor 125 de compresor, y la operación de control de la velocidad de revolución es posible desde el arranque del segundo compresor 94 hasta funcionamiento en carga parcial, y siguiendo hasta funcionamiento a plena carga (operación de carga nominal). En consecuencia, el consumo de energía del segundo compresor 94 se puede reducir.

Mediante la segunda realización descrita anteriormente del sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la presente invención, se pueden lograr efectos similares a los de la primera realización.

20 Además, mediante la segunda realización descrita anteriormente del sistema de generación de energía termo-solar, gracias a la configuración que divide el compresor en dos fases y empleando el primer inter-enfriador 90 para enfriar el aire comprimido por el primer compresor 86, la temperatura del aire entrante del segundo compresor 94 puede reducirse y el consumo de energía del segundo compresor 94 se puede reducir significativamente. En consecuencia, se puede reducir el consumo total de energía del compresor y se puede proporcionar un sistema de generación de energía termo-solar que logre una mayor reducción en el coste de generación de energía.

Si bien esta realización se ha descrito utilizando un ejemplo en el que se usa aire como refrigerante del primer inter-enfriador 90, también se pueden usar otros materiales, tales como agua de mar y agua dulce.

30 Se debe observar que la presente invención no se limita a las realizaciones mencionadas anteriormente, sino que incluye diversas modificaciones. Si bien, con fines ilustrativos, estas realizaciones se han descrito específicamente, la presente invención no se limita necesariamente a las formas específicas descritas. Por ejemplo, aunque las realizaciones anteriores se han descrito mediante el uso de ejemplos en los que se usa sal fundida como el medio de calor primario, la generación de energía de captación/acumulación/radiación de calor solar se puede realizar de una manera similar también utilizando aceite sintético como el medio de calor primario. En este caso, la temperatura a la que se puede usar el aceite sintético está limitada por una temperatura límite superior de aproximadamente 430°C, y por lo tanto, la temperatura de entrada de la turbina de aire de alta temperatura desciende (aproximadamente 420°C, como máximo) en comparación con el caso en el que la sal fundida se utiliza como medio de calor primario. Sin embargo, es posible configurar un sistema de generación de energía termo-solar de este tipo que emplee aceite sintético como medio de calor primario, ya que la turbina de aire de alta temperatura puede funcionar incluso en tal intervalo de temperaturas.

40 Características, componentes y detalles específicos de las estructuras de las realizaciones descritas anteriormente pueden intercambiarse o combinarse para formar realizaciones adicionales optimizadas para la aplicación respectiva. En la medida en que estas modificaciones sean fácilmente evidentes para un experto en la técnica, se divulgarán implícitamente mediante la descripción anterior sin especificar explícitamente cada combinación posible, en aras de la concisión de la presente descripción.

45 **Descripción de los caracteres de referencia**

1: Sol

2: Helióstato (espejo que refleja la luz del sol)

3: Torre

4: Unidad de control de cantidad de recolección de calor solar

50 5: Tanque (tanque de baja temperatura) de medio de calor primario de baja temperatura

18: Sensor de temperatura (temperatura del tanque de medio de calor primario de baja temperatura)

19: Sensor de nivel de líquido (nivel de líquido del tanque de medio de calor primario de baja temperatura)

20: Sensor de temperatura (temperatura de medio de calor primario de alta temperatura de salida del colector de

ES 2 699 375 T3

- calor)
- 25: Tanque (tanque de alta temperatura) de medio de calor primario de alta temperatura
- 42: Irradiación normal directa
- 43: Sensor de nivel de líquido (nivel de líquido del tanque de medio de calor primario de alta temperatura)
- 5 45: Sensor de temperatura (temperatura de medio de calor primario de salida del calentador del medio de calor secundario)
- 46: Sensor de temperatura (temperatura de medio de calor primario de entrada del calentador del medio de calor secundario)
- 47: Calentador de medio de calor secundario
- 10 48: Colector de calor
- 55: Válvula de mariposa de entrada de la turbina de aire de alta temperatura
- 56: Turbina de aire de alta temperatura
- 57: Sensor de temperatura (temperatura de aire de salida de la turbina de aire de alta temperatura)
- 58: Válvula de retención de escape de la turbina de aire de alta temperatura
- 15 59: Sensor de presión (presión de salida de la válvula de retención de escape de la turbina de aire de alta temperatura)
- 60: Válvula de mariposa de derivación de la turbina de aire de alta temperatura
- 65: Regenerador
- 72: Sensor de temperatura (temperatura del líquido del tanque de medio de calor primario de alta temperatura)
- 20 75: Sensor de presión (presión de entrada de turbina de aire de alta temperatura)
- 76: Sensor de temperatura (temperatura de entrada de la turbina de aire de alta temperatura)
- 86: Primer compresor
- 88: Sensor de presión (presión de salida de primer compresor)
- 90: Primer inter-enfriador
- 25 93: Sensor de presión (presión de salida de segundo compresor)
- 94: Segundo compresor
- 100A: Sistema primario (dispositivo de acumulación/radiación de calor solar)
- 100B: Sistema primario (dispositivo de captación de calor solar)
- 104: Ventilador de enfriamiento
- 30 121: Sistema eléctrico interno
- 122: Disyuntor del segundo compresor
- 123: Unidad inversora del segundo motor de compresor
- 125: Segundo motor de compresor (segundo motor eléctrico)
- 129: Disyuntor de primer compresor
- 35 130: Unidad inversora de primer motor de compresor
- 132: Primer motor de compresor (motor eléctrico, primer motor eléctrico)
- 133: Unidad de control de salida de la turbina de aire de alta temperatura
- 145: Generador

168: Secador de aire

172: Unidad de eliminación de dióxido de carbono

200: Sistema secundario (dispositivo de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura)

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de generación de energía termo-solar que comprende:

un dispositivo de captación de calor solar (100B) que capta calor solar y de ese modo calienta sal fundida como un medio de calor primario;

5 un dispositivo de acumulación/radiación de calor solar (100A) que incluye un tanque de baja temperatura (5) que almacena sal fundida que se va a suministrar al dispositivo de captación de calor solar (100B), un tanque de alta temperatura (25) que almacena sal fundida a alta temperatura calentada por el dispositivo de captación de calor solar (100B), y un calentador de medio de calor secundario (47) que calienta un medio de calor secundario utilizando la sal fundida a alta temperatura suministrada desde el tanque de alta temperatura (25) como medio de calentamiento; y

10 un dispositivo (200) de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura, que incluye un compresor que genera aire comprimido como el medio de calor secundario al comprimir el aire tomado de la atmósfera a una presión prescrita, una turbina de aire de alta temperatura (56) que impulsa un generador (145) al absorber el aire comprimido calentado por el calentador de medio de calor secundario (47), y una línea (51, 53) conectada al calentador de medio de calor secundario (47) y la turbina de aire de alta temperatura (56), y una válvula de entrada (55) para ajustar el caudal del aire comprimido que fluye hacia la turbina de aire de alta temperatura (56); caracterizado por un motor eléctrico (132) que impulsa el compresor; y un inversor (130) que suministra energía al motor eléctrico (132), en el que el motor eléctrico (132) recibe el control de velocidad de revolución del inversor (130);

20 un sistema de derivación que conduce el aire comprimido, calentado por el calentador de medio de calor secundario (47), a un tubo colector de escape de la turbina de aire de alta temperatura mientras deriva la turbina de aire de alta temperatura (56), estando el sistema de derivación bifurcado desde la línea (51, 53);

una válvula de derivación (60) para ajustar el caudal del aire comprimido que fluye a través del sistema de derivación;

25 una unidad de control (133) que regula el caudal y la presión del aire comprimido que se introducirá en la turbina de aire de alta temperatura (56) a valores predeterminados ajustando los ángulos abiertos de la válvula de derivación (60) y la válvula de entrada (55).

2. El sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el dispositivo (200) de generación de energía de compresor/turbina de alta temperatura incluye:

30 un primer compresor (86) que comprime el aire tomado de la atmósfera;

un inter-enfriador (90) que enfría el aire comprimido descargado desde el primer compresor (86); y

un segundo compresor (94) que toma el aire comprimido enfriado por el inter-enfriador (90) y comprime el aire enfriado a una presión prescrita.

35 3. El sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, que comprende además un regenerador (65) que está dispuesto aguas arriba de un canal en el lado del medio de calor secundario del calentador del medio de calor secundario (47) y calienta el aire comprimido utilizando aire saliente de la turbina de aire de alta temperatura (56) como medio de calentamiento.

40 4. El sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que un secador (168), que seca el aire entrante eliminando el vapor de agua en el aire entrante, está dispuesto en el lado de entrada de aire del compresor o el primer compresor (86) para comprimir el aire tomado de la atmósfera.

5. El sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que una unidad de eliminación de dióxido de carbono (172), que elimina el dióxido de carbono del aire entrante, está dispuesta en el lado de entrada de aire del compresor o el primer compresor (86) para comprimir el aire tomado de la atmósfera.

6. El sistema de generación de energía termo-solar de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende:

45 un primer motor eléctrico (132) que impulsa el primer compresor (86);

un primer inversor (130) que suministra energía al primer motor eléctrico (132);

un segundo motor eléctrico (125) que impulsa el segundo compresor (94); y

un segundo inversor (123) que suministra energía al segundo motor eléctrico (125),

50 en el que el primer y segundo motores eléctricos (132, 125) reciben el control de velocidad de revolución de los primer y segundo inversores (130, 123), respectivamente.

FIG. 1

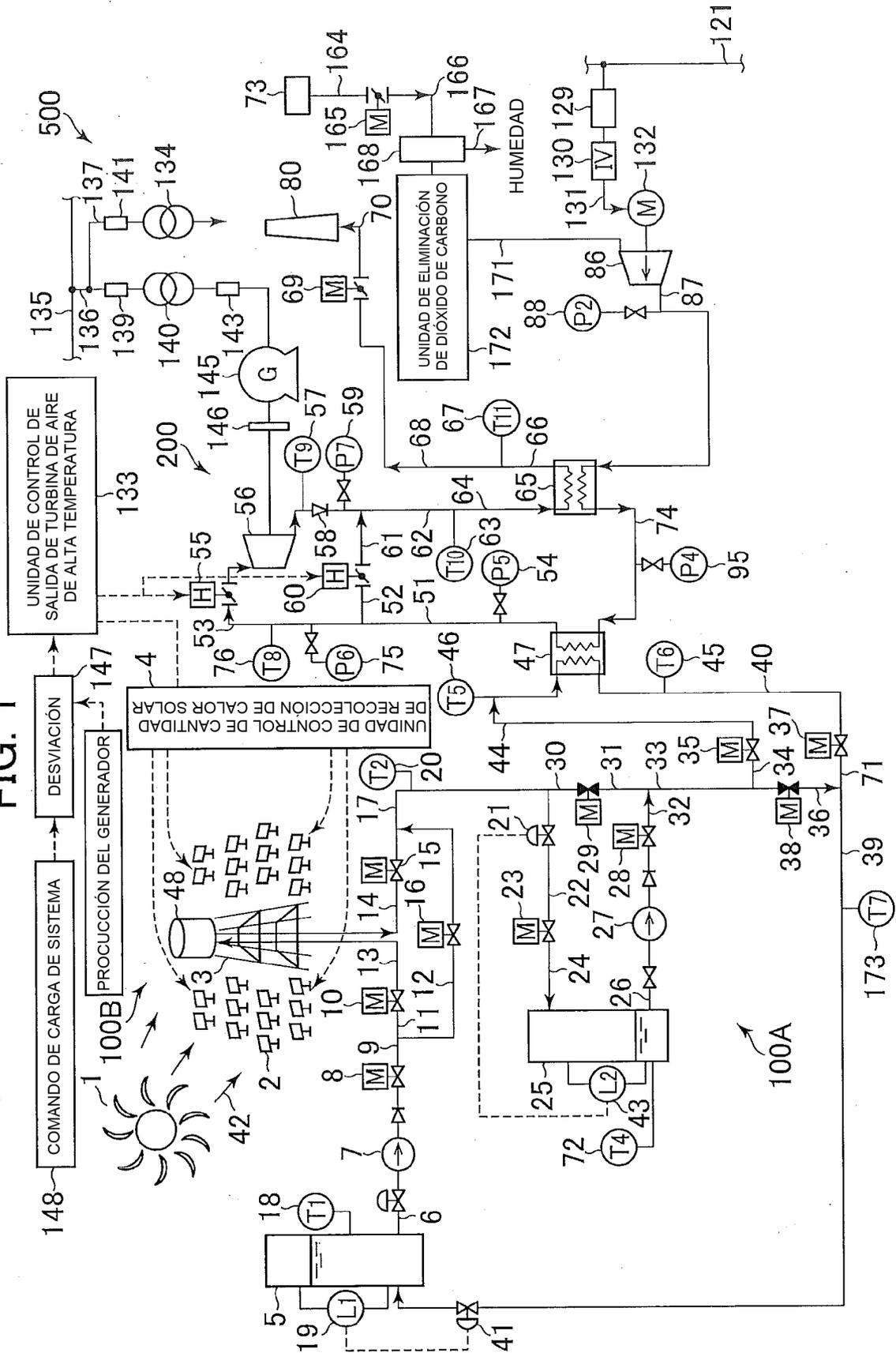


FIG. 2

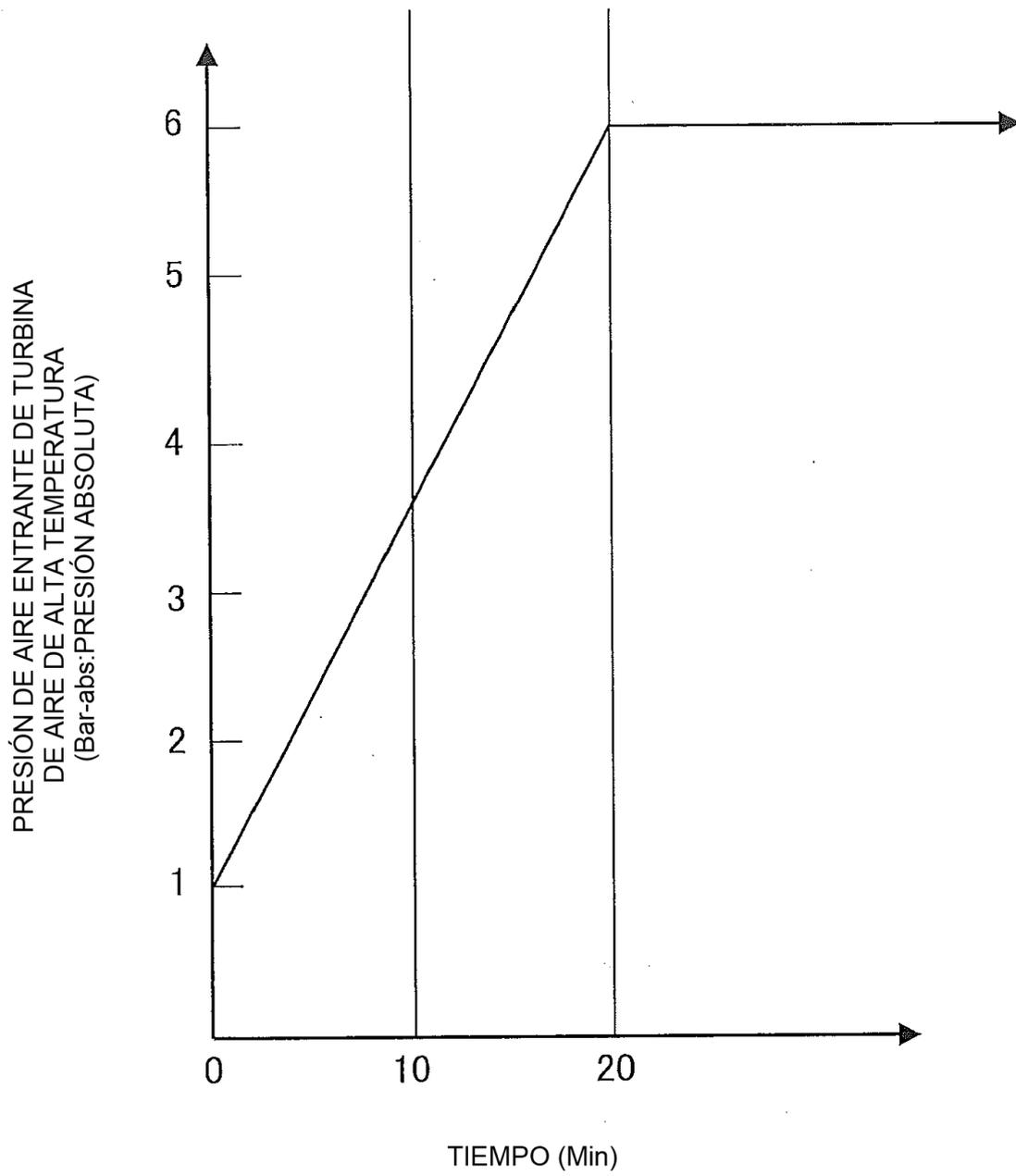


FIG. 3

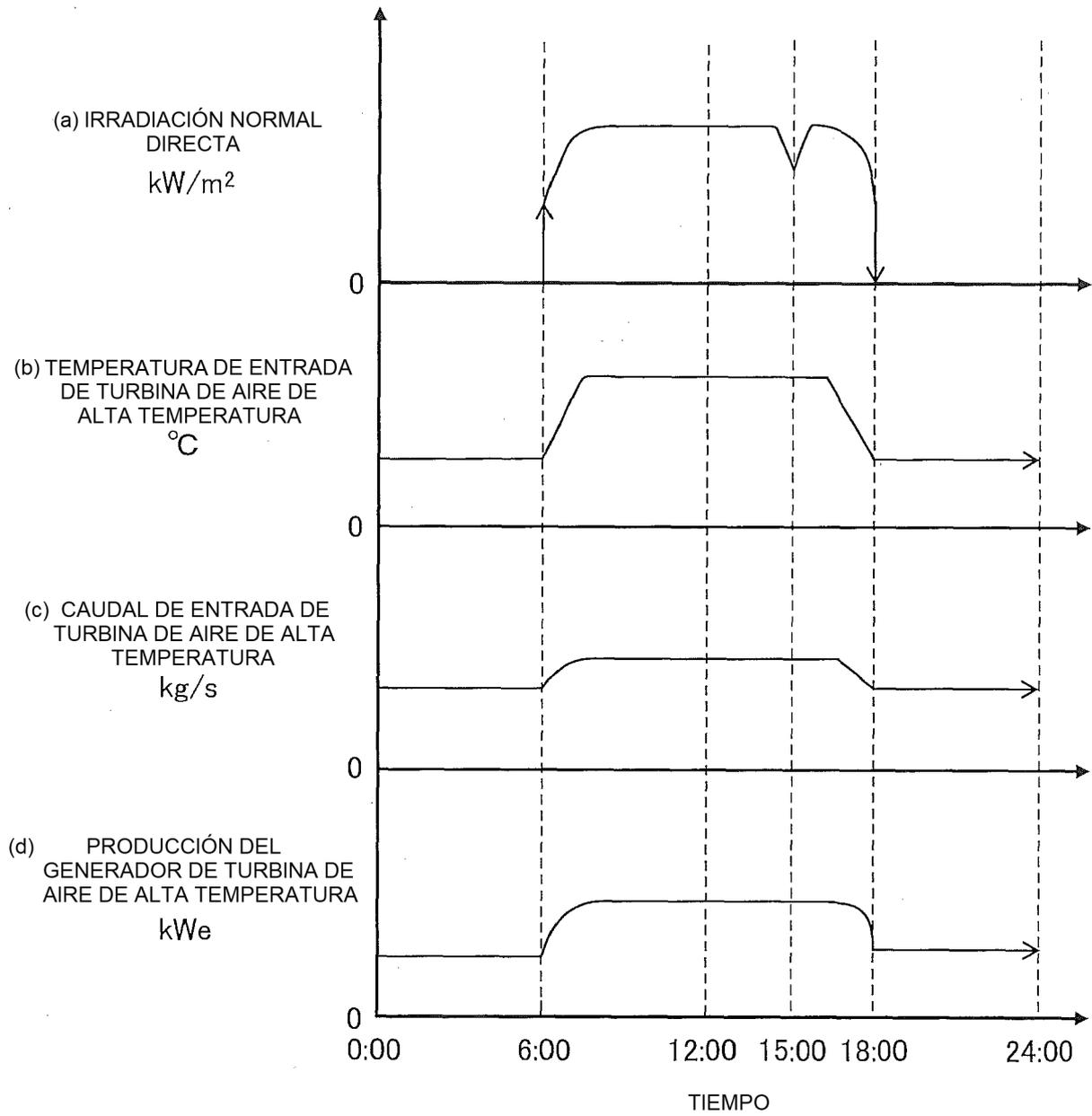


FIG. 4

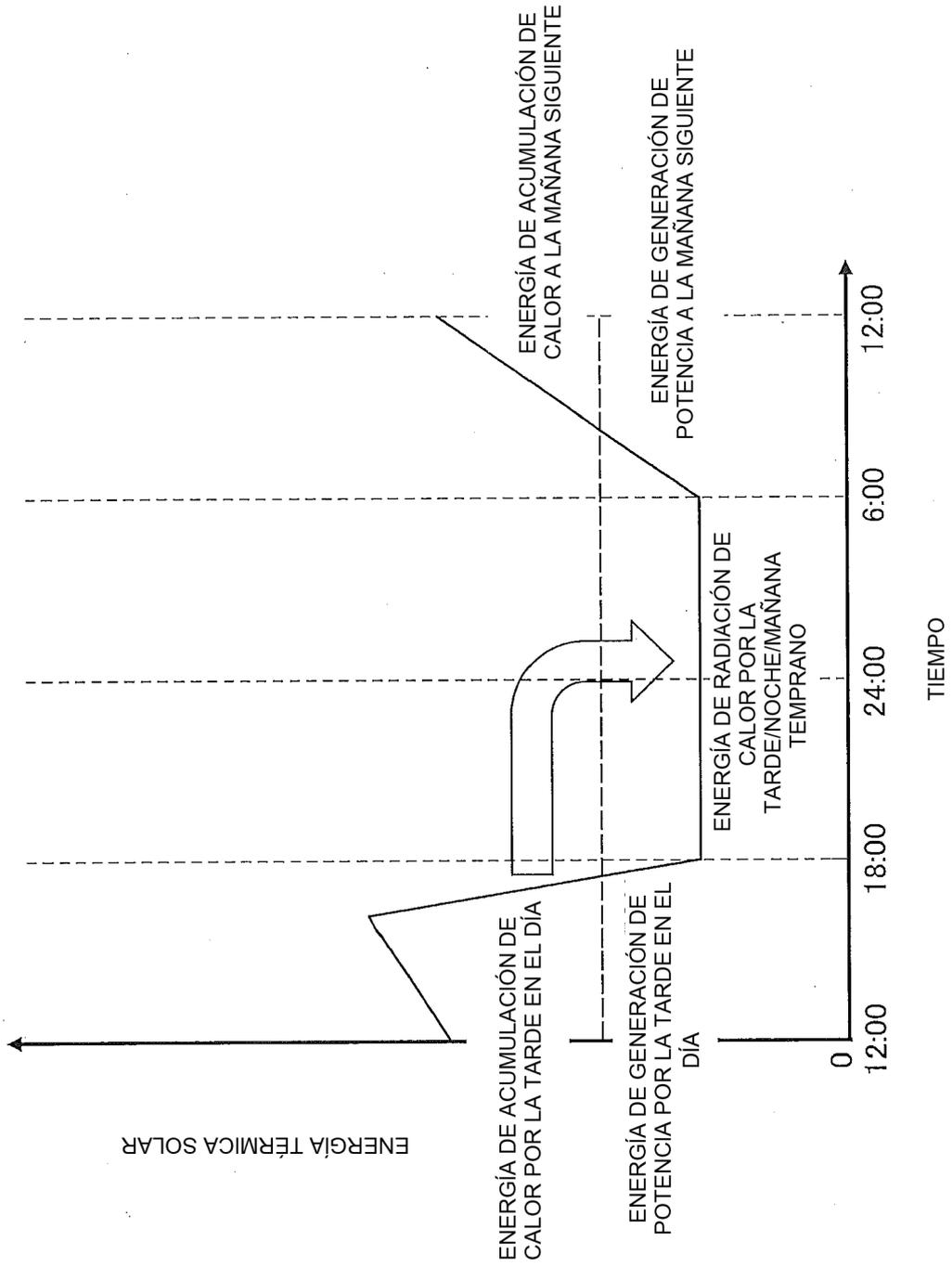


FIG. 5

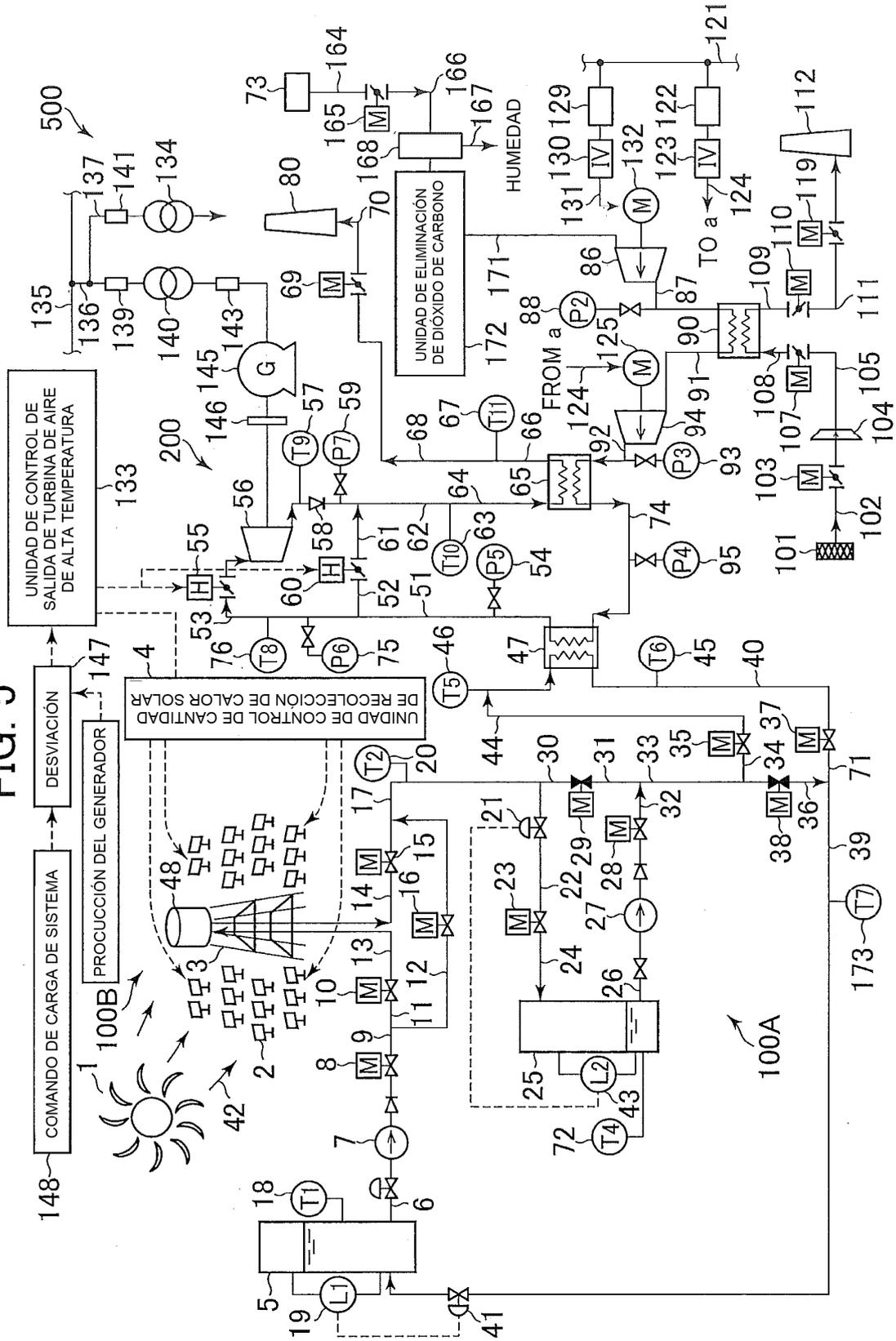


FIG. 6

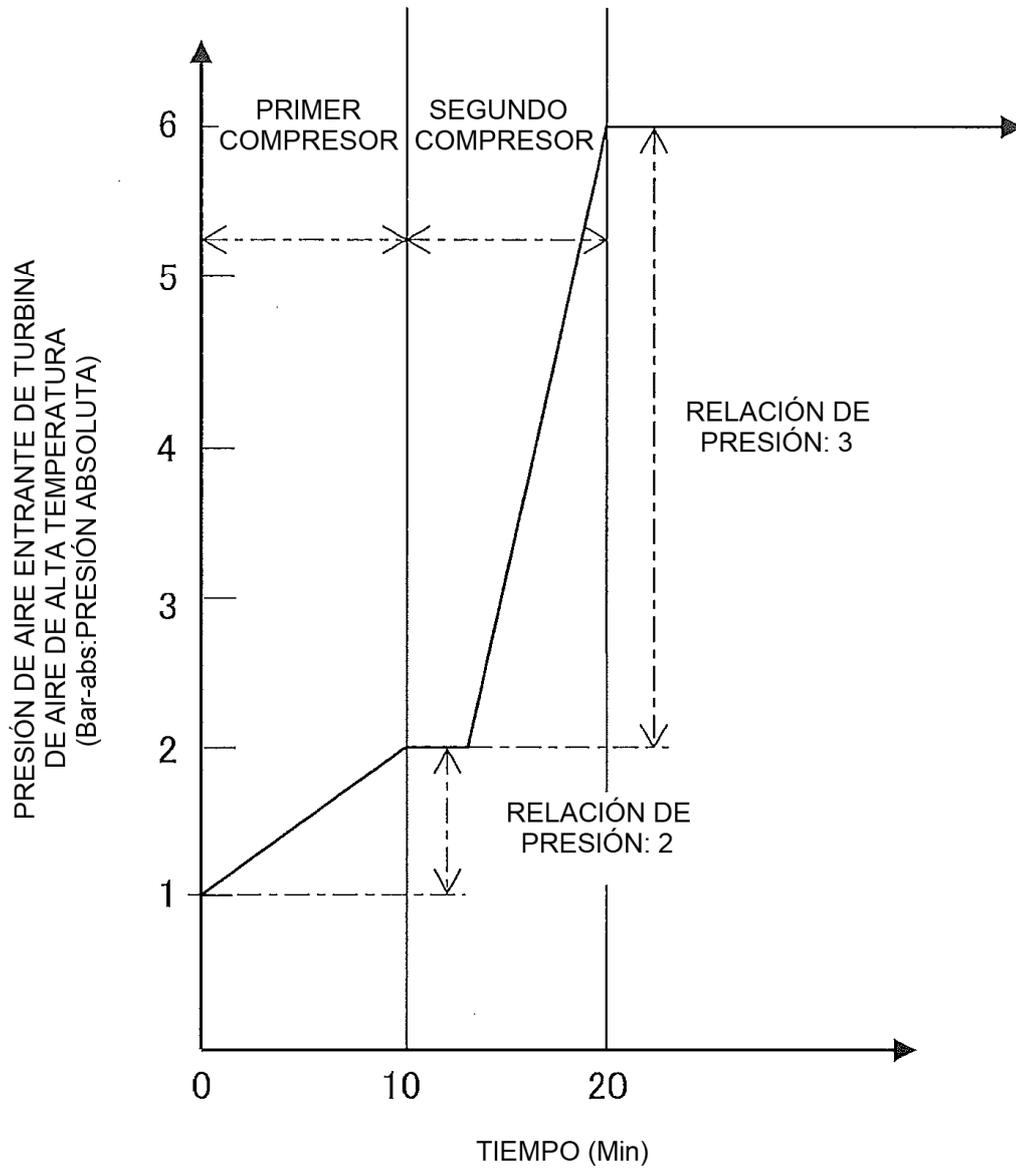
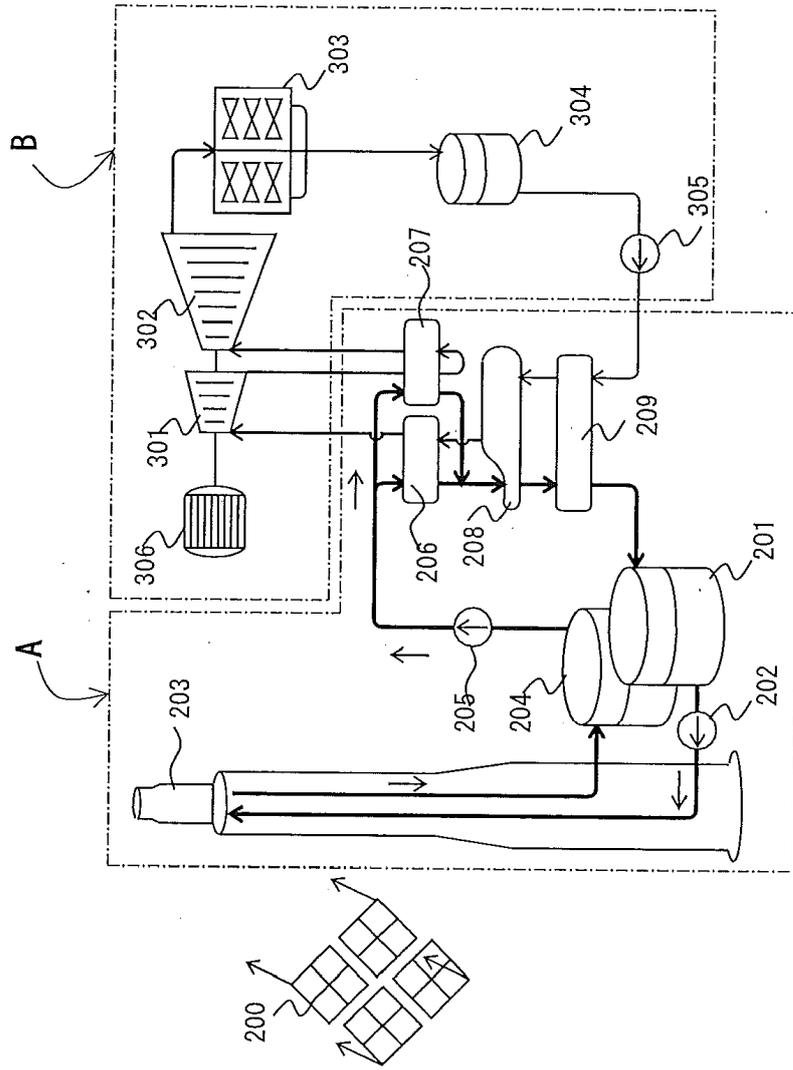


FIG. 7



TÉCNICA ANTERIOR