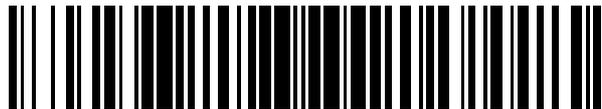


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 660 992**

51 Int. Cl.:

F02C 1/05 (2006.01)

F02C 7/10 (2006.01)

F03G 6/06 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2015 E 15179074 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.12.2017 EP 2980383**

54 Título: **Sistema generador solar/de turbina de aire**

30 Prioridad:

31.07.2014 JP 2014156841

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

27.03.2018

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;
OSADA, TOSHIYUKI y
NAGAFUCHI, NAOYUKI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 660 992 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 generador solar/de turbina de aire

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la Invención

La presente invención se refiere a un sistema generador solar/de turbina de aire según la reivindicación 1 y a un procedimiento operativo de dicho sistema según la reivindicación 7.

10

2. Descripción de la técnica relacionada

El documento JP-2011-7149-A describe un sistema generador solar que comprende: un compresor para comprimir aire para generar un fluido comprimido; un receptor solar para calentar el fluido comprimido por medio del calor solar para producir un fluido comprimido a alta temperatura; una turbina de gas para recibir el fluido comprimido a alta temperatura para obtener salida; y un generador conectado a la turbina de gas.

15

El receptor solar del sistema anterior se instala sobre una torre junto con una turbina de gas solar con el propósito de minimizar las longitudes de las tuberías de alta temperatura. Por esta razón, la torre requiere altos costes de construcción. El documento JP-2010-275997-A, por otra parte, describe una turbina de gas solar y un sistema generador solar/de turbina de gas en el que el compresor y la turbina están posicionados lejos uno del otro de manera que sea aplique una menor carga sobre la torre, reduciendo de esta manera los costes de construcción.

20

El documento de patente GB 2 006 878 A describe una planta que incluye un compresor y una turbina cuyo aire de trabajo es calentado haciéndolo pasar a través de un almacén de calor presurizado que contiene rocas o ladrillos, siendo calentados este último por aire que circula en un bucle que contiene un intercambiador de calor que recibe rayos de sol desde los espejos.

25

El documento de patente US 3 301 000 A se refiere a sistemas de refrigeración y, más particularmente, a mejoras en sistemas de control para unidades combinadas de refrigeración por compresión-absorción de vapor.

30

El documento de patente US 4 262 484 describe un medio de trabajo de una planta de energía con motor y turbina de gas que es calentado indirectamente mediante energía derivada de la radiación solar, en la que la planta de energía comprende medios de recogida de energía radiante, medios de recepción de energía radiante, medios de transferencia del calor de la energía radiante, un almacén de calor presurizado de capacidad relativamente grande y un motor de turbina de gas en el que el aire comprimido es calentado por la energía térmica en el almacén de calor.

35

El documento de patente US 6 349 551 B1 describe un sistema de energía termodinámica y de refrigeración criogénico que usa un primer fluido de trabajo y un segundo fluido de trabajo (binario) que tiene un ciclo inferior ("bottoming") cerrado de baja temperatura y un ciclo superior ("topping") abierto o cerrado.

40

SUMARIO DE LA INVENCION

En el sistema generador solar de JP-2011-7149-A, cuando no se obtiene suficiente luz solar, se usa una cámara de combustión auxiliar, situada entre el receptor solar y la turbina, para quemar combustible fósil, calentando de esta manera el fluido comprimido alimentado a la turbina hasta una temperatura particular. Esto significa que el equipo de suministro de combustible fósil es necesario para la cámara de combustión auxiliar, lo que a su vez incrementa los costes de construcción y los costes de generación de energía debidos al consumo de combustible fósil.

45

En el sistema generador solar/de turbina de gas del documento JP-2010-275997-A, el compresor 1 y el motor 7 de accionamiento de compresor están instalados en el suelo, y el receptor 2 solar, la turbina 3, el generador 4 y el recalentador 5 están todos ellos instalados en la parte superior de la torre T colectora solar. De esta manera, la carga aplicada sobre la torre T es menor que en el documento JP-2011-7149-A. Sin embargo, debido a que la turbina 3 y el generador 4 están instalados en la torre T, la operación de la turbina 3 puede volverse inestable. Existen también problemas con mayores costes de construcción de la base de la torre T y con la vibración durante la operación. Además, debido a que la fuerza del compresor 1 no es suministrada directamente desde el eje de la turbina, el motor 7 eléctrico de gran tamaño es necesario para accionar el compresor 1, lo que conduce a un aumento de los costes del equipo.

55

La presente invención se ha realizado en vista de lo indicado anteriormente, y un objeto de la invención es proporcionar un sistema generador solar/de turbina de aire que reduzca los costes de construcción y de generación de energía y que no requiera el uso de combustible fósil.

60

Esta aplicación ofrece varios medios para resolver los problemas, y uno de ellos es un sistema generador solar/de

turbina de aire que comprende: un compresor para aspirar y comprimir aire; un receptor solar para calentar el aire comprimido por el compresor con el uso del calor solar recogido por un colector solar; una turbina de aire para accionar el compresor y un generador mediante la recepción del aire comprimido calentado por el receptor solar; un intercambiador de calor regenerativo, situado aguas abajo del compresor y aguas arriba del receptor solar, para calentar el aire comprimido por el compresor usando el escape de la turbina de aire como un medio de calentamiento; y/o un dispositivo de distribución, situado aguas abajo del compresor y aguas arriba del intercambiador de calor regenerativo, para distribuir el aire comprimido por el compresor al lado del intercambiador de calor regenerativo y al lado de derivación, en el que el lado de derivación es el lado de entrada de la turbina de aire. El sistema generador solar/de turbina de aire incluye además un dispositivo de control para mantener la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire a un valor constante mediante el ajuste del caudal del escape de la turbina de aire que fluye al interior del intercambiador de calor regenerativo como un medio de calentamiento.

La invención proporciona un sistema generador solar/de turbina de aire que reduce los costes de construcción y de generación de energía y no requiere el uso de combustible fósil.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 ilustra la estructura de un sistema generador solar/de turbina de aire según una realización de la invención;

La Figura 2A es un gráfico que ilustra el arranque del compresor del sistema generador solar/de turbina de aire;

La Figura 2B es un gráfico que ilustra el arranque del compresor que constituye una turbina de gas convencional;

La Figura 3A es un gráfico que ilustra los cambios en la temperatura ambiente, la temperatura del aire a alta temperatura de la entrada de la turbina y la intensidad de la luz solar para explicar el funcionamiento del sistema generador solar/de turbina de aire en respuesta a los cambios del tiempo meteorológico a lo largo de un día;

La Figura 3B es un gráfico que ilustra los cambios en el caudal de derivación de refrigerante y el caudal de aire de derivación del intercambiador de calor regenerativo para explicar la operación del sistema generador solar/de turbina de aire en respuesta a los cambios del tiempo meteorológico a lo largo de un día; y

La Figura 3C es un gráfico que ilustra los cambios en la salida del generador, el caudal de aire del lado del colector solar y el caudal de aire del lado de derivación del colector solar para explicar la operación del sistema generador solar/de turbina de aire en respuesta a los cambios del tiempo meteorológico a lo largo de un día.

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

A continuación, se describirá un sistema generador solar/de turbina de aire según una realización de la invención.

Todos los componentes principales que constituyen el sistema generador solar/de turbina de aire están instalados en el suelo, excepto un colector solar (receptor solar), que está instalado en la parte superior de una torre.

El sistema comprende los siguientes componentes hacia el receptor solar instalado sobre la torre: múltiples espejos reflectantes para reflejar la luz solar sobre el receptor solar; un compresor; un generador solar/de turbina de aire en el que están conectados una turbina de aire y un generador; un refrigerador para enfriar el aire aspirado por el compresor; un intercambiador de calor regenerativo para calentar adicionalmente el aire a la salida del compresor; un inversor para usar el generador solar/de turbina de aire como un motor eléctrico durante el arranque. Con el uso de la energía eléctrica extraída del generador solar/de turbina de aire, la electricidad puede ser generada de manera rentable y estable a partir del calor solar, independientemente de los cambios del tiempo meteorológico a lo largo de un día y sin descargar ningún gas de combustión dañino de combustible fósil.

Parte de la energía generada por el generador solar/de turbina de aire es extraída desde un sistema eléctrico en planta, y un refrigerador de refrigerante (por ejemplo, un refrigerador centrífugo) es accionado para generar agua de refrigeración. Mediante esta agua de refrigeración que fluye al interior del refrigerador de aire, se enfría el aire aspirado por el compresor.

El aire de salida del compresor es distribuido según las condiciones climáticas, con el uso de un dispositivo de distribución de aire de tres vías para distribuir el aire a presión media y a temperatura media en la salida del compresor al lado del receptor solar y al lado del receptor solar. La distribución del aire es controlada en base al tiempo transcurrido desde la salida del sol y el tiempo meteorológico a lo largo de ese día. Además, se usa una válvula de ajuste de caudal de refrigerante de tres vías para controlar el caudal de refrigerante al refrigerador de aire en respuesta a un cambio de la temperatura ambiente y de la intensidad de la luz solar con los cambios del tiempo meteorológico, controlando de esta manera las disminuciones en la temperatura del aire en la entrada del compresor. Al hacer esto, la temperatura del aire a alta temperatura en la entrada de la turbina de aire se mantiene indirectamente a un valor constante.

El intercambiador de calor regenerativo se proporciona en la salida del compresor con el fin de calentar adicionalmente

el aire a temperatura media en la salida del compresor para obtener aire a alta temperatura. El aire a temperatura media en la salida del compresor es calentado por el aire de escape de la turbina de aire.

El aire de escape de la turbina de aire es dirigido a un sistema de flujo de entrada del intercambiador de calor regenerativo y a un sistema de derivación del intercambiador de calor regenerativo. El caudal de aire de derivación es controlado por una válvula de ajuste del caudal de aire de derivación de tres vías provista en el sistema de derivación del intercambiador de calor regenerativo. Esto permite que la temperatura de entrada de la turbina de aire se mantenga de manera indirecta a un valor constante sin que se vea influenciada por los cambios del tiempo meteorológico, consiguiendo de esta manera la salida eléctrica y una operación segura de la turbina de aire.

Antes de que el calor solar o la cantidad de calor recogido supere una cantidad máxima permisible, o cuando la temperatura de entrada a la turbina supera un valor determinado, se activa un controlador de caudal de recolección solar para cambiar el ángulo de reflexión de un aparato de reflexión solar para dirigir la luz solar lejos del receptor solar. Al hacer esto, la cantidad de calor solar recogida se reduce, la temperatura de entrada de la turbina de aire se mantiene a un valor constante, y se previene que la salida de la turbina de aire supere su cantidad de salida máxima permitida.

A continuación, se proporciona una descripción adicional con referencia a los dibujos adjuntos.

La Figura 1 ilustra la estructura de un sistema generador solar/de turbina de aire según una realización de la invención. Tal como se ilustra en la Figura 1, el sistema generador solar/de turbina de aire incluye un aparato 100 generador/compresor de turbina de gas, un controlador 200 de la temperatura de entrada de la turbina de aire, un colector 300 solar, un aparato 400 refrigerador centrífugo y un sistema 500 eléctrico en planta.

El aparato 100 generador/compresor de turbina de gas incluye los siguientes componentes: un compresor 1 para comprimir el aire suministrado desde el aparato 400 refrigerador centrífugo; una turbina 2 de aire accionada por el aire a alta temperatura suministrado desde el colector 300 solar; y un generador 3 que genera energía eléctrica cuando es accionado por la turbina 2 de aire y funciona como un motor cuando recibe energía eléctrica desde el sistema 500 eléctrico en planta a través de un inversor 64. El compresor 1 y la turbina 2 de aire están conectados por un eje giratorio común. La turbina 2 de aire y el generador 3 están conectados también por ejes giratorios, pero pueden conectarse o desconectarse de manera selectiva mediante un conector 28 de eje. El conector 28 de eje puede ser un embrague o un convertidor de par, por ejemplo. En la presente realización, se usa un embrague SSS como el conector 28 de eje.

El controlador 200 de la temperatura de entrada de la turbina de aire incluye los siguientes componentes: un tubo 44 de salida del compresor, un extremo del cual está conectado a la salida del compresor 1; un intercambiador 45 de calor regenerativo al cual está conectado el otro extremo del tubo 44 de salida del compresor y que eleva la temperatura del aire comprimido suministrado desde el compresor 1; un tubo 46 de salida del intercambiador de calor regenerativo para dirigir el aire comprimido calentado por el intercambiador 45 de calor regenerativo al colector 300 solar; un tubo 56 de salida de la turbina de aire, un extremo del cual está conectado a la salida de la turbina 2 de aire; un tubo 57 de derivación del intercambiador de calor regenerativo, conectado a una de las secciones de bifurcación situadas en el otro extremo del tubo 56 de salida de la turbina de aire, para descargar el escape a la atmósfera mediante la derivación del intercambiador 45 de calor regenerativo; un tubo 58 de entrada del intercambiador de calor regenerativo del lado de la salida de la turbina de aire, conectado a la otra sección de bifurcación del tubo 56 de salida de la turbina de aire, para dirigir el escape al intercambiador 45 de calor regenerativo como un medio de calentamiento; y una válvula 35 de derivación del intercambiador de calor regenerativo, situada en el tubo 57 de derivación del intercambiador de calor regenerativo, para ajustar el caudal del escape que circunvala el intercambiador 45 de calor regenerativo.

Hay provisto un sensor 22 de temperatura en el tubo 44 de salida del compresor para detectar la temperatura del aire en la salida del compresor 1. De manera similar, hay provisto un sensor 23 de temperatura en el tubo 46 de salida del intercambiador de calor regenerativo para detectar la temperatura del aire en la salida del intercambiador 45 de calor regenerativo, y hay provisto un sensor 21 de temperatura en el tubo 56 de salida de la turbina de aire para detectar la temperatura del aire en la salida de la turbina 2 de aire. Las señales de temperatura obtenidas por estos sensores 21 a 23 son introducidas a un controlador 90 de la temperatura del aire de salida del intercambiador de calor regenerativo, descrito más adelante.

El controlador 200 de la temperatura de entrada de la turbina de aire incluye los siguientes componentes: una válvula 38 de mariposa de distribución de aire de tres vías para distribuir aire comprimido al intercambiador 45 de calor regenerativo y a la turbina 2 de aire (lado de derivación); un tubo 55 de aire a alta temperatura de entrada de turbina de aire, un extremo del cual está conectado a la entrada de la turbina 2 de aire; y un tubo 54 de salida de la válvula de mariposa de derivación del colector solar, un extremo del cual está conectado al otro extremo del conducto 55 de aire a alta temperatura de entrada de la turbina de aire y el otro extremo del cual está conectado al tubo 44 de salida del

compresor a través de la válvula 38 de mariposa de distribución de aire de tres vías.

Hay provisto un sensor 18 de temperatura en el tubo 55 de aire a alta temperatura de la entrada de la turbina de aire para detectar la temperatura del aire en la entrada de la turbina 2 de aire. De manera similar, hay provisto un sensor 20 de temperatura en el tubo 54 de salida de la válvula de mariposa de derivación del colector solar para detectar la temperatura del aire de derivación del colector solar. Una señal de temperatura obtenida por el sensor 20 de temperatura es introducida a un controlador 37 de distribución de aire comprimido y a un controlador 91 de captación solar mientras que una señal de temperatura obtenida por el sensor 18 de temperatura es introducida al controlador 37 de distribución de aire comprimido, al controlador 90 de la temperatura del aire de salida del intercambiador de calor regenerativo, al controlador 91 de captación solar y a un controlador 17 de la temperatura del aire de salida del refrigerador de aire.

El controlador 200 de la temperatura de entrada de la turbina de aire incluye también el controlador 37 de distribución de aire comprimido que ajusta la cantidad de distribución del aire comprimido desde el compresor 1 al lado del colector solar y al lado de derivación mediante el control de la válvula 38 de mariposa de distribución de aire de tres vías. El controlador 200 de la temperatura de entrada de la turbina de aire incluye además el controlador 90 de la temperatura del aire de salida del intercambiador de calor regenerativo que ajusta la temperatura del aire de entrada de la turbina 2 de aire a un valor constante mediante el control del grado de apertura de la válvula 35 de derivación del intercambiador de calor regenerativo.

El colector 300 solar incluye los siguientes componentes: una válvula 47 de mariposa de entrada del colector solar provista en un tubo 46 de salida del intercambiador de calor regenerativo; un receptor 29 solar instalado sobre una torre 30; un tubo 48 de aire de entrada a la torre, un extremo del cual está conectado a la salida de la válvula 47 de mariposa de entrada del colector solar y el otro extremo del cual está conectado a la entrada del receptor 29 solar; un reflector 32 solar para reflejar la luz 33 solar emitida desde el sol 31 usando espejos reflectantes y concentrar la luz 34 reflejada resultante sobre el receptor 29 solar para aumentar la temperatura del aire; y un pirheliómetro 39 para medir la intensidad de la luz solar.

El colector 300 solar incluye también los siguientes componentes: un tubo 49 de aire de salida de la torre, un extremo del cual está conectado a la salida del receptor 29 solar; un tubo 50 de aire del lado de la turbina de aire de la salida de la torre, un extremo del cual está conectado a una de las secciones de bifurcación en el otro lado del tubo 49 de aire de salida de la torre y el otro extremo del cual está conectado al tubo 54 de salida de la válvula de mariposa de la derivación del colector solar, una válvula 52 de mariposa de salida del colector solar provista en tubo 50 de aire del lado de la turbina de aire de salida de la torre; un tubo 51 de alivio de presión de aire de salida de torre de alta presión conectado a la otra sección de bifurcación en el otro lado del tubo 49 de aire de salida de la torre para descargar a la atmósfera el aire presurizado de manera anormal; y una válvula 27 de ajuste de alivio de presión de aire, provista en el tubo 51 de alivio de presión de aire de salida de la torre de alta presión, para liberar presión cuando el aire en el interior del tubo aumenta de manera anormal. Una señal de luz solar obtenida por el pirheliómetro 39 es introducida al controlador 90 de la temperatura del aire de salida del intercambiador de calor regenerativo.

Instalados dentro del tubo 50 de aire del lado de la turbina de aire de salida de la torre hay un sensor 19 de temperatura para detectar la temperatura del aire en la salida del colector solar y un sensor 25 de presión para detectar la presión del aire en el interior del tubo. Una señal de presión de aire de salida del colector solar obtenida por el sensor 25 de presión es introducida a un controlador 26 de alivio de presión de aire, que se describe más adelante. Una señal de temperatura obtenida por el sensor 19 de temperatura es introducida al controlador 37 de distribución de aire comprimido y al controlador 91 de captación solar, descrito más adelante.

El colector 300 solar incluye, además: el controlador 91 de captación solar para controlar el ángulo de reflexión del reflector 32 solar para ajustar la cantidad de combustible suministrada a la turbina 2 de aire; y el controlador 26 de alivio de presión de aire para controlar la válvula 27 de ajuste de alivio de presión de aire cuando el aire 50 en el interior del tubo 50 de aire del lado de la turbina de aire de salida de la torre aumenta de manera anormal.

El aparato 400 refrigerador centrífugo incluye los siguientes componentes: un refrigerador 4 de aire que tiene una bobina de refrigeración en la que fluye un refrigerante y un túnel de viento; un túnel 41 de viento de entrada del refrigerador de aire, un extremo del cual está conectado a la entrada de aire del refrigerador 4 de aire y el otro extremo del cual conduce a una entrada 40 de aire; un túnel 42 de viento de salida del refrigerador de aire, un extremo del cual está conectado a la salida de aire del refrigerador 4 de aire y el otro extremo del cual está conectado a la salida del compresor 1; y una válvula 43 de mariposa de entrada del compresor, provista en el túnel 42 de viento de salida del refrigerador de aire, que está semiabierto para la operación del compresor estrangulado cuando se arranca el compresor 1 y está completamente abierto cuando se alcanza la velocidad de rotación nominal.

Hay provisto un sensor 24 de temperatura en el túnel 41 de aire de entrada del refrigerador de aire para detectar la

temperatura del aire en la entrada del refrigerador de aire mientras que hay provisto un sensor 16 de temperatura en el túnel 42 de viento de salida del refrigerador de aire para detectar la temperatura del aire en la salida del refrigerador de aire Las señales de temperatura obtenidas por estos sensores 24 y 16 son introducidas al controlador 17 de la temperatura del aire de salida del refrigerador de aire, descrito más adelante.

5 El aparato 400 refrigerador centrífugo incluye también:
 un tubo 10 de retorno de refrigerante, un extremo del cual está conectado a la salida de refrigerante de la bobina de refrigeración del refrigerador 4 de aire; una válvula 11 de entrada de la bomba de circulación de refrigerante provista en el tubo 10 de retorno de refrigerante; una bomba 5 de circulación de refrigerante a la cual está conectado el otro extremo del tubo 10 de retorno de refrigerante para hacer circular el refrigerante; un tubo 14 refrigerante de retorno del refrigerador centrífugo, un extremo del cual está conectado a la salida de la bomba 5 de circulación de refrigerante y a lo largo del cual hay provistas una válvula 12 de retención y una válvula 13 de salida; un refrigerador 6 centrífugo al cual está conectado el otro extremo del tubo 14 refrigerante de retorno del refrigerador centrífugo para enfriar el refrigerante; y un tubo 15 refrigerante de salida del refrigerador centrífugo, un extremo del cual está conectado a la salida del refrigerador 6 centrífugo. Hay provisto un sensor 84 de temperatura en el tubo 14 refrigerante de retorno del refrigerador centrífugo para detectar la temperatura del refrigerante en la entrada del refrigerador centrífugo mientras que hay provisto un sensor 83 de temperatura en el tubo 15 refrigerante de salida del refrigerador centrífugo para detectar la temperatura del refrigerante en la salida del refrigerador centrífugo. Las señales de temperatura obtenidas por estos sensores 84 y 83 son introducidas al controlador 17 de la temperatura del aire de salida del refrigerador de aire, descrito más adelante.

25 El aparato 400 refrigerador centrífugo incluye, además: una válvula 7 de ajuste de flujo de refrigerante de tres vías, cuya entrada está conectada al otro extremo del tubo 15 refrigerante de salida de refrigerador centrífugo; un tubo 8 de suministro de refrigerante, un extremo del cual está conectado a una de las salidas de la válvula 7 de ajuste de flujo de refrigerante de tres vías y el otro extremo del cual está conectado a la entrada de refrigerante de la bobina de refrigeración del refrigerador 4 de aire; y un tubo 9 de derivación de refrigerante, un extremo del cual está conectado a otra salida de la válvula 7 de ajuste de flujo de refrigerante de tres vías y el otro extremo del cual está conectado al otro extremo del tubo 10 de retorno de refrigerante.

35 El aparato 400 refrigerador centrífugo incluye además el controlador 17 de temperatura de aire de salida del refrigerador de aire que controla el grado de apertura de la válvula 7 de ajuste de flujo de refrigerante de tres vías de manera que la temperatura del aire en la salida del refrigerador 4 de aire se mantenga a una temperatura determinada.

El sistema 500 eléctrico en planta incluye los siguientes componentes: un circuito 70 principal de salida del generador, un extremo del cual está conectado al extremo de salida del generador 3; un disyuntor 66 de derivación de inversor al cual está conectado el otro extremo del circuito 70 principal de salida del generador; un disyuntor 65 de salida de inversor al cual está conectado el otro extremo del circuito 70 principal de salida del generador; un inversor 64, situado aguas arriba del disyuntor 65 de salida del inversor, para convertir la energía eléctrica desde el sistema eléctrico en energía de frecuencia variable para causar que el generador 3 funcione como un motor de accionamiento para la turbina 2 de aire; un disyuntor 63 de entrada de inversor, situado aguas arriba del inversor 64, para conectar/desconectar el sistema eléctrico a/desde el inversor 64; un disyuntor 66 de derivación de inversor que circunvala el inversor 64 para conectar el sistema eléctrico y el generador 3 durante el funcionamiento normal; un circuito 71 del lado de baja tensión del transformador principal, un extremo del cual está conectado al lado aguas arriba del disyuntor 63 de entrada de inversor y el lado de aguas arriba del disyuntor 66 de derivación de inversor y el otro extremo del cual está conectado al lado de baja tensión de un transformador 62 principal; el transformador 62 principal para aumentar la tensión de salida del generador 3 hasta la tensión del sistema eléctrico; un disyuntor 61 principal, situado en el lado de alta tensión del transformador 62 principal, para conectar o desconectar el generador 3 a/desde un sistema 75 externo; y un disyuntor 60 del sistema, situado aguas arriba del disyuntor 61 principal, para conectar o desconectar el disyuntor 61 principal a/desde el sistema 75 externo.

55 El sistema 500 eléctrico en planta incluye también: un disyuntor 67 de transformador en planta, conectado al circuito entre el disyuntor 60 del sistema y el disyuntor 61 principal, para conectar o desconectar un suministro de energía en planta a/desde el sistema 75 externo; un circuito 68 del lado de alta tensión del transformador en planta, uno de cuyos extremos está conectado al lado aguas abajo del disyuntor 67 del transformador en planta y el otro extremo del cual está conectado al lado de alta tensión de un transformador 69 en planta; el transformador 69 en planta para reducir la tensión del sistema a la tensión del suministro de energía en planta; un circuito 80 auxiliar en planta conectado al lado de baja tensión del transformador 69 en planta; y un disyuntor 81 de refrigerador centrífugo para conectar o desconectar el circuito 80 auxiliar en planta a/desde el refrigerador 6 centrífugo del aparato 400 refrigerador centrífugo.

A continuación, se describen, con referencia a la Figura 1, el flujo y el comportamiento de cada medio de calentamiento

en el sistema generador solar/de turbina de aire.

5 En el aparato 400 refrigerador centrífugo, el aire aspirado desde la entrada 40 de aire pasa a través del túnel 41 de aire de entrada del refrigerador de aire para alcanzar el refrigerador 4 de aire, donde es enfriado por el refrigerante que fluye a través de la bobina de refrigeración. El sensor 24 de temperatura detecta la temperatura del aire de entrada del refrigerador de aire, y el sensor 16 de temperatura detecta la temperatura del aire de salida del refrigerador de aire, o la temperatura del aire refrigerado.

10 El refrigerador 6 centrífugo recibe la energía eléctrica del circuito 80 auxiliar en planta, cuya tensión es reducida por el transformador 69 en planta, desde el sistema 75 externo a través del disyuntor 81 de refrigerador centrífugo. El refrigerador 6 centrífugo recibe también el refrigerante calentado descargado desde el tubo 10 de retorno de refrigerante del refrigerador 4 de aire por la bomba 5 de circulación de refrigerante. El refrigerador 6 centrífugo enfría este refrigerante con el uso de la energía eléctrica y lo dirige a la válvula 7 de ajuste de flujo de refrigerante de tres vías a través del tubo 15 de refrigerante de salida del refrigerador centrífugo. La válvula 7 de ajuste de flujo de refrigerante de tres vías distribuye el refrigerante al tubo 8 de suministro de refrigerante y al tubo 9 de derivación de refrigerante para controlar el caudal del refrigerante que entra al refrigerador 4 de aire y el caudal del refrigerante de derivación, controlando de esta manera la temperatura del aire de salida del refrigerador de aire detectada por el sensor 16 de temperatura.

20 El controlador 17 de la temperatura del aire de salida del refrigerador de aire lee la señal de temperatura del aire de entrada del refrigerante de aire obtenido por el sensor 24 de temperatura, la señal de temperatura de aire de la entrada de la turbina de aire obtenida por el sensor 18 de temperatura, la señal de temperatura del aire de salida del refrigerador de aire obtenida por el sensor 16 de temperatura, la señal de temperatura del refrigerante de salida del refrigerador centrífugo obtenida por el sensor 83 de temperatura, y la señal de temperatura del refrigerante de entrada del refrigerador centrífugo obtenida por el sensor 84 de temperatura para calcular una señal de control que permite que la temperatura del aire de entrada de la turbina 2 de aire sea mantenida a un valor constante independientemente de un cambio en la temperatura ambiente. Al introducir esta señal de control a la válvula 7 de ajuste de flujo de refrigerante de tres vías, se realiza un control de distribución sobre el caudal del refrigerante.

30 El aire refrigerado por el refrigerador 4 de aire del aparato 400 refrigerador centrífugo es suministrado al compresor 1 a través del túnel 42 de viento de salida del refrigerador de aire y la válvula 43 de mariposa de entrada del compresor. Cuando se arranca el compresor 1, la válvula 43 de mariposa de entrada del compresor está medio abierta para reducir la presión de entrada del compresor. Esto lo realiza un controlador, no ilustrado, que detecta la presión de entrada y la presión de salida del compresor 1 y de manera que la relación de presión de la presión de entrada a la presión de salida no toque la línea de compensación del compresor 1. Una vez que la velocidad de rotación del compresor 1 alcanza la velocidad de rotación nominal, la válvula 43 de mariposa de entrada del compresor se abre completamente.

40 En el controlador 200 de la temperatura de entrada de la turbina de aire, el aire de refrigeración descargado desde la válvula 43 de mariposa de entrada del compresor entra al compresor 1, donde es comprimido para convertirse en aire a presión media y a temperatura media. A continuación, el aire fluye a través del tubo 44 de salida del compresor. Con la válvula 38 de mariposa de distribución de aire de tres vías, la mayor parte del aire fluye al interior del intercambiador 45 de calor regenerativo, y parte del mismo fluye al interior del tubo 54 de salida de la válvula de mariposa de derivación del colector solar.

45 El aire a temperatura media y presión media que fluye al interior del intercambiador 45 de calor regenerativo es sometido a un intercambio de calor con el aire a baja presión y alta temperatura (medio de calentamiento) descargado desde la turbina 2 de aire y de esta manera es calentado. El aire comprimido calentado en el intercambiador 45 de calor regenerativo es suministrado al colector 300 solar a través del tubo 46 de salida del intercambiador de calor regenerativo.

50 El aire a baja presión y alta temperatura descargado desde la turbina 2 de aire fluye al interior del tubo 58 de entrada del intercambiador de calor regenerativo del lado de la salida de la turbina de aire y al tubo 57 de derivación del intercambiador de calor regenerativo a través del tubo 56 de salida de la turbina de aire. El aire a baja presión y alta temperatura que fluye al interior del tubo 58 de entrada del intercambiador de calor regenerativo del lado de la salida de la turbina de aire fluye al interior del intercambiador 45 de calor regenerativo, es sometido a intercambio de calor con el aire comprimido y finalmente es descargado a la atmósfera. Por otra parte, el aire a baja presión y alta temperatura que fluye al interior del tubo 57 de derivación del intercambiador de calor regenerativo es descargado directamente a la atmósfera. La cantidad de descarga de este último viene determinada por el grado de apertura de la válvula 35 de derivación del intercambiador de calor regenerativo.

60 El controlador 90 de la temperatura del aire de salida del intercambiador de calor regenerativo, que controla el grado de apertura de la válvula 35 de derivación del intercambiador de calor regenerativo, lee la señal de luz solar obtenida por

el pirheliómetro 39, la señal de temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire obtenida por el sensor 18 de temperatura, la señal de temperatura del aire de salida de la turbina de aire obtenida por el sensor 21 de temperatura, la señal de temperatura del aire de salida del compresor obtenida por el sensor 22 de temperatura, y la señal de temperatura del aire de salida del intercambiador de calor regenerativo obtenida por el sensor 23 de temperatura para calcular una señal de control del grado de apertura para la válvula 35 de derivación del intercambiador de calor regenerativo, lo que permite que la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire sea mantenida a un valor constante incluso cuando cambia la señal de la luz solar. Usando la señal de control calculada para controlar la válvula 35 de derivación del intercambiador de calor regenerativo, la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire se mantiene a un valor constante incluso si la señal de la luz solar cambia bruscamente.

En el colector 300 solar, el aire calentado en el intercambiador 45 de calor regenerativo fluye a través del tubo 46 de salida del intercambiador de calor regenerativo y la válvula 47 de mariposa de entrada del colector solar. A continuación, el aire es dirigido a través del tubo 48 de aire de entrada de la torre al receptor 29 solar instalado sobre la torre 30. Los espejos reflectantes del reflector 32 solar reflejan la luz 33 solar emitida desde el sol 31, y la luz 34 solar reflejada es concentrada en el receptor 29 solar. De esta manera, la temperatura del aire de calentamiento del receptor 29 solar aumenta adicionalmente.

El controlador 91 de captación solar, que controla el ángulo de reflexión del reflector 32 solar, lee la señal de temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire obtenida por el sensor 18 de temperatura, la señal de temperatura del aire de salida del colector solar obtenida por el sensor 19 de temperatura y señal de temperatura del aire de derivación del colector solar obtenida por el sensor 20 de temperatura para calcular una señal de control para aumentar o disminuir la cantidad de calor introducida a la turbina 2 de aire. Cuando la temperatura del calor solar recogido o la temperatura ambiente se aproxima a una cantidad máxima permisible, o cuando la temperatura del aire de entrada de la turbina supera un valor particular, la luz 34 reflejada es dirigida lejos del receptor 29 solar para reducir la cantidad de calor solar recogida.

El aire a media presión y alta temperatura calentado en el receptor 29 solar fluye al interior del tubo 50 de aire del lado de la turbina de aire de salida de la torre y al tubo 51 de alivio de presión de aire de salida de la torre de alta presión a través del tubo 49 de aire de salida de la torre.

La válvula 27 de ajuste de alivio de presión de aire está instalada en el tubo 51 de alivio de presión de aire de salida de la torre de alta presión para descargar el aire dentro del tubo a la atmósfera cuando aumenta de manera anormal. El controlador 26 de alivio de presión de aire, que controla la válvula 27 de ajuste de alivio de presión de aire, emite una orden de alivio de presión a la válvula 27 de ajuste de alivio de presión de aire cuando la señal de temperatura del aire de salida del colector solar obtenida por el sensor 25 de presión supera un valor permisible. De esta manera, el aire que ha sido presurizado de manera anormal es descargado a la atmósfera.

El aire a media presión y alta temperatura que fluye al interior del tubo 50 de aire del lado de la turbina de aire de salida de la torre converge con el aire a media presión y a media temperatura que fluye desde el tubo 54 de salida de la válvula de mariposa de derivación del colector solar a través de la válvula 52 de mariposa de salida del colector solar y fluye al interior de la turbina 2 de aire a través del tubo 55 de aire a alta temperatura de la entrada de la turbina de aire. Como resultado, la turbina 2 de aire genera una fuerza suficiente para accionar el compresor 1 y el generador 3.

El controlador 37 de distribución de aire comprimido, que controla la válvula 38 de mariposa de distribución de aire de tres vías del controlador 200 de la temperatura de entrada de la turbina de aire, recibe una señal de desviación desde un dispositivo 36 de cálculo de desviación que compara la salida de energía del generador 3 con una orden de carga desde el sistema eléctrico (centro de expedición de carga) para calcular la desviación. El controlador 37 de distribución de aire comprimido lee esta señal de desviación, la señal de temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire obtenida por el sensor 18 de temperatura, la señal de temperatura del aire de salida del colector solar obtenida por el sensor 19 de temperatura y la señal de temperatura del aire de derivación del colector solar obtenida por el sensor 20 de temperatura para calcular la cantidad de distribución del aire de salida del compresor 1 al lado del colector solar y al lado de derivación con el propósito de aumentar o disminuir la cantidad de calor introducida a la turbina 2 de aire. Para conseguir la cantidad de distribución calculada, una señal de control es emitida a la válvula 38 de mariposa de distribución de aire de tres vías.

Por ejemplo, cuando la orden de carga es mayor que la salida del generador, la cantidad de distribución es aumentada en el lado del colector solar y es disminuida en el lado de derivación. Por el contrario, cuando la salida del generador es mayor que la orden de carga (por ejemplo, en el momento de una disminución de carga), la cantidad de distribución es disminuida en el lado del colector solar y es aumentada en el lado de derivación. Con dicho control, la salida del generador cambia de manera estable en respuesta a la orden de carga del sistema, de manera que puede conseguirse una generación de energía eficiente.

La válvula 47 de mariposa de entrada del colector solar y la válvula 52 de mariposa de salida del colector solar del colector 300 solar están completamente cerradas cuando no puede realizarse la generación de energía solar (por ejemplo, durante la noche). De esta manera, el aire a presión media y a temperatura media o alta generado durante el día está sellado (almacenamiento caliente) dentro del tubo 48 de aire de entrada de la torre, el tubo 49 de aire de salida de la torre y el tubo 50 de aire del lado de la turbina de aire de salida de la torre. Durante el arranque, al día siguiente, la válvula 52 de mariposa de salida del colector solar se abre para dirigir el aire a presión media y temperatura media o alta sellado a la turbina 2 de aire, y se realiza una operación de calentamiento para hacer girar la turbina 2 de aire a baja velocidad y eliminar la humedad de los tubos de aire a media presión y alta temperatura. Durante la operación de calentamiento, el conector 28 de eje se coloca en la posición de desconexión de manera que no haga girar el generador 3.

A continuación, con referencia a las Figuras 2A y 2B, se describe cómo arrancar el compresor de un sistema generador solar/de turbina de aire según una realización de la invención. La Figura 2A es un gráfico que ilustra el arranque del compresor de la invención mientras que la Figura 2B es un gráfico que ilustra el arranque del compresor que constituye una turbina de gas convencional.

En las Figuras 2A y 2B, el eje horizontal representa el tiempo y el eje vertical representa la velocidad de rotación del compresor. Generalmente, se requiere una gran fuerza para aumentar la velocidad de rotación de un compresor hasta su velocidad de rotación nominal (normalmente, unos pocos miles). De esta manera, los procedimientos de arranque del compresor varían según el procedimiento para obtener esa fuerza.

En el caso del compresor de la Figura 2B, un motor eléctrico de arranque está fijado al eje del compresor de la turbina de gas, y la velocidad de rotación del compresor es aumentada primero hasta N1 (aproximadamente el 20% de la velocidad de rotación nominal). A continuación, la velocidad de rotación es incrementada a N2 (100% de la velocidad de rotación nominal, unos pocos miles). En este caso, la fuerza requerida es grande.

En una turbina de gas general, se usa un motor eléctrico de arranque para hacer girar el compresor a aproximadamente el 20% de la velocidad nominal durante varios minutos para realizar una purga de combustible durante el arranque de la turbina de gas. A continuación, por la cámara de combustión o una cámara de combustión auxiliar quema combustible fósil para producir un gas a alta temperatura, y la velocidad de rotación del compresor es incrementada hasta el 100% de la velocidad de rotación nominal con el uso del gas a alta temperatura y el motor eléctrico de arranque (normalmente, el funcionamiento del motor eléctrico de arranque se detiene a aproximadamente el 70% de la velocidad nominal). En la Figura 2B, el tiempo t11 representa el momento en el que la velocidad de rotación del compresor comienza a ser aumentada por el motor eléctrico de arranque y el gas a alta temperatura, y el tiempo t12 representa el momento en el que se alcanza el 100% de la velocidad de rotación nominal. De esta manera, durante el período de tiempo entre el arranque y el tiempo t11, el compresor es girado solo por el motor eléctrico de arranque, y durante el período de tiempo entre t11 y el tiempo t12, el compresor es girado por el gas a alta temperatura y el motor eléctrico de arranque.

En la presente realización, por el contrario, el compresor 1 se arranca abriendo la válvula 52 de mariposa de salida del colector solar para dirigir el aire a presión media y alta temperatura, sellado, a la turbina 2 de aire, tal como se ilustra en la Figura 2A. A continuación, en el tiempo t1, la energía del sistema es sometida a una conversión de frecuencia en el inversor 64, y esa energía es suministrada al generador 3. Al usar el generador 3 como un motor eléctrico, la velocidad de rotación del compresor 1 es incrementada hasta la velocidad N2 nominal. En la Figura 2A también, el tiempo t2 representa el tiempo en el que se alcanza el 100% de la velocidad de rotación nominal.

Con referencia de nuevo a la Figura 1, se describe adicionalmente el arranque del compresor 1.

Durante la noche anterior al día del arranque, la válvula 47 de mariposa de entrada del colector solar y la válvula 52 de mariposa de salida del colector solar en el colector 300 solar están completamente cerradas, y el aire a presión media y temperatura media o alta generado está sellado. En el sistema 500 eléctrico en planta, el circuito 80 auxiliar en planta es cargado a través del transformador 69 en planta con el disyuntor 60 del sistema y el disyuntor 67 del transformador en planta activados. El disyuntor 61 principal, el disyuntor 63 de entrada del inversor, el disyuntor 65 de salida del inversor y el disyuntor 66 de derivación del inversor están todos desconectados.

En el momento del arranque, la válvula 52 de mariposa de salida del colector solar se abre primero para dirigir el aire a presión media y temperatura media o alta, sellado, a la turbina 2 de aire, haciéndolo girar de esta manera a baja velocidad. En este caso, el conector 28 de eje está colocado en la posición de desconexión para no hacer girar el generador 3.

A continuación, en el sistema 500 eléctrico en planta, el disyuntor 61 principal y el disyuntor 63 de entrada del inversor son activados para suministrar energía eléctrica desde el sistema eléctrico al inversor 64, donde se produce energía

eléctrica convertida en frecuencia. A continuación, el disyuntor 65 de salida del inversor es activado de manera que la energía eléctrica convertida en frecuencia es suministrada al generador 3 a través del circuito 70 principal de salida del generador. De esta manera, el generador 3 se hace girar a una velocidad baja determinada. Una vez que la diferencia entre la velocidad de rotación del generador 3 y la de la turbina 2 de aire se ha reducido, el conector 28 de eje se coloca en la posición de conexión para conectar el eje de la turbina de aire al eje del generador.

El inversor 64 incrementa gradualmente la frecuencia de la energía eléctrica desde la frecuencia correspondiente a la velocidad baja, incrementando de esta manera la velocidad de rotación del generador 3 usado como motor eléctrico, es decir, la velocidad de rotación de la turbina 2 de aire y del compresor 1. A través del eje de la turbina de aire conectado al eje del generador, la velocidad de rotación del compresor 1 es incrementada para suministrar aire comprimido al colector 300 solar. En otras palabras, no es necesario quemar combustible fósil para generar energía de combustión. De esta manera, no es necesaria una cámara de combustión auxiliar de arranque de la turbina, ni tampoco es necesario realizar una purga del sistema de escape de la turbina de aire en el momento del arranque. Además, tampoco es necesario un motor eléctrico de arranque de la turbina de aire.

Mientras la energía eléctrica es suministrada desde el sistema eléctrico al generador 3 para usar el generador como un motor eléctrico hasta que se alcanza la velocidad de rotación nominal y se suministra aire al colector 300 solar, la salida de la turbina 2 de aire se incrementa a medida que la cantidad y la temperatura del aire a alta temperatura desde el colector 300 solar incrementa en respuesta a un aumento del calor solar recibido. De esta manera, el modo operativo del generador 3 es desplazado gradualmente desde un modo de recepción de energía (desde el sistema eléctrico al generador 3) hasta un modo de suministro de energía (desde el generador 3 al sistema eléctrico).

En este caso, el sistema 500 eléctrico en planta desconecta el disyuntor 63 de entrada del inversor, el disyuntor 65 de salida del inversor y el disyuntor 61 principal y activa el disyuntor 66 de derivación del inversor. A continuación, se realiza una prueba de sincronización sobre la energía eléctrica generada por el generador 3 y la energía eléctrica del sistema, y se activa el disyuntor 61 principal, continuando de esta manera la generación de energía mediante la reconexión al sistema.

A continuación, con referencia a las Figuras 3A a 3C, se describe la operación del sistema generador solar/de turbina de aire de la invención en respuesta a los cambios del tiempo meteorológico durante un día. La Figura 3A es un gráfico que ilustra los cambios en la temperatura ambiente, la temperatura del aire a alta temperatura en la entrada de la turbina y la intensidad de la luz solar. La Figura 3B es un gráfico que ilustra los cambios en el caudal de derivación del refrigerante y el caudal de aire de derivación del intercambiador de calor regenerativo. La Figura 3C es un gráfico que ilustra los cambios en la salida del generador, el caudal de aire del lado del colector solar y el caudal de aire del lado de la derivación del colector solar.

En las Figuras 3A a 3C, el eje horizontal representa el tiempo. En la Figura 3A, la curva (a) sólida representa la temperatura ambiente, la curva (b) de trazo mixto representa la temperatura del aire de entrada de la turbina, y la curva (c) discontinua representa la intensidad de la luz solar. En la Figura 3B, la curva (d) sólida representa el caudal de derivación del refrigerante, y la curva (e) discontinua representa el caudal de aire de derivación del intercambiador de calor regenerativo. En la Figura 3C, la curva (f) sólida representa la salida del generador, la curva (g) discontinua representa el caudal de aire del lado del colector solar y la curva (h) de trazo mixto representa el caudal de aire del lado de derivación del colector solar.

Las Figuras 3A a 3C muestran un ejemplo en el que la salida del generador permanece a un valor constante sin cambios en la salida del generador y la temperatura de entrada de la turbina de aire incluso cuando la temperatura ambiente y la intensidad de la luz solar cambian durante el período de tiempo entre el amanecer y el anochecer de un día.

La temperatura ambiente mostrada por la curva (a) de la Figura 3A empieza a aumentar a las 9 a.m. para alcanzar su máximo, pero se reduce una vez antes del mediodía. Posteriormente, alcanza el máximo de nuevo. En este caso, el caudal de derivación del refrigerante mostrado por la curva (d) de la Figura 3B es incrementado a partir de un valor normal por la válvula 7 de ajuste de flujo de refrigerante de tres vías, que es controlada por el controlador 17 de la temperatura de aire de salida del refrigerador de aire del aparato 400 refrigerador centrífugo. Esto aumenta la temperatura del aire a la salida del refrigerador 4 de aire y compensa la caída en la temperatura ambiente. Como resultado, el sistema puede ser operado sin cambios en la temperatura del aire de entrada de la turbina mostrada por la curva (b) de la Figura 3A y la salida del generador mostrada por la curva (f) de la Figura 3C.

La intensidad de la luz solar mostrada por la curva (c) de la Figura 3A comienza a aumentar después de las 6 a.m. para alcanzar su máximo a las 9 a.m., pero se reduce drásticamente después del mediodía (por ejemplo, por una nube que bloquea la luz solar). Posteriormente, alcanza el máximo de nuevo. En este caso, el caudal de aire de derivación del intercambiador de calor regenerativo mostrado por la curva (e) de la Figura 3B es reducido drásticamente desde un

valor normal por la válvula 35 de derivación del intercambiador de calor regenerativo, que es controlada por el controlador 90 de la temperatura del aire de salida del intercambiador de calor regenerativo del controlador 200 de la temperatura de entrada de la turbina de aire. Esto aumenta la temperatura del aire en la salida del intercambiador 45 de calor regenerativo y compensa la caída de la intensidad de la luz solar. Como resultado, el sistema puede ser operado sin cambios en la temperatura del aire de entrada de la turbina mostrada por la curva (b) de la Figura 3A y la salida del generador mostrada por la curva (f) de la Figura 3C.

El caudal de aire del lado de derivación del colector solar mostrado por la curva (h) y el caudal de aire del lado del colector solar mostrado por la curva (g) de la Figura 3C comienzan a aumentar después de las 6 a.m. (después del arranque de la turbina 2 de aire) para alcanzar sus máximos respectivos a las 9 a.m. momento en el que la salida del generador mostrada por la curva (f) de la Figura 3C alcanza su máximo (valor nominal). Posteriormente, el caudal de aire del lado de derivación del colector solar mostrado por la curva (h) de la Figura 3C es reducido gradualmente por la válvula 38 de mariposa de distribución de aire de tres vías, que es controlada por el controlador 37 de distribución de aire comprimido del controlador 200 de la temperatura de entrada de la turbina de aire. El caudal de aire del lado de derivación del colector solar mostrado por la curva (h) es reducido finalmente a cero, lo que significa que todo el aire fluye al lado del colector solar, no al lado de derivación del colector solar. Esto es debido a que la temperatura del aire de entrada de la turbina mostrada por la curva (b) de la Figura 3A es controlada por un programa en función de los aumentos en la salida del generador.

El caudal de aire del lado del colector solar mostrado por la curva (g) de la Figura 3C, por otra parte, comienza a disminuir antes de las 3 p.m. con la disminución en la salida del generador mostrada por la curva (f). Mientras la salida del generador disminuye, el caudal de aire del lado de derivación del colector solar mostrado por la curva (h) de la Figura 3C es aumentado gradualmente desde cero hasta un valor determinado por la válvula 38 de mariposa de distribución de aire de tres vías, que es controlada por el controlador 37 de distribución de aire comprimido del controlador 200 de la temperatura de entrada de la turbina de aire. A continuación, el caudal de aire del lado de derivación del colector solar es reducido gradualmente a cero. Esto también es debido a que la temperatura del aire de entrada de la turbina mostrada por la curva (b) de la Figura 3A es controlada por un programa en función de las disminuciones en la salida del generador.

Según el sistema generador solar/de turbina de aire de la realización anterior, los costes de construcción y de generación de energía pueden reducirse, y no es necesario el uso de combustible fósil.

Debido a que el sistema generador solar/de turbina de aire de la realización anterior incluye un dispositivo de control que tiene en cuenta los cambios en la temperatura ambiente y en la intensidad de la luz solar debidos a cambios del tiempo meteorológico y controla el caudal de aire comprimido en respuesta a señales de demanda de carga desde el sistema eléctrico, puede conseguirse una operación estable.

Según el sistema generador solar/de turbina de aire de la realización anterior, no se necesita combustible fósil para la generación de energía, ni tampoco un equipo generador de turbina de vapor. De esta manera, el sistema generador solar/de turbina de aire requiere un equipo generador estructuralmente más simple y menores costes de construcción y de generación de energía y es rentable.

Según el sistema generador solar/de turbina de aire de la realización anterior, no se descargan en absoluto óxido de nitrógeno ni dióxido de carbono a la atmósfera durante el arranque, y puede producirse energía eléctrica estable, de manera rentable, a partir del calor solar independientemente de los cambios del tiempo meteorológico.

En el sistema generador solar/de turbina de aire de la realización anterior, solo el receptor 29 solar está instalado sobre la torre 30, y el resto del equipo está instalado en el suelo. De esta manera, se aplica una menor carga sobre la torre 30. Esto conduce a la simplificación de la torre 30 y de su base; de esta manera, pueden reducirse los costes de construcción.

En el sistema generador solar/de turbina de aire de la realización anterior, se lleva a cabo el procedimiento siguiente para arrancar el compresor 1 y la turbina 2 de aire.

- (1) El aire a presión media y alta temperatura es sellado en el tubo del colector solar durante la noche.
- (2) Al día siguiente, el aire a alta temperatura, sellado, es introducido a la turbina 2 de aire para hacerla girar a baja velocidad.
- (3) El inversor 64 se usa para accionar el generador 3 como un motor eléctrico. Cuando la velocidad de rotación del generador 3 se acerca a la de la turbina 2 de aire, el conector 28 de eje conecta el eje de la turbina de aire y el eje del generador.
- (4) La frecuencia es incrementada por el inversor 64 para conseguir la velocidad de rotación nominal.

Debido al procedimiento anterior, el suministro de energía requerido para hacer girar el compresor 1 y la turbina 2 de aire desde el estado de reposo completo no es necesario. Como resultado, se consume menos energía eléctrica en planta durante el arranque.

- 5 La invención no está limitada a la realización anterior, sino que permite diversas modificaciones. La realización anterior solo pretende ser ilustrativa, y la invención no está limitada a la forma específica descrita.

DESCRIPCIÓN DE LOS NÚMEROS DE REFERENCIA

- 1: Compresor
 10 2: Turbina de aire
 3: Generador
 4: Refrigerador de aire
 5: Bomba de circulación de refrigerante
 6: Refrigerador centrífugo
 15 7: Válvula de ajuste de flujo de refrigerante de tres vías
 16: Sensor de temperatura (temperatura del aire de salida del refrigerador de aire))
 17: Controlador de temperatura del aire de salida del refrigerador de aire
 18: Sensor de temperatura (temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire)
 19: Sensor de temperatura (temperatura del aire de salida del colector solar)
 20 20: Sensor de temperatura (temperatura del aire de derivación del colector solar)
 21: Sensor de temperatura (temperatura del aire de salida de la turbina de aire)
 22: Sensor de temperatura (temperatura del aire de salida del compresor)
 23: Sensor de temperatura (temperatura del aire de salida del intercambiador de calor regenerativo)
 24: Sensor de temperatura (temperatura del aire de entrada del refrigerador de aire)
 25 25: Sensor de presión (presión del aire de salida del colector solar)
 26: Controlador de alivio de presión de aire
 27: Válvula de ajuste de alivio de presión de aire
 28: Conector de eje
 29: Receptor solar
 30 30: Torre
 32: Reflector solar
 33: Luz solar
 34: Luz reflejada
 35 35: Válvula de derivación del intercambiador de calor regenerativo
 36: Dispositivo de cálculo de desviación
 37: Controlador de distribución de aire comprimido
 38: Válvula de mariposa de distribución de aire de tres vías
 39: Pirheliómetro
 40 43: Válvula de mariposa de entrada del compresor
 45: Intercambiador de calor regenerativo
 47: Válvula de mariposa de entrada del colector solar
 52: Válvula de mariposa de salida del colector solar
 60: Disyuntor del sistema
 61: Disyuntor principal
 45 62: Transformador principal
 64: Inversor
 67: Disyuntor de transformador en planta
 68: Circuito del lado de alta tensión del transformador en planta
 69: Transformador en planta
 50 70: Circuito principal de salida del generador
 71: Circuito del lado de baja tensión del transformador principal
 75: Sistema externo
 80: Circuito auxiliar en planta
 90: Controlador de temperatura del aire de salida del intercambiador de calor regenerativo
 55 91: Controlador de captación solar.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema generador solar/de turbina de aire que comprende:

5 un compresor (1) para aspirar y comprimir aire,
 un receptor (29) solar para calentar el aire comprimido por el compresor con el uso de calor solar recogido por un colector solar;
 una turbina (2) de aire para accionar el compresor (1) y un generador (3) al recibir el aire comprimido calentado por el receptor (29) solar;
 10 un intercambiador (45) de calor regenerativo, situado aguas abajo del compresor (1) y aguas arriba del receptor solar, para calentar el aire comprimido por el compresor usando el escape de la turbina de aire como un medio de calentamiento; y
 un dispositivo (38) de distribución, situado aguas abajo del compresor (1) y aguas arriba del intercambiador (45) de calor regenerativo, para distribuir el aire comprimido por el compresor al lado del intercambiador (45) de calor regenerativo y a un lado de derivación, en el que el lado de derivación es el lado de entrada de la turbina de aire,
 15 en el que el sistema generador solar/de turbina de aire incluye además un dispositivo (200) de control para mantener la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire a un valor constante mediante el ajuste del caudal del escape de la turbina de aire que fluye al intercambiador (45) de calor regenerativo como un medio de calentamiento,

20 **caracterizado por que** el sistema comprende, además:

un sistema de flujo de entrada del intercambiador de calor regenerativo para dirigir el escape de la turbina de aire al intercambiador (45) de calor regenerativo;
 25 un sistema de derivación de intercambiador de calor regenerativo para causar que el escape de la turbina de aire circunvale el intercambiador (45) de calor regenerativo; y
 una válvula (38) de ajuste de caudal para ajustar el caudal del escape que fluye al sistema de derivación del intercambiador de calor regenerativo,
 30 un primer sensor (18) de temperatura para detectar la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire;
 en el que el dispositivo de control lee la temperatura del aire de la entrada de la turbina de aire detectada por el primer sensor de temperatura y controla el grado de apertura de la válvula de ajuste de caudal de manera que la temperatura del aire de la entrada de la turbina de aire se mantenga en un valor constante.

35 2. Sistema generador solar/de turbina de aire según la reivindicación 1, que comprende, además:

un refrigerador (4) de aire para enfriar el aire aspirado por el compresor (1);
 40 una bomba (5) de circulación de refrigerante para hacer circular agua de refrigeración al refrigerador de aire;
 un refrigerador (6) centrífugo para enfriar el agua de refrigeración;
 una válvula de ajuste para controlar el caudal del agua de refrigeración que fluye al refrigerador de aire;
 un controlador de temperatura del aire de salida del refrigerador de aire para controlar el grado de apertura de la válvula de ajuste;
 45 un segundo sensor (21) de temperatura para detectar la temperatura del aire en la salida del refrigerador de aire; y
 un tercer sensor de temperatura para detectar la temperatura ambiente,
 en el que el controlador de la temperatura del aire de salida del refrigerador de aire lee la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire detectada por el primer sensor (18) de temperatura, la temperatura del aire en la salida del refrigerador de aire detectada por el segundo sensor (21) de temperatura, y la temperatura ambiente detectada por el tercer sensor de temperatura, y está configurado para controlar el grado de apertura de la válvula de ajuste de manera que la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire se mantenga a un valor constante.

55 3. Sistema generador solar/de turbina de aire según la reivindicación 2, en el que el dispositivo de distribución incluye:

una válvula de conmutación de caudal de aire de tres vías para distribuir el aire comprimido por el compresor (1) al lado del intercambiador de calor regenerativo y al lado de derivación, en el que el lado de derivación es el lado de entrada de la turbina de aire; y
 60 un controlador de distribución para controlar el grado de apertura de la válvula de conmutación de caudal de aire de tres vías, y
 en el que el controlador de distribución lee la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire

detectada por el primer sensor (18) de temperatura y la salida del generador para controlar el grado de apertura de la válvula de conmutación de caudal de aire de tres vías de manera que la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire sea controlada por programa.

5 4. Sistema generador solar/de turbina de aire según la reivindicación 3, que comprende, además:

un colector solar que incluye el receptor (29) solar instalado sobre una torre y en el que el receptor (29) solar tiene un dispositivo (32) reflectante;

10 un controlador de captación solar para controlar la posición de reflexión del dispositivo de reflexión del colector solar;

un cuarto sensor de temperatura para detectar la temperatura del aire en la salida del colector solar; y

un quinto sensor de temperatura para detectar la temperatura del aire del lado de derivación, en el que el lado de derivación es el lado de entrada de la turbina de aire;

15 en el que el controlador de captación solar lee la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire detectada por el primer sensor de temperatura, la temperatura del aire de salida del colector solar detectada por el cuarto sensor de temperatura y la temperatura del aire del lado de derivación detectada por el quinto sensor de temperatura para controlar la posición de reflexión del dispositivo (32) de reflexión de manera que la cantidad de calor a introducir en la turbina de aire sea aumentada o disminuida.

20 5. Sistema generador solar/de turbina de aire según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende, además:

un inversor (64), provisto en un sistema eléctrico en planta, para convertir la energía eléctrica desde el sistema eléctrico en planta en energía de frecuencia variable y suministrar la energía convertida al generador (3) de manera que el generador se use como un motor eléctrico para accionar la turbina de aire;

25 una válvula (47) de mariposa de entrada del colector solar provista en el lado de entrada del colector solar; y

una válvula (52) de mariposa de salida del colector solar provista en el lado de salida del colector solar, en el que la válvula (47) de mariposa de entrada del colector solar y la válvula (52) de mariposa de salida de colector solar están configuradas para ser cerradas después del final de la operación en un día anterior para sellar el aire a alta temperatura en el tubo del colector solar;

30 en el que el aire a alta temperatura es introducido en la turbina de aire para hacerla girar a baja velocidad, y

en el que el inversor (64) está configurado para obtener energía con una frecuencia particular que es suministrada al generador para accionarlo como un motor eléctrico.

35 6. Sistema generador solar/de turbina de aire según la reivindicación 4 o 5, que comprende, además:

una válvula de ajuste de alivio de presión, un extremo de la cual está conectado al lado de salida del colector solar y el otro extremo de la cual está abierto a la atmósfera;

40 un controlador de alivio de presión para controlar el grado de apertura de la válvula de ajuste de alivio de presión; y

un sensor (25) de presión para detectar la presión de aire en la salida del colector solar,

45 en el que el controlador de alivio de presión está configurado para leer la presión de aire de salida del colector solar detectada por el sensor de presión para descargar el aire a la atmósfera mediante la apertura de la válvula de ajuste de alivio de presión cuando la presión de aire pasa a ser mayor que un valor predeterminado.

7. Un procedimiento de operación de un sistema generador solar/de turbina de aire según la reivindicación 1, en el que el sistema generador solar/de turbina de aire comprende:

50 un compresor (1) para aspirar y comprimir aire;

un receptor (29) solar para calentar el aire comprimido por el compresor con el uso de calor solar recogido por un colector solar;

una turbina (2) de aire para accionar el compresor (1) y un generador (3) al recibir el aire comprimido calentado por el receptor (29) solar;

55 un intercambiador (45) de calor regenerativo, situado aguas abajo del compresor (1) y aguas arriba del receptor solar, para calentar el aire comprimido por el compresor usando el escape de la turbina de aire como un medio de calentamiento; y

60 un dispositivo de distribución, situado aguas abajo del compresor (1) y aguas arriba del intercambiador (45) de calor regenerativo, para distribuir el aire comprimido por el compresor al lado del intercambiador (45) de calor regenerativo y al lado de derivación, en el que el lado de derivación es el lado de entrada de la turbina de aire, un sistema de flujo de entrada de intercambiador de calor regenerativo para dirigir el escape de la turbina de aire al intercambiador (45) de calor regenerativo;

un sistema de derivación de intercambiador de calor regenerativo para causar que el escape de la turbina de aire circunvale el intercambiador (45) de calor regenerativo; y
una válvula de ajuste de caudal para ajustar el caudal del escape que fluye al sistema de derivación del intercambiador de calor regenerativo;

5 un primer sensor de temperatura para detectar la temperatura del aire en la entrada de la turbina de aire;
un inversor (64), provisto en un sistema eléctrico en planta, para convertir la energía eléctrica desde el sistema eléctrico en planta en energía de frecuencia variable y suministrar la energía convertida al generador (3) de manera que el generador se use como un motor eléctrico para accionar la turbina de aire;
10 una válvula (47) de mariposa de entrada del colector solar provista en el lado de entrada del colector solar; y
una válvula (52) de mariposa de salida del colector solar provista en el lado de salida del colector solar, en el que el procedimiento comprende:

15 cerrar la válvula (47) de mariposa de entrada del colector solar y la válvula (52) de mariposa de salida del colector solar después del final de la operación en un día anterior para sellar el aire a alta temperatura en el tubo del colector solar;
abrir la válvula (52) de mariposa de salida del colector solar para introducir el aire a alta temperatura, sellado, a la turbina de aire para hacerla girar a baja velocidad; y
suministrar energía con una frecuencia particular obtenida por el inversor (64) al generador para accionarlo como un motor eléctrico

20 8. Procedimiento para operar el sistema generador solar/de turbina de aire según la reivindicación 7, en el que el sistema generador solar/de turbina de aire comprende, además:

25 una válvula de ajuste de alivio de presión, un extremo de la cual está conectado al lado de salida del colector solar y el otro extremo de la cual está abierto a la atmósfera;
un controlador de alivio de presión para controlar el grado de apertura de la válvula de ajuste de alivio de presión; y
un sensor (25) de presión para detectar la presión de aire en la salida del colector solar,
30 en el que el procedimiento comprende además:

leer la presión de aire de salida del colector solar detectada por el sensor de presión y abrir la válvula de ajuste de alivio de presión cuando la presión de aire pasa a ser mayor que un valor predeterminado para descargar el aire a la atmósfera.

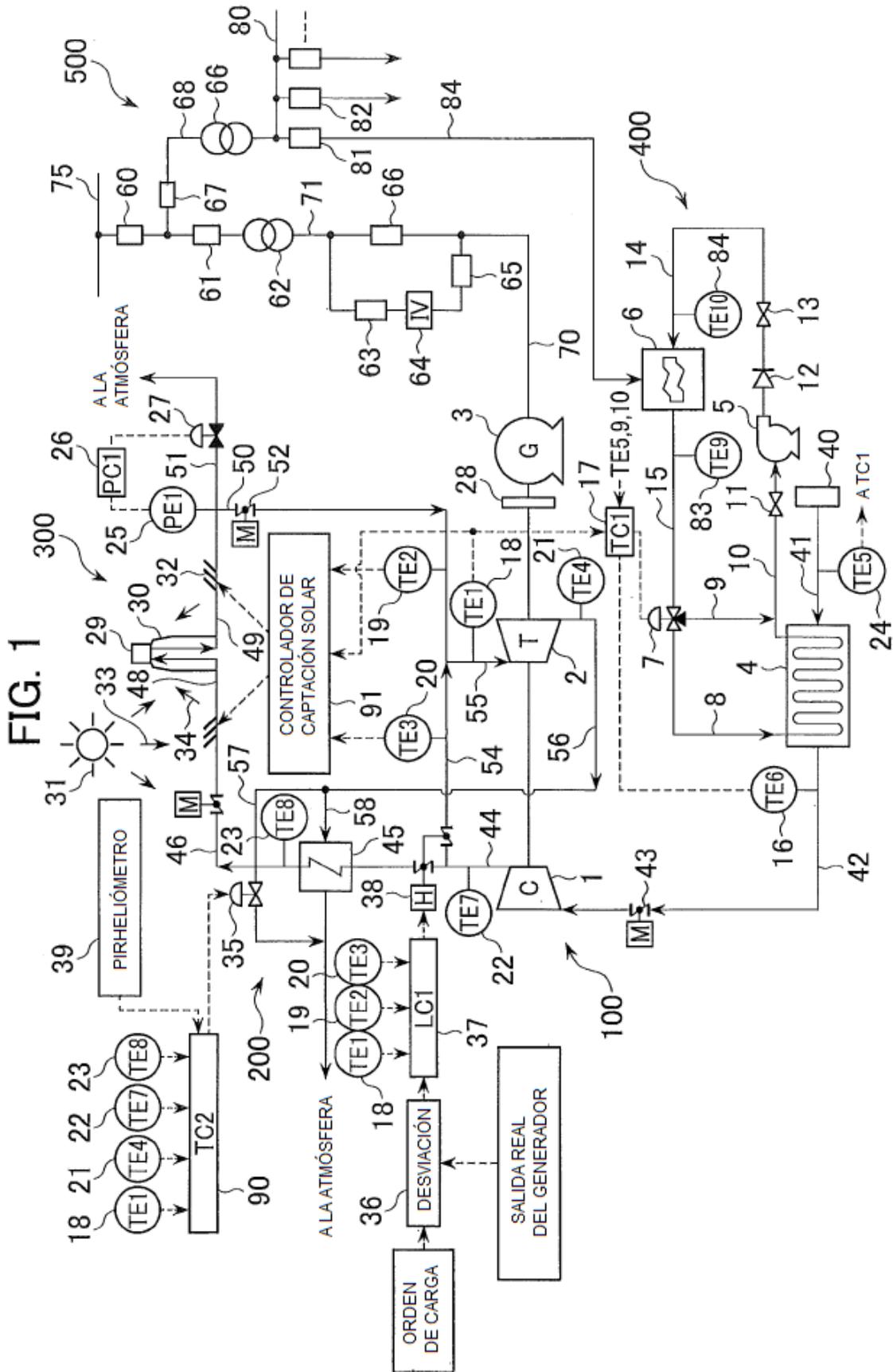


FIG. 2A

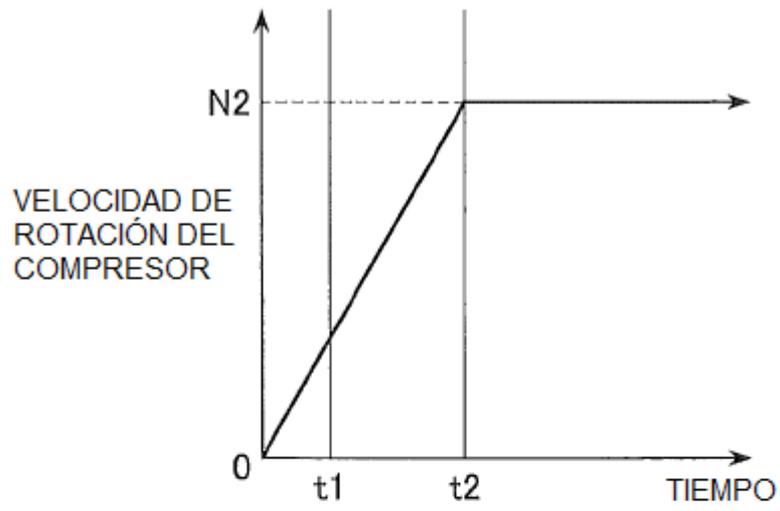


FIG. 2B

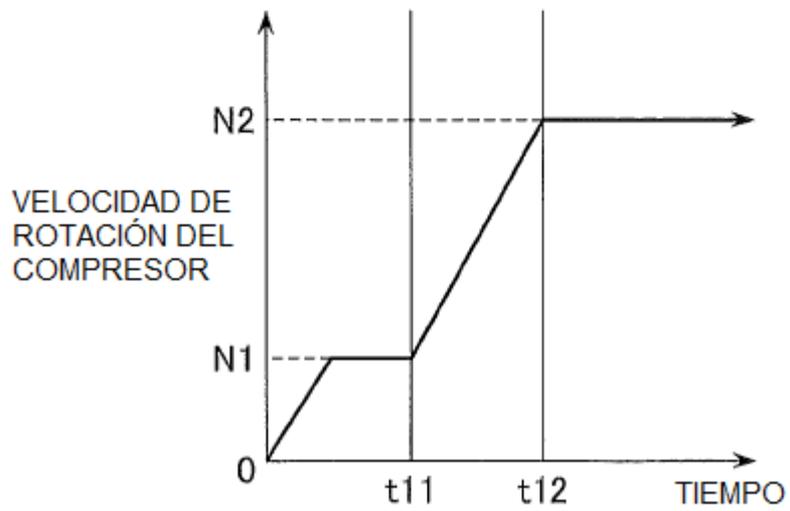


FIG. 3A

- (a) TEMPERATURA AMBIENTE
- (b) TEMPERATURA DE ENTRADA DE TURBINA
- (c) INTENSIDAD DE LA LUZ SOLAR

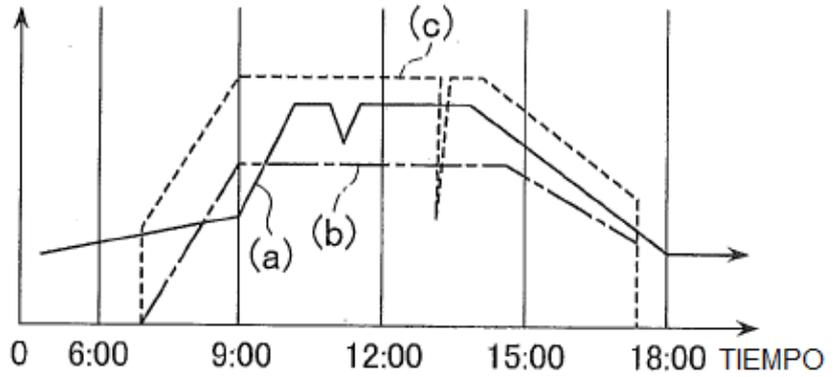


FIG. 3B

- (d) CAUDAL DE DERIVACIÓN DE REFRIGERANTE
- (e) CAUDA DE AIRE DE DERIVACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR REGENERATIVO

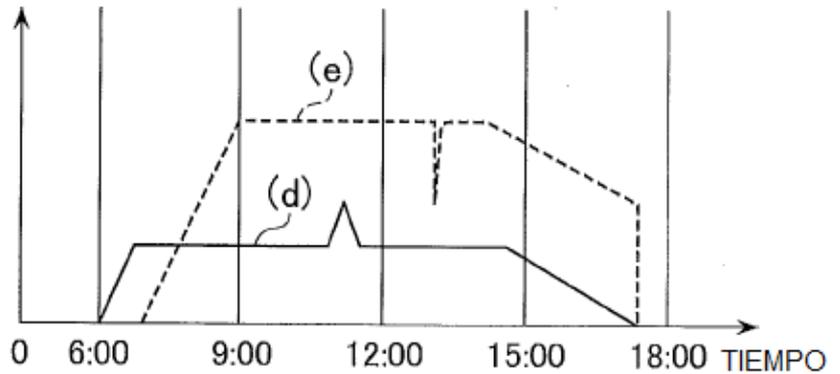


FIG. 3C

- (f) SALIDA DEL GENERADOR
- (g) CAUDAL DE AIRE DEL COLECTOR SOLAR
- (h) CAUDAL DE AIRE DE DERIVACIÓN DEL COLECTOR SOLAR

