

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 444**

51 Int. Cl.:

F01K 13/02 (2006.01)

F01D 19/02 (2006.01)

F22B 35/00 (2006.01)

F01K 7/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2013 E 13192867 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.05.2017 EP 2792858**

54 Título: **Central eléctrica con turbinas de vapor**

30 Prioridad:

15.03.2013 JP 2013054056

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

25.07.2017

73 Titular/es:

**mitsubishi hitachi power systems, ltd.
(100.0%)
3-1, Minatomirai 3-chome, Nishi-ku
Yokohama 220-8401, JP**

72 Inventor/es:

**YOSHIDA, YASUHIRO;
YOSHIDA, TAKUYA;
YASHIKI, TATSURO;
KUSUMI, NAOHIRO;
NOMURA, KENICHIRO;
YAMANAKA, KAZUNORI;
TOMIZAWA, MASA AKI;
TAKAHASHI, YUICHI y
SUZUKI, FUMIYUKI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU SLP, .

ES 2 626 444 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

Central eléctrica con turbinas de vapor

Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

5 La presente invención se relaciona con centrales eléctricas con turbinas de vapor.

Descripción de la técnica afín

Se está demandando que el tiempo de arranque de una central eléctrica con turbina de vapor se reduzca adicionalmente para suprimir la inestabilidad de la central eléctrica en un sistema energético conectado a la red de energía eléctrica mediante la conexión de energía renovable, representada por la generación de energía eólica o la generación de energía solar, al sistema de energía. Cuando se arranca la turbina de vapor, sin embargo, el sistema aumenta abruptamente la temperatura y el caudal. El consecuente aumento súbito de la temperatura del rotor de la turbina en relación con la temperatura interna del mismo aumenta el gradiente de temperatura radial y por lo tanto aumenta la tensión térmica. Una tensión térmica excesiva podría acortar la vida del rotor de la turbina. Además, si el cambio en la temperatura del vapor es significativa, se produce una expansión térmica diferencial debido a una diferencia en la capacidad térmica entre el rotor y la carcasa de la turbina. Si la expansión térmica diferencial aumenta, esto puede llevar al contacto entre el rotor giratorio de la turbina y la carcasa estática, y por tanto al daño de los mismos. Por consiguiente, es necesario controlar el estado de arranque de la turbina de vapor para prevenir que la tensión térmica del rotor de la turbina y su expansión térmica diferencial con respecto a la de la carcasa exceda los respectivos niveles máximos permitidos (remitirse a la Patente Japonesa Nro. 4723884, que se muestra a continuación como Documento de Patente 1, y JP-2009-281248-A, que se muestra como Documento de Patente 2 a continuación). US 4.888.953 A describe un aparato para controlar una central eléctrica con turbina/caldera que comprende un circuito para comandar una válvula reguladora de flujo de vapor de entrada a una turbina sobre la base de la diferencia entre una señal de orden de carga ajustada mediante un valor de tensión térmica de una turbina y una señal de salida realmente medida de una central eléctrica.

Compendio de la invención

En los Documentos de Patente 1, 2, sin embargo, el caudal del vapor provisto a la turbina de vapor es controlado por una válvula de control para regular la tensión térmica y la expansión térmica diferencial, de modo que la tensión térmica y la expansión térmica diferencial solamente se regulan dentro de un rango en el que la válvula de control puede controlar el caudal del vapor. Existe otro problema con la eficiencia de la energía dado que el excedente de vapor se descarta por vía de una válvula de derivación para reducir el suministro de vapor a la turbina de vapor.

La presente invención se ha realizado con lo expuesto en mente, y un objeto de la invención es proporcionar una central eléctrica con turbina de vapor adaptada para comenzar a funcionar de forma muy eficiente en un rango de control extendido de sus restricciones de arranque tal como una tensión térmica.

Se logra el objeto con la invención de acuerdo con la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes describen adicionalmente desarrollos preferidos. A fin de lograr el objeto mencionado, la presente invención incluye un equipo de fuente de calor que calienta un flujo con baja temperatura al aplicar un medio de calentamiento para generar un flujo con alta temperatura, un generador de vapor que genera vapor usando el flujo con alta temperatura generado por el equipo de fuente de calor, una turbina de vapor impulsada por el vapor generado por el generador de vapor, un generador eléctrico que convierte la fuerza motriz rotativa de la turbina de vapor en energía eléctrica, un controlador del medio de calor que controla una velocidad de suministro del medio de calor suministrado al equipo de fuente de calor, un controlador de flujo con baja temperatura que controla una velocidad de suministro de flujo con baja temperatura suministrado al equipo de fuente de calor, un dispositivo de predicción que predice las restricciones de arranque durante un período de predicción previamente fijado después de un tiempo fijado desde la hora actual, de la turbina de vapor a partir de variables de entrada de control del controlador del medio de calor y del controlador de flujo con baja temperatura cuando la turbina de vapor arranca, y/o un regulador de variables de entrada de control que controla el controlador del medio de calor y el controlador de flujo con baja temperatura para prevenir que las predicciones de datos realizadas por el dispositivo de predicción excedan los valores límite de las restricciones de arranque.

Según la presente invención, una central eléctrica con turbina de vapor inicia el funcionamiento de manera muy eficiente en un rango de control extendido de tensiones térmicas y otras restricciones de arranque.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama de bloques esquemático de una central eléctrica con turbina de vapor según una primera realización de la presente invención.

La Fig. 2 es un diagrama de flujo que representa una secuencia de control de arranque relacionada con la central

eléctrica con turbina de vapor según la primera realización de la presente invención.

La Fig. 3 es un diagrama complementario explicativo de la secuencia de control de arranque en relación con la central eléctrica con turbina de vapor.

La Fig. 4 es un diagrama de flujo que muestra los detalles de la etapa S104 en la secuencia de la Fig. 2.

5 La Fig. 5 es un diagrama de bloques esquemático de una central eléctrica con turbina de vapor según una segunda realización de la presente invención.

La Fig. 6 es un diagrama de bloques esquemático de una central eléctrica con turbina de vapor según una tercera realización de la presente invención.

La Fig. 7 es un diagrama que presenta un ejemplo de un patrón de funcionamiento para el equipo de fuente de calor.

10 La Fig. 8 es un diagrama explicativo de un método para controlar un equipo de fuente de calor de la central eléctrica con turbina de vapor según la primera realización de la presente invención.

Descripción de realizaciones preferidas

A continuación, se describirán realizaciones de la presente invención usando los dibujos adjuntos.

Primera realización

15 1. Central eléctrica con turbina de vapor

La Fig. 1 es un diagrama de bloques esquemático de una central eléctrica con turbina de vapor según una primera realización de la presente invención.

20 La central eléctrica con turbina de vapor presentada en la Fig. 1 incluye un equipo de fuente de calor 1, un generador de vapor 2, una turbina de vapor 3, un generador eléctrico 4, un controlador de flujo del medio de calor 12, un controlador del flujo de fluido con baja temperatura 14, y un dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 21. A continuación se describe un ejemplo en el cual el equipo de fuente de calor 1 en la presente realización es una turbina de gas, es decir, la central eléctrica con turbina de vapor es del tipo de ciclo combinado.

25 El equipo de fuente de calor 1 usa la cantidad de calor que posee un medio de calor (en el presente ejemplo, un gas combustible, un líquido combustible, un combustible que contiene hidrógeno, o similares), para calentar un flujo con baja temperatura (en el ejemplo, un flujo de aire quemado con el combustible) y suministrar este flujo calentado como un flujo de fluido con alta temperatura (en el ejemplo, un gas de combustión que se ha utilizado para impulsar la turbina de gas) hacia el generador de vapor 2. El generador de vapor 2 (en el presente ejemplo, una caldera de recuperación de calor residual) calienta agua de alimentación por intercambio de calor con el calor contenido en el flujo de fluido con alta temperatura que ha sido generado por el equipo de fuente de calor 1, y por lo cual genera vapor. El vapor así generado por el generador de vapor 2 se usa luego para impulsar la turbina de vapor 3. El generador eléctrico 4 está acoplado coaxialmente con la turbina de vapor 3, y el generador 4 convierte la fuerza de impulso rotativa de la turbina de vapor 3 en energía eléctrica. La energía eléctrica que ha generado el generador 4 se envía, por ejemplo, a un sistema de energía eléctrica (no se muestra).

35 El controlador de flujo del medio de calor 12 (en el presente ejemplo, una válvula de control de combustible) se proporciona en una ruta de suministro de medio de calor hacia el equipo de fuente de calor 1 y el controlador de flujo del medio de calor 12 controla un caudal del medio de calor suministrado al equipo de fuente de calor 1. El controlador del flujo de fluido con baja temperatura 14 (en el presente ejemplo, IGV) se proporciona en una ruta de suministro de fluido con baja temperatura que conduce hacia el equipo de fuente de calor 1, y el controlador de flujo de fluido con baja temperatura 14 controla un caudal del fluido con baja temperatura suministrado al equipo de fuente de calor 1. Cada uno de los controladores 12, 14 está ajustado con un instrumento de medición de variables de entrada de control 11 o 13, mediante el cual se mide una variable de entrada de control (en el presente ejemplo, el ángulo de apertura de una válvula) del controlador 12, 14. La variable de entrada de control del controlador 12, 14 que ha medido el instrumento de medición de variables de entrada de control 11, 13 ingresa al dispositivo de control de arranque de la turbina de vapor 21.

45 2. Dispositivo de control de arranque de la turbina de vapor

El dispositivo de control de arranque de la turbina de vapor 21 incluye un dispositivo de predicción 22, un regulador de variables de entrada de control 23, y dispositivos de salida de señales de control 24, 25. Estos elementos se describen en orden a continuación.

(1) Dispositivo de predicción

50 Durante el arranque de la turbina de vapor 3, el dispositivo de predicción 22 predice, a partir de la variable de entrada de control del controlador 12, 14, valores futuros de las restricciones de arranque que se han de imponer a

la turbina de vapor 3 cuando transcurra un período previamente fijado a partir de la hora actual del día, y envía los valores predichos al regulador de variables de entrada de control 23 (en el presente ejemplo, un controlador de turbina de gas). El período previamente fijado se refiere a un período de predicción (descrito más adelante en la presente memoria) o a un período que se ha fijado para que sea más prolongado que el período de predicción. Las restricciones de arranque se refieren a aquellos cambios en magnitudes físicas debidos a aumentos abruptos en la temperatura del vapor, la presión del vapor, o similares, que aparecerán cuando arranque la turbina de vapor 3. Las magnitudes físicas son una magnitud de la tensión térmica aplicada al rotor de la turbina de la turbina de vapor 3, la de la expansión térmica diferencial axial en el rotor de la turbina y una carcasa que se adecua al rotor de la turbina, y otras variables que se desarrollan durante el arranque de la turbina. En lo sucesivo, cuando se utiliza la expresión “tensión térmica”, esta simplemente significa la tensión térmica sobre el rotor de la turbina, y cuando se utiliza la expresión “expansión térmica diferencial”, esta simplemente significa la expansión térmica diferencial axial del rotor de la turbina y la carcasa.

Las restricciones de arranque calculadas por el dispositivo de predicción 22 incluyen al menos una de la tensión térmica y la expansión térmica diferencial de la turbina de vapor 3 que aparecen durante el período de predicción. La predicción de la tensión térmica, en particular, se describe a continuación a modo de ejemplo en la presente realización. Además, el período de predicción es un tiempo que incluye un tiempo de respuesta desde un inicio de control del controlador 12, 14 e impartir un cambio en la cantidad de calor que genera el equipo de fuente de calor 1, hasta que la turbina de vapor 3 haya sufrido un cambio en la restricción de arranque. Es decir, el período de predicción es el tiempo de respuesta o el tiempo que se ha fijado para que sea más prolongado que el tiempo de respuesta. El período de predicción difiere según la clase de restricción de arranque. Por ejemplo, el tiempo requerido para que una tensión térmica comience a cambiar por una razón tal como una demora en la transferencia de calor es más corto que el tiempo requerido para que se inicie el desarrollo de la expansión térmica diferencial por una razón tal como la demora en la transferencia de calor.

Las restricciones de arranque se pueden calcular según las reglas conocidas de la termodinámica y/o las reglas de ingeniería en transferencia de calor. Las secuencias de cálculo de tensión térmica que ejecuta el dispositivo de predicción 22 se exponen a continuación a modo de ejemplo.

Secuencia A1

La variable de entrada de control del controlador 12, 14 corresponde a las velocidades de suministro del medio de calor y del fluido con baja temperatura hacia el equipo de fuente de calor 1 y, por lo tanto, está estrechamente relacionada con un estado de la carga térmica del equipo de fuente de calor 1. Por consiguiente, primero un proceso en el cual la propagación de materia y calor desde el equipo de fuente de calor 1 a través del generador de vapor 2 hacia la turbina de vapor 3 se calcula a partir de la variable de entrada de control del controlador 12, 14 que ha medido el instrumento de medición de variables de entrada de control 11, 13. A continuación además se calculan a partir del resultado de ese cálculo un caudal, una presión, una temperatura y otras magnitudes físicas de la planta del vapor que se estima se han de alcanzar en una entrada de la turbina de vapor 3 después de que haya transcurrido el período previamente fijado. Se puede realizar el cálculo predictivo de las magnitudes físicas de la planta suponiendo en primer lugar que las velocidades de cambio actuales del caudal de flujo del medio de calor y del caudal del fluido con baja temperatura (es decir, las velocidades de cambio de la variable de entrada de control del controlador 12, 14) permanecen invariables desde el momento actual hasta el período previamente fijado, calculando luego, a partir del valor medido por el instrumento de medición de variables de entrada de control 11, 13, un valor que se estima que la variable de entrada de control del controlador 12, 14 va a tomar después de transcurrido el período previamente fijado, y calculando las magnitudes físicas de la planta a partir del valor calculado de la variable de entrada de control en la forma descrita anteriormente.

Secuencia A2

A continuación, sobre la base de los resultados del cálculo en la secuencia A1, se calculan presiones, temperaturas, coeficiente de transferencia de calor, y otras variables en diversas etapas de la turbina de vapor 3 teniendo en cuenta una caída de presión en una primera etapa de la turbina de vapor 3.

Secuencia A3

Se calcula la transferencia de calor del vapor al rotor de la turbina a partir de los resultados del cálculo en la secuencia A2, y luego de eso, se calcula una distribución de temperatura en una dirección radial del rotor de la turbina a partir de un resultado de ese cálculo.

Secuencia A4

Finalmente, a partir del resultado del cálculo en la secuencia A3, se calcula una tensión térmica que se estima se ha de producir luego de transcurrido el período previamente fijado, de acuerdo con las reglas de la ingeniería de materiales que usan un coeficiente de expansión lineal, el módulo de Young, el coeficiente de Poisson, y similares.

El dispositivo de predicción 22 ejecuta las secuencias anteriores para calcular las restricciones de arranque en un ciclo de muestra predeterminado, luego almacena las restricciones de arranque calculadas y envía períodos de

predicción de información de la serie de tiempo al regulador de variables de entrada de control 23 para cada período de predicción.

(2) Regulador de variables de entrada de control

5 El regulador de variables de entrada de control 23 calcula variables de entrada de control del controlador 12, 14 de modo que los datos de predicción que han ingresado desde el dispositivo de predicción 22 estén comprendidos dentro de un intervalo de los valores límite que se ha fijado de antemano en el proceso de arranque de la turbina de vapor 3. Estas variables de entrada de control se calculan a partir de desviaciones entre los valores límite y un valor predicho (p. ej., un valor pico) de la información de las series de tiempo de las restricciones de arranque que se han ingresado desde el dispositivo de predicción 22, y los cálculos se realizan de manera que, por ejemplo, el valor predicho no se superponga ni se aproxime a los valores límite. Las variables de entrada de control para alcanzar el controlador de flujo del medio de calor 12 se envían al dispositivo de salida de señales de control 24 con antelación, y las variables de entrada de control para alcanzar el controlador de flujo de fluido con baja temperatura 14 se emiten al dispositivo de salida de señales de control 25 con antelación.

(3) Dispositivos de salida de señales de control

15 El dispositivo de salida de señales de control 24 calcula un valor de la orden dirigida al controlador de flujo del medio de calor 12, a partir de las variables de entrada de control que el regulador de variables de entrada de control 23 ha calculado, y envía el valor de la orden calculado hacia el controlador del medio de calor 12. El valor de la orden al controlador del medio de calor 12 se determina mediante características del dispositivo representadas numéricamente. En la presente realización, el valor de la orden se calcula a partir de un caudal de combustible que satisface una orden de carga de la turbina de gas (MWD), por ejemplo. Después de que se ha enviado el valor de la orden, el controlador del medio de calor 12 ejecuta un control PID de modo que la variable de entrada de control medida por el instrumento de medición de variables de entrada de control 11 se controlará para acercarse a un valor objetivo (punto fijado) de la variable de entrada de control.

25 El dispositivo de salida de señales de control 25 calcula un valor de la orden dirigida al controlador de flujo de fluido con baja temperatura 14, a partir de las variables de entrada de control que calculó el regulador de variables de entrada de control 23, y envía el valor de la orden calculado hacia el controlador de flujo de fluido con baja temperatura 14. El valor de la orden al controlador de flujo de fluido con baja temperatura 14 también se determina mediante características del dispositivo representadas numéricamente. En la presente realización, el valor de la orden se calcula a partir de un caudal de aire que satisface una orden de velocidad de la turbina de gas, por ejemplo. Después de que se ha enviado el valor de la orden, el controlador del flujo de fluido con baja temperatura 14 ejecuta un control PID de modo que la variable de entrada de control medida por el instrumento de medición de variables de entrada de control 13 se controlará para acercarse a un valor objetivo (punto fijado) de la variable de entrada de control.

3. Secuencia de control de arranque

35 La Fig. 2 es un diagrama de flujo que representa una secuencia de control de arranque que realiza el dispositivo de control de arranque de la turbina de vapor 21 para la turbina de vapor 3, y la Fig. 3 es un diagrama complementario explicativo de la secuencia de control de arranque.

Etapas S101 a S103

40 Las etapas S101 a S103, presentadas en la Fig. 2, constituyen una secuencia de toma de muestra de datos de predicción de restricciones de arranque que ejecuta el dispositivo de predicción 22. Es decir, el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 21 inicia la secuencia de toma de muestra de datos para arrancar la turbina de vapor 3, y luego de esto, el controlador 21 activa el dispositivo de predicción 22 para calcular las magnitudes físicas de la planta que se estima tendrá la planta después del transcurso del período previamente fijado (etapa S101), y luego calcula las restricciones de arranque a partir de las magnitudes físicas calculadas de la planta (etapa S102). 45 La secuencia de cálculo de las magnitudes físicas de la planta y la secuencia de cálculo de las restricciones de arranque son como se describió anteriormente. Además, dado que la presente realización supone que, como se describió anteriormente, la variable de control de entrada del controlador 12, 14 cambia a una velocidad actual de cambio dentro del período previamente fijado para asegurar una carga de procesamiento más liviana, las restricciones de arranque se calculan suponiendo tales cambios lineales en la restricción de arranque (en el presente ejemplo, tensión térmica) 201 que se presentan en la Fig. 3. 50

Después del cálculo de las restricciones de arranque, el dispositivo de predicción 22 determina si el período de predicción ha pasado desde el arranque de la turbina de vapor (etapa S103), y a continuación hasta que haya pasado el período de predicción, repite las etapas S101-S103 para tomar muestras de valores calculados de restricciones de arranque en ciclos fijos (los ciclos de procesamiento de las etapas S101-S103). Después de tomar muestras de los valores calculados de restricciones de arranque correspondientes al período de predicción, el dispositivo de control de arranque de la turbina de vapor 21 cambia el control de secuencia a las etapas S104 a S107. 55

Etapas S104 a S107

Las etapas S104 a S107 constituyen una secuencia que ejecuta el regulador de variables de entrada de control 23, y esta secuencia es una secuencia de control ejecutada por el controlador 12, 14.

5 En la etapa S104, las variables de entrada de control de los controladores 12, 14 se calculan a partir del período de predicción de la información de las series de tiempo de las restricciones de arranque predichas que se obtuvo en la secuencia de toma de muestras de las etapas S101-S103. En la etapa S105, los valores de las órdenes se envían a los controladores 12, 14 mediante los dispositivos de salida de señales de control 24, 25 y se corrigen las correspondientes variables de entrada de control de los controladores 12, 14. En la presente realización, tal como se indica mediante una flecha 202 en la Fig. 3, un tiempo 203 en el cual los valores de la orden se envían a los controladores 12, 14 en la etapa S105 es corto en relación con el período de predicción, ocupando solo un cierto tiempo inicial del período de predicción (este cierto tiempo se denominará en lo sucesivo como el intervalo de actualización de entrada de control). Una pluralidad de programas para ejecutar aquí la secuencia que se presenta en la Fig. 2 están activos en ciclos del intervalo de actualización de entrada de control, con diferencias horarias. Por consiguiente, los valores de las órdenes se imparten nuevamente a los controladores 12, 14 en los ciclos de intervalo de actualización de entrada de control mediante los programas activos con las diferencias de tiempo. Por lo tanto, los valores de las órdenes sobre la base de los datos de restricciones de arranque predichos correspondientes al período de predicción más prolongado que un tiempo de respuesta de las restricciones de arranque se imparten a los controladores 12, 14 en un ciclo más corto que el período de predicción. Si la cantidad de programas que ejecutan la secuencia de la Fig. 2 con las diferencias de tiempo se toma como A, el período de predicción es igual a un valor obtenido al multiplicar el intervalo de actualización de entrada de control por A, de modo que esto permite evitar que se superpongan las salidas del mismo valor de la orden mientras que se asegura la continuidad de la salida de los valores de las órdenes.

25 Después de la salida de las señales de la orden hacia los controladores 12, 14, en la etapa S106 se determina si se satisfacen las condiciones para completar el arranque. Si se satisfacen las condiciones, se completa la secuencia en la Fig. 2, y si no se satisfacen las condiciones, el control de secuencia regresa al mismísimo comienzo (INICIO) de la secuencia de control de arranque, como se presenta en la Fig. 2. Las condiciones para completar el arranque son aquí condiciones que se toman básicas para determinar si la central eléctrica con turbina de vapor ha cambiado a la operación nominal (p. ej., si el caudal de combustible, la salida de la turbina, la salida del generador, y similares, han alcanzado los respectivos valores nominales), y estas condiciones se definen sobre la base de las especificaciones de la planta. Esto significa que hasta que se no hayan satisfecho las condiciones para completar el arranque, es decir, durante la secuencia de control de arranque, el dispositivo de control de arranque de la turbina de vapor 21 ejecutará la secuencia de la Fig. 2 durante el ciclo del período de predicción.

El control futuro de las magnitudes físicas del vapor generado por el generador de vapor 2 se realizará mediante la ejecución repetida de la secuencia anterior.

35 4. Secuencia del cálculo de variables de control de entrada

La Fig. 4 es un diagrama de flujo que muestra los detalles de la etapa S104 en la secuencia de la Fig. 2.

En el diagrama de flujo de la Fig. 4, se determina en primer lugar (etapa S104a) si las restricciones de arranque son menores que los respectivos valores umbral (puntos fijados). Cada uno de los valores umbral difiere según la clase de restricción de arranque, y es un valor que se ha fijado para que sea menor que un valor límite correspondiente, por ejemplo, un valor de 90% del valor límite. Si las restricciones de arranque son menores que los valores umbral, se fijan las variables de control de entrada de los controladores 12, 14 para aumentar los caudales del medio de calor y del fluido con baja temperatura (etapas S104b, 104c). Si las restricciones de arranque son iguales o mayores que los valores umbral, las variables de control de entrada de los controladores 12, 14 se ajustan para reducir el caudal del medio de calor (etapa S104d) y mantener el del fluido con baja temperatura (etapa S104e). Sobre la base de las diferencias entre, por ejemplo, los valores pico y los valores límite (puntos fijados para cada restricción de arranque) de la información de las series de tiempo obtenida durante el período de predicción, se fijan variables de control de entrada de modo que las restricciones de arranque que se producen después de transcurrido el período previamente fijado estarán comprendidas dentro de los intervalos de los valores límite. Después de la ejecución de las etapas S104b, S104c o las etapas S104d, S104c, la etapa S104 finaliza y luego el control cambia hacia la etapa S105. El orden de ejecución de las etapas S104b, S104c se puede invertir. Lo mismo también se aplica a las etapas S104d, S104e.

5. Efectos beneficiosos

La presente realización produce los siguientes efectos beneficiosos.

(1) Rápido arranque de la turbina de vapor

55 De acuerdo con la presente realización, la cantidad y la temperatura del vapor generado por el generador de vapor 2 se puede controlar al controlar al menos uno entre los caudales del medio de calor y del fluido con baja temperatura suministrado al equipo de fuente de calor 1, un elemento provisto en la parte delantera del generador de vapor 2. Por

ejemplo, la temperatura del vapor se puede controlar principalmente mediante el funcionamiento del controlador de flujo de fuente de calor 12 y controlando el caudal del medio de calor. Esto se debe a que la temperatura del vapor cambia con una temperatura de un fluido con alta temperatura suministrado al generador de vapor 2. Además, el caudal del vapor se puede controlar principalmente mediante el funcionamiento del controlador de flujo de fluido con baja temperatura 14 y controlando el caudal de fluido con baja temperatura. Esto se debe a que al controlar el caudal de fluido con baja temperatura se controla el de fluido con alta temperatura, cambiando, por tanto, la cantidad de vapor generado en el generador de vapor 2.

Por tanto, se pueden regular ambos, el caudal y la temperatura del vapor, que son las magnitudes físicas estrechamente asociadas con las restricciones de arranque tales como una tensión térmica y una expansión térmica diferencial. Esto a su vez permite controlar flexiblemente el flujo de vapor y la temperatura del vapor según un estado particular de la turbina de vapor 3, y de este modo es posible arrancar rápidamente la turbina de vapor 3 en una forma apropiada.

Además, dado que la cantidad de vapor generado puede aumentar en sí misma, un tiempo de arranque de la turbina de vapor se puede reducir en relación con una configuración convencional en la cual un caudal de vapor que ya se ha generado en un generador de vapor es controlado por una válvula de control y entonces se regula el caudal del vapor suministrado a la turbina de vapor. En la configuración convencional, el caudal del vapor está limitado a un estrecho intervalo de regulación, dado que si bien se podría regular la disminución del flujo de vapor con la válvula de control, el caudal de vapor no se puede aumentar.

(2) Supresión de pérdida de energía

En la presente realización, dado que la cantidad de vapor generado en el generador de vapor 2 puede controlarse en sí misma, la temperatura del vapor y la cantidad de vapor generado se pueden controlar de manera flexible en respuesta a las condiciones de funcionamiento. Esto permite suprimir la pérdida de energía en relación con la configuración convencional en la cual un exceso de vapor que ha ya sido generado se descarta mediante una válvula de derivación para regular el flujo de vapor.

(3) Cálculo predictivo exacto y altamente eficiente

En el caso de una configuración general en la cual se predice una tensión térmica y similares y la velocidad de suministro de vapor suministrado a una turbina de vapor se controla con una válvula de control, el cálculo predictivo se ejecuta usualmente en una pluralidad de patrones para una operación de salida en un valor de una orden para un ángulo de apertura de la válvula de control. Este método de cálculo está destinado a elevar la adecuación del control al adoptar resultados de cálculo predictivo de los patrones como una elección u opción. Este método, sin embargo, aplica una carga de cálculo extremadamente significativa debido a la ejecución de cálculos predictivos de los patrones, hace absolutamente necesario impartir un margen a una capacidad de cálculo de un panel de control o tablero de conmutación de modo que el cálculo predictivo acompañe un cambio en la restricción de arranque, y/o requiere un alto nivel de conocimiento para la construcción de un algoritmo para aumentar la velocidad de cálculo.

En un caso de la presente realización, por otra parte, se puede implementar un cálculo predictivo más veloz al limitar una transición supuesta de las velocidades de cambio de los valores medidos por los instrumentos de medición de variables de entrada 11, 13, a un patrón, y aplicar este patrón solamente al cálculo predictivo. Como resultado, el período de toma de muestras de los valores predichos de las magnitudes físicas de la planta se puede mejorar y las variables de control de entrada se pueden controlar correspondientemente con mayor frecuencia.

Esto proporciona gran exactitud en la predicción, y aun reduce la capacidad de procesamiento del cálculo, reduciendo así las restricciones sobre una memoria, frecuencia horaria, y otros factores de un panel de control o tablero de conmutación. Asimismo se prevé una gran contribución para la aplicación y el funcionamiento de una máquina real estable y de fácil montaje. Por otra parte, si se fija un tiempo más prolongado que el tiempo de respuesta de las restricciones de arranque como el período de predicción, esto aumenta la exactitud de las restricciones de arranque consideradas.

Segunda realización

La Fig. 5 es un diagrama de bloques esquemático de una central eléctrica con turbina de vapor según una segunda realización de la presente invención. En la figura, se les asigna a cada uno de los sustancialmente mismos elementos que en la primera realización el mismo número de referencia como en los dibujos que se presentan, y se omite la descripción de estos elementos en esta solicitud.

Como se presenta en la Fig. 5, la presente realización difiere de la primera realización en que la presente realización incluye una función que corrige los valores predichos de las magnitudes físicas de la planta. Para ser más específicos, la central eléctrica con turbina de vapor que se presenta en la figura incluye un medidor de presión 15 y un medidor de temperatura 16 en una línea de vapor que conecta el generador de vapor 2 y la turbina de vapor 3. La presión y la temperatura del vapor suministrado a la turbina de vapor 3 se miden mediante el medidor de presión 15 y el medidor de temperatura 16, respectivamente, y luego se ingresan con los valores medidos por los instrumentos de medición de variables de control de entrada 11, 13 al dispositivo de predicción 22. El dispositivo de predicción 22

luego usa las mediciones del medidor de presión 15 y el medidor de temperatura 16 para corregir las magnitudes físicas de la planta que han sido predichas a partir de los valores medidos por los instrumentos de medición de variables de control de entrada 11, 13.

- 5 Durante el funcionamiento de la planta, por ejemplo, es probable que se produzca una cierta correlación entre los valores predichos y los valores medidos de la presión de vapor y de la temperatura de vapor. Por ejemplo, el valor predicho se puede calcular como un cierto nivel superior o inferior al valor medido. Dicha correlación se almacena como una expresión de relación o una tabla en una región de almacenamiento de datos del dispositivo de predicción 22. Cuando el dispositivo de predicción 22 realiza un cálculo predictivo de las magnitudes físicas de la planta según la secuencia A1, los valores predichos que se han calculado a partir de los valores medidos por los instrumentos de medición de variables de control de entrada 11,13, se corrigen sobre la base de valores medidos por el medidor de presión 15 y el medidor de temperatura 16. El dispositivo de predicción 22 realiza la corrección según la correlación anterior. Después de la corrección, el dispositivo 22 ejecuta las secuencias A2-A4 y calcula los valores predichos de las restricciones de arranque sobre la base de las magnitudes físicas de la planta obtenidas después de la corrección.
- 10
- 15 Todos los otros factores, inclusive la configuración y las secuencias de control, son sustancialmente los mismos que en la primera realización.

La presente realización proporciona sustancialmente los mismos efectos beneficiosos que los de la primera realización.

- 20 Además, al aumentar la exactitud de los valores predichos de las magnitudes físicas de la planta mediante la corrección también se mejora la exactitud de la predicción de las restricciones de arranque y se asegura el control de arranque adecuado de la turbina de vapor 3.

Si bien en la presente realización se ha descrito un ejemplo de corrección de los valores predichos tanto de la temperatura de vapor como de la presión de vapor, el medidor de presión 15 y el medidor de temperatura 16 se pueden omitir para corregir solo uno de los dos valores.

- 25 Tercera realización

La Fig. 6 es un diagrama de bloques esquemático de una central eléctrica con turbina de vapor según una tercera realización de la presente invención. En la figura, se les asigna a cada uno de los sustancialmente mismos elementos que en la primera y/o la segunda realización el mismo número de referencia como en los dibujos que se presentan, y se omite la descripción de estos elementos en esta solicitud.

- 30 La presente realización difiere de la primera y la segunda realización en que el funcionamiento depende de un modo de operación del equipo de fuente de calor 1. Más específicamente, un regulador de variables de entrada de control 26 en la presente realización tiene una función de retención de orden, es decir, cuando la carga (carga de turbina de gas) sobre el equipo de fuente de calor 1 alcanza un valor de carga previamente fijado (p. ej., un valor de carga previamente definido durante la planificación del funcionamiento de la planta), los valores de comando dirigidos a los controladores 12, 14 se retienen durante un tiempo fijo mediante la mencionada función de retención del regulador 26.
- 35

- 40 En general, se fija para la turbina de gas una pluralidad de bandas específicas en las cuales se ha de retener la carga y a menudo esta carga tiene que ser retenida durante un tiempo prefijado con cada llegada de la carga a una de las bandas. Cuando se arranca una central eléctrica equipada con una turbina de gas que tiene dicha restricción de funcionamiento, la retención de carga y el cambio de carga se repiten como se presenta en la Fig. 7. La presente realización se adapta a dicha restricción en un método de control de arranque.

La Fig. 8 es un diagrama explicativo de un método para controlar un equipo de fuente de calor 1 mediante el uso del regulador de variables de entrada de control 26.

- 45 Durante la secuencia de control de arranque, el regulador de variables de entrada de control 26 calcula la carga del equipo de fuente de calor 1. La carga de fuente de calor 1 se puede calcular a partir del caudal de fuente de calor (el valor medido por el controlador de flujo de fuente de calor 12) y/o similares. El regulador de variables de entrada de control 26 determina en todo momento si la carga del equipo de fuente de calor 1 ha alcanzado cualquiera de los varios puntos fijados de carga, y si la carga del equipo de fuente de calor 1 ha alcanzado uno de los puntos fijados de carga y necesita ser retenido por razones de funcionamiento, el regulador 26 fija un tiempo de retención de carga como se presenta en un ejemplo de la Fig. 8A. Por ejemplo, cuando una diferencia derivada de restar un valor pico de una tensión térmica predicha de un valor límite de una tensión térmica se expresa como $\Delta\delta$, si $\Delta\delta$ en el ejemplo de la Fig. 8A es un valor positivo, el tiempo de retención de la carga se fija para que sea más corto con $\Delta\delta$ mayor, y si $\Delta\delta$ es un valor negativo, el tiempo de retención de la carga se fija para que sea más largo con $|\Delta\delta|$ mayor. Además, el regulador de variables de entrada de control 26 envía las variables de entrada de control actuales como valores objetivo a los dispositivos de salida de señales de control 24, 25 sin depender de los valores predichos que ingresan desde el dispositivo de predicción 22. Después de eso, el regulador 26 retiene el ajuste de las variables de entrada de control objetivo hasta que haya transcurrido el tiempo prefijado. Después de transcurrido el tiempo prefijado, el
- 50
- 55

control cambia a control de variables de carga del equipo de fuente de calor 1. Cuando el estado de funcionamiento del equipo de fuente de calor 1 es un cambio de carga, el regulador de variables de entrada de control 26 ejecuta el control de variables de carga del equipo de fuente de calor 1 sin ejecutar la secuencia de retención de variables de entrada de control descrita anteriormente.

- 5 Cuando el regulador de variables de entrada de control 26 ejecuta el control de variables de carga del equipo de fuente de calor 1, el regulador 26 fija un valor de orden de velocidad de cambio de carga (variables de entrada de control) como se presenta en la Fig. 8B, y emite el valor de comando a los dispositivos de salida de señales de control 24, 25. Por ejemplo, si el valor de $\Delta\delta$ es positivo, la velocidad de cambio de carga se fija para que sea mayor según el valor particular de $\Delta\delta$, y si el valor de $\Delta\delta$ es negativo, la velocidad de cambio de carga se fija para que sea menor según el valor de $\Delta\delta$. Cuando la carga del equipo de fuente de calor 1 alcanza otro punto fijado como resultado de dicho control de variables, el tiempo prefijado se retiene una vez más y el control de las variables de entrada de control regresa al control de variables.

10 Por lo tanto, aun cuando el equipo de fuente de calor 1 tiene restricciones de funcionamiento en la transición de la carga, la presente realización proporciona sustancialmente los mismos efectos beneficiosos que los de la primera y la segunda realización.

15 Otros ejemplos

Si bien en las realizaciones primera a tercera se han descrito ejemplos de cálculo de una tensión térmica como una restricción de arranque con el dispositivo de predicción 22, la expansión térmica diferencial o ambas entre una tensión térmica y una expansión térmica diferencial se pueden calcular como una(s) variable(s) de entrada de control. En las secuencias B1 a B5 a continuación se presentan ejemplos de cálculo de secuencias en relación con el cálculo de expansión térmica diferencial.

20 Secuencia B1

El caudal, la presión, la temperatura y otros factores del vapor que se estima se han de alcanzar en la entrada de la turbina de vapor 3 después de transcurrido el tiempo prefijado se calculan sustancialmente de la misma forma en que se calcula la tensión térmica.

25 Secuencia B2

Sobre la base de los resultados de los cálculos obtenidos en la secuencia B1, se calculan las presiones, las temperaturas, los coeficientes de transferencia de calor, y otros factores de varias secciones del rotor de la turbina y de la carcasa, teniendo en cuenta caídas de presión en las diversas secciones del rotor de la turbina y la carcasa.

30 Secuencia B3

Las temperaturas de diversas secciones del rotor de la turbina y la carcasa según un corte en dirección axial de la turbina se calculan mediante cálculos de transferencia de calor sobre la base de los resultados de los cálculos de la secuencia B2.

35 Secuencia B4

Se calculan las magnitudes de cambio térmico axial (expansión) del rotor de la turbina y la carcasa a partir de los resultados de los cálculos de la secuencia B3.

40 Secuencia B5

Sobre la base de los resultados de los cálculos obtenidos en la secuencia B4, se calcula la expansión térmica diferencial del rotor de la turbina y la carcasa después de transcurrido el período previamente fijado, según, por ejemplo, las reglas de ingeniería de materiales que usan un coeficiente de expansión lineal.

Además, si bien se ha tomado a modo de ejemplo una central eléctrica de ciclo combinado, la presente invención se puede aplicar sustancialmente a todos los tipos de centrales eléctricas que incluyen turbinas de vapor, representados por centrales eléctricas de vapor y centrales eléctricas térmica solar. Las secuencias que se han de utilizar para el arranque de estas centrales eléctricas también son sustancialmente las mismas que en las realizaciones.

Por ejemplo, cuando la presente invención se aplica a una central eléctrica de vapor, el carbón o el gas natural son equivalentes a la fuente de calor, el aire o el oxígeno al fluido con baja temperatura, una válvula para control de combustible al controlador 12, 14, una caldera, un horno, al equipo de fuente de calor 1, un gas de combustión al fluido con alta temperatura, la sección de transferencia de calor de una caldera (sección generadora de vapor) al generador de vapor 2, y un controlador de carga de caldera al regulador de variables de entrada de control 2.

Por ejemplo, cuando se aplica la presente invención a una central eléctrica térmica solar, la luz solar es equivalente a la fuente de calor, el accionamiento del panel colector de calor al controlador de flujo del medio de calor 12, un

5 panel colector de calor al equipo de fuente de calor 1, el instrumento de medición del ángulo y la dirección del panel colector de calor al instrumento de medición de variables de entrada de control 11, una sal disolvente a alta temperatura, o cualquier otra conversión de energía solar adecuada y medio de retención al fluido con baja temperatura y al fluido con alta temperatura, una válvula de control de flujo de combustible al controlador de flujo de fluido con baja temperatura 14, y un regulador de variables de entrada de control al regulador de variables de entrada de control 23.

Por otra parte, la presión de vapor, la temperatura del vapor y el caudal de combustible que se ingresan en un método de cálculo predictivo 32 pueden reemplazarse solo con la presión de vapor o la temperatura del vapor y se puede realizar un cálculo predictivo de una tensión térmica.

10 Asimismo, las magnitudes físicas de la planta pueden incluir una temperatura, una presión, un caudal del vapor saliente así como también del vapor entrante, el vapor que fluye hacia la turbina de vapor 3. El aumento del número de clases de información acerca de las magnitudes físicas de la central permite mejorar la exactitud de la predicción de las restricciones de arranque. Además, si bien se han adoptado los valores medidos por los instrumentos de medición de variables de entrada de control 12, 14 que se han de usar para el cálculo predictivo de las restricciones de arranque, esos valores se pueden reemplazar en cambio por los valores de comando que salen hacia los controladores 12, 14.

20 Las características, los componentes y los detalles específicos de las estructuras de las realizaciones descritas anteriormente se pueden intercambiar o combinar para formar realizaciones adicionales optimizadas para la aplicación respectiva. En la medida en que esas modificaciones son evidentes para un experto en la técnica, tales modificaciones serán descritas implícitamente por la descripción precedente sin especificar explícitamente cada combinación posible.

REIVINDICACIONES

1. Una central eléctrica con turbina de vapor, que comprende:
- un equipo de fuente de calor (1) que calienta un flujo con baja temperatura al aplicar un medio de calor para generar un flujo con alta temperatura;
- 5 un generador de vapor (2) que genera vapor usando el flujo con alta temperatura generado por el equipo de fuente de calor (1);
- una turbina de vapor (3) accionada por el vapor generado por el generador de vapor (2);
- un generador eléctrico (4) que convierte la fuerza motriz rotativa de la turbina de vapor (3) en energía eléctrica;
- 10 un medio controlador de calor (12) que controla la velocidad de suministro del medio de calor suministrado al equipo de fuente de calor (1);
- un controlador de flujo con baja temperatura (14) que controla una velocidad de suministro del flujo con baja temperatura suministrado al equipo de fuente de calor (1),
- caracterizada por que comprende
- 15 un dispositivo de predicción (22) que predice restricciones de arranque durante un período de predicción fijado previamente después de un tiempo fijado a partir de la hora actual de la turbina de vapor (3) a partir de variables de entrada de control del controlador del medio de calor (12) y del controlador de flujo con baja temperatura (14) cuando arranca la turbina de vapor (3);
- un regulador de variables de entrada de control (23) que fija las variables de entrada de control del controlador del medio de calor (12) y del controlador de flujo con baja temperatura (14) a partir de valores límite de las restricciones de arranque así como también a partir de un valor predicho por el dispositivo de predicción; y
- 20 un dispositivo de salida de señales de control (24, 25) que envía valores de órdenes al controlador del medio de calor (12) y al controlador de flujo con baja temperatura (14) en respuesta a las variables de entrada de control.
2. La central eléctrica con turbina de vapor según la reivindicación 1, en donde el dispositivo de predicción (22) calcula al menos una entre la tensión térmica y la expansión térmica diferencial de la turbina de vapor (3) que se produce durante el período de predicción previamente fijado, como un valor predicho de las restricciones de arranque.
- 25 3. La central eléctrica con turbina de vapor según la reivindicación 2, en donde el período de predicción se fija para que sea prologado con respecto a un tiempo de respuesta que se inicia a partir del inicio del control de que el equipo de fuente de calor haya sufrido un cambio en las restricciones de arranque.
- 30 4. La central eléctrica con turbina de vapor según la reivindicación 1, que además comprende:
- un instrumento de medición que mide al menos una entre una presión y una temperatura del vapor suministrado a la turbina de vapor;
- donde la corrección de un valor predicho de las restricciones de arranque está basado en un valor medido por el instrumento de medición.
- 35 5. La central eléctrica con turbina de vapor según la reivindicación 1, en donde:
- el equipo de fuente de calor (1) es una turbina de gas, el medio de calor es un combustible, y el flujo con baja temperatura es un flujo de aire.
6. La central eléctrica con turbina de vapor según la reivindicación 5, en donde:
- 40 cuando un valor de carga de la turbina de gas es igual a un punto fijado previamente, el regulador de variables de entrada de control retiene durante un tiempo fijado previamente los valores de las órdenes que se envían al controlador del medio de calor (12) y al controlador del flujo con baja temperatura (14).

Fig. 1

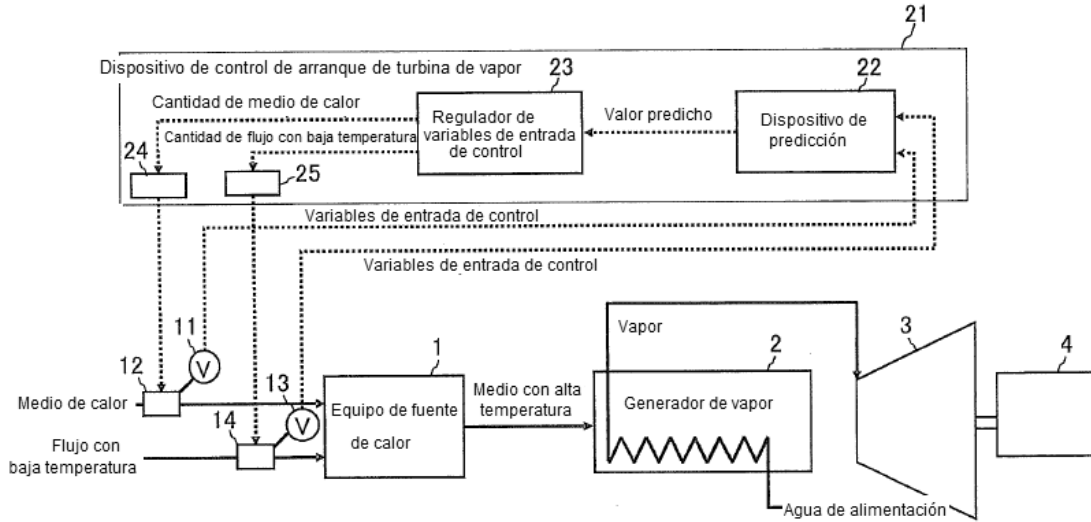


Fig. 2

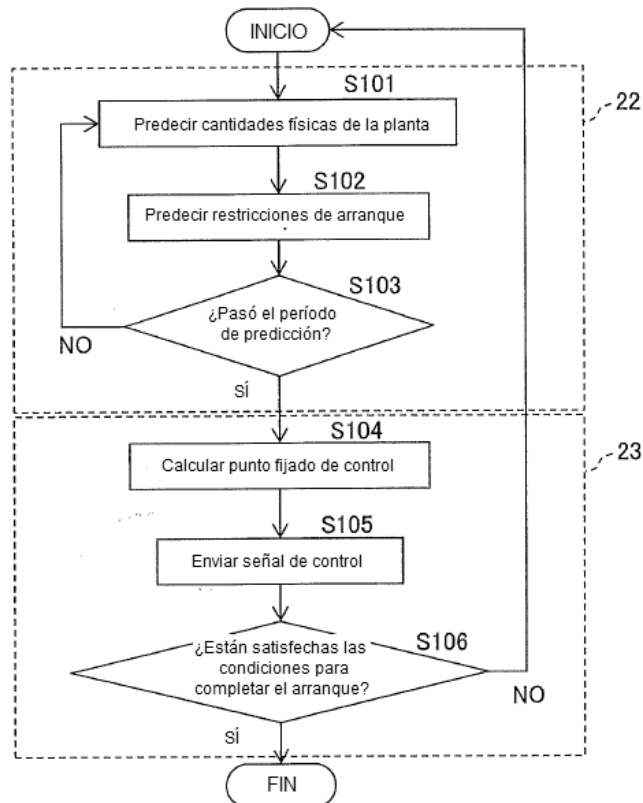


Fig. 3

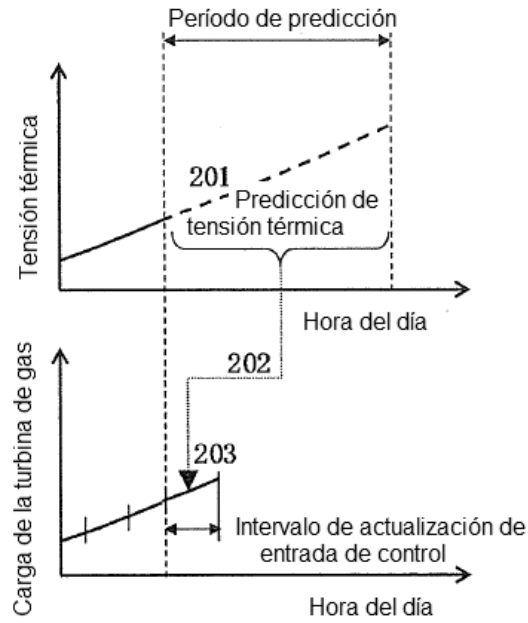


Fig. 4

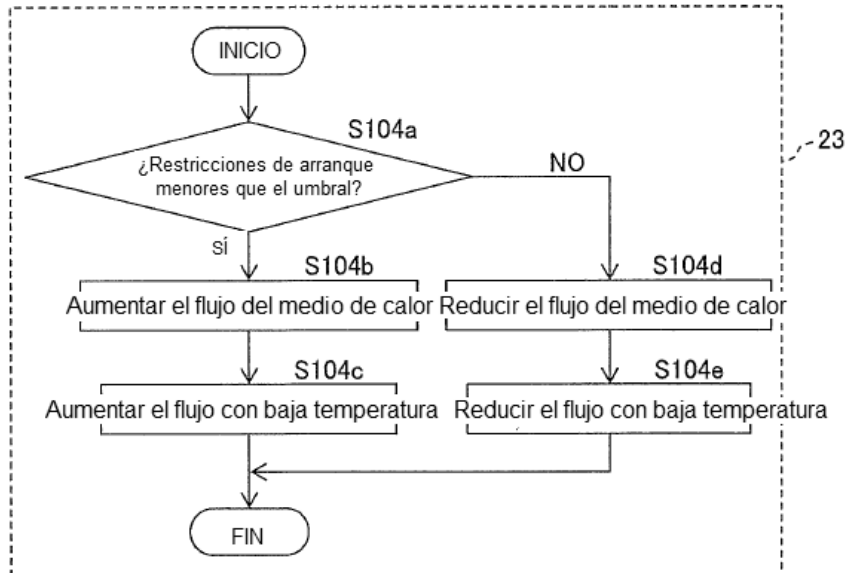


Fig. 5

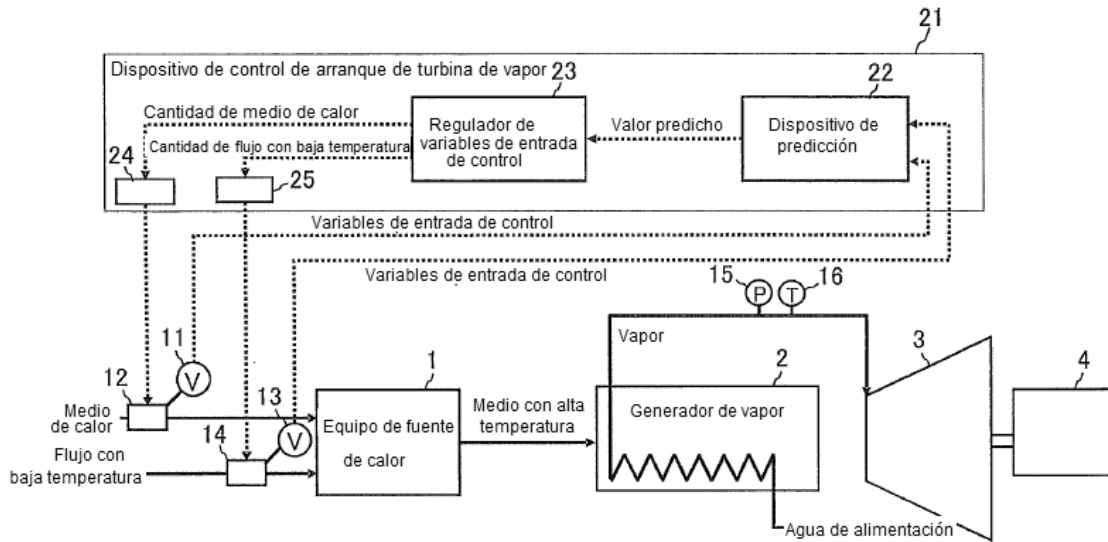


Fig. 6

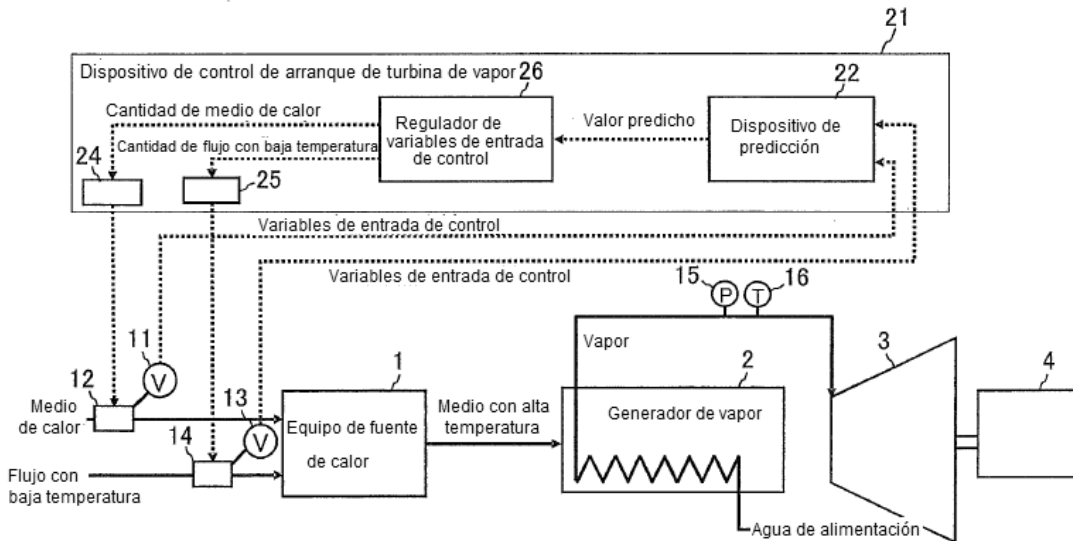


Fig. 7

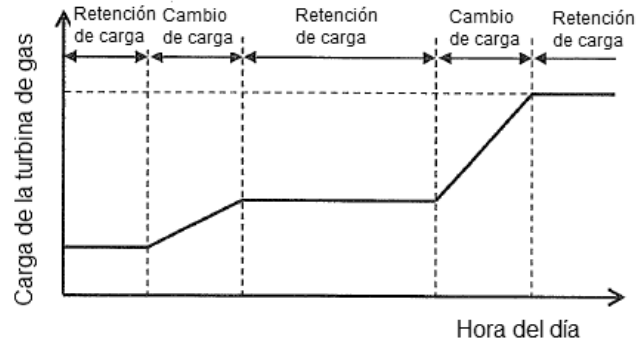


Fig. 8

