

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 849**

51 Int. Cl.:

**F01K 13/02** (2006.01)

**F22B 35/00** (2006.01)

**F01D 19/02** (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 13192840 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2017 EP 2792857**

54 Título: **Central eléctrica de turbina de vapor**

30 Prioridad:

**27.03.2013 JP 2013065662**

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

**24.11.2017**

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;  
NOMURA, KENICHIRO;  
YAMANAKA, KAZUNORI;  
TOMIZAWA, MASAOKI;  
TAKAHASHI, YUICHI y  
SUZUKI, FUMIYUKI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 643 849 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 de turbina de vapor

**Antecedentes de la invención**

1. Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a una central eléctrica de turbina de vapor.

2. Descripción de la técnica relacionada

Está siendo demandado que el tiempo de arranque de una central de generación eléctrica de turbina de vapor sea reducido aún más para suprimir la inestabilidad de la energía eléctrica en un sistema de energía conectado a red mediante la conexión de energías renovables, representado por generación de energía eólica o generación de energía solar, al sistema de energía. Cuando la turbina de vapor se pone en marcha, no obstante, el vapor aumenta abruptamente tanto en temperatura como en tasa de flujo. Un aumento repentino consecuente en la temperatura superficial del rotor de la turbina respecto a una temperatura interna del mismo aumenta el gradiente de temperatura radial y de esta manera aumenta el esfuerzo térmico. Un esfuerzo térmico excesivo podría acortar la vida del rotor de la turbina. Además, si el cambio de la temperatura del vapor es significativo, ocurre una expansión térmica diferencial debida a una diferencia en la capacidad de calor entre el rotor y la carcasa de la turbina. Si la expansión térmica diferencial aumenta, esto podría conducir a contactar entre el rotor de la turbina en rotación y la carcasa estacionaria, y por lo tanto a dañar a ambos de los mismos. Por consiguiente, el estado de arranque de la turbina de vapor necesita ser controlado para evitar que el esfuerzo térmico del rotor de la turbina y la expansión térmica diferencial del mismo con respecto a la de la carcasa exceda los niveles máximos admisibles respectivos (se hace referencia a las Patentes Japonesas N° 4208397 y 4723884, y JP-2009-281248-A). El documento US 4 888 953 A describe un aparato de control de la central de turbina/caldera que comprime un circuito para accionar una válvula reguladora de flujo de vapor de entrada de turbina sobre la base de una diferencia entre una señal de comando de carga ajustada mediante un valor de esfuerzo térmico de una turbina y una señal de salida medida realmente de una central.

**Compendio de la invención**

Si las cantidades físicas del vapor cambian, el rotor, la carcasa, y otras secciones de la turbina de vapor sufren cambios en una pluralidad de restricciones de puesta en marcha tales como un esfuerzo térmico y una expansión térmica diferencial. Un tiempo de respuesta frente a los cambios en las cantidades físicas del vapor, no obstante, difiere según el tipo de restricción de puesta en marcha. Por ejemplo, el tiempo de respuesta frente a un cambio en el esfuerzo térmico, por ejemplo, es corto en comparación con el de un cambio en la expansión térmica diferencial. Si el control de la central se basa solamente en un valor predicho del esfuerzo térmico, por lo tanto, éste es probable que cause un retardo en un cambio de la expansión térmica diferencial, dando como resultado de esta manera que el nivel máximo admisible de la expansión térmica diferencial sea excedido. Por el contrario si el control de la central se basa solamente en un valor predicho de la expansión térmica diferencial, la precisión de predicción disminuye dado que hay una necesidad de predecir un valor del tiempo de reloj futuro que ha avanzado en un tiempo más largo que el tiempo de reloj actual.

La presente invención se ha hecho con lo anterior en mente, y un objeto de la invención es proporcionar una central eléctrica de turbina de vapor adaptada para iniciar la operación muy eficientemente mediante un control de análisis previo altamente preciso de una pluralidad de sus restricciones de puesta en marcha.

El objeto descrito anteriormente se logra por la invención según la reivindicación 1. Además, los desarrollos preferidos se describen por las reivindicaciones dependientes. Con el fin de alcanzar el objeto anterior, la presente invención incluye un equipo de fuente de calor que calienta un flujo a baja temperatura aplicando un medio de calor y de esta manera genera un flujo a alta temperatura, un generador de vapor que genera vapor usando el flujo a alta temperatura generado por el equipo de fuente de calor, una turbina de vapor accionada por el vapor generado por el generador de vapor, un generador eléctrico que convierte una fuerza motriz rotacional de la turbina de vapor en energía eléctrica, un controlador que controla una carga de la central, y/o un dispositivo de control de arranque de turbina de vapor que predice un valor de una restricción de puesta en marcha debido a un cambio en las cantidades físicas del vapor en la turbina de vapor, y controla el controlador según el valor predicho, en donde el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor incluye al menos un dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental que calcula a partir de una variable de entrada de control del controlador un periodo de predicción de datos de restricción de puesta en marcha fundamental acerca de una restricción de puesta en marcha fundamental que es corta en tiempo de respuesta con respecto al cambio en las cantidades físicas del vapor, al menos un dispositivo de cálculo de variables de entrada de control de referencia que calcula tal variable de entrada de control de referencia del controlador como el valor predicho y calculado por el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental no excederá un valor límite correspondiente, al menos otro dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha que calcula un periodo de predicción correspondiente de datos acerca de una de las otras restricciones de puesta en marcha más larga que la restricción de puesta en marcha fundamental en tiempo de respuesta, del periodo de predicción de datos de variables de entrada de control de

referencia, al menos otro dispositivo de cálculo de variables de entrada de control que calcula otra variable de entrada de control tal del controlador como el valor predicho y calculado por el otro dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha correspondiente no excederá un valor límite correspondiente, y/o un dispositivo de salida de señal de control que emite un valor de comando al controlador según un valor seleccionado de la variable de entrada de control de referencia y la otra variable de entrada de control.

Según la presente invención, una central eléctrica de turbina de vapor inicia la operación muy eficientemente mediante un control de análisis previo altamente preciso de una pluralidad de sus restricciones de puesta en marcha.

### Breve descripción de los dibujos

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

la Fig. 3 es un diagrama explicativo suplementario de la secuencia de control de arranque relacionada con la central eléctrica de turbina de vapor;

la Fig. 4 es un diagrama de bloques esquemático de una central eléctrica de turbina de vapor según una segunda realización de la presente invención;

la Fig. 5 es un diagrama de flujo que representa una secuencia de control de arranque relacionada con la central eléctrica de turbina de vapor según la segunda realización de la presente invención; y

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

### Descripción de las realizaciones preferidas

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

Primera realización

1. Central eléctrica de turbina de vapor

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

La central eléctrica de turbina de vapor mostrada en la Fig. 1 incluye el equipo de fuente de calor 1, un generador de vapor 2, una turbina de vapor 3, un generador eléctrico 4, un controlador de flujo de medio de calor 12, un controlador de flujo a baja temperatura 14, y un dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31. Se describe a continuación un ejemplo en el que el equipo de fuente de calor 1 en la presente realización es una turbina de gas, es decir, la central eléctrica de turbina de vapor es de un tipo de ciclo combinado.

El equipo de fuente de calor 1 usa la cantidad de calor poseído por un medio de calor (en el presente ejemplo, un combustible de gas, un combustible líquido, un combustible que contiene hidrógeno, o similares), para calentar un flujo a baja temperatura (en el ejemplo, un flujo de aire quemado con el combustible) y suministrar este flujo calentado como un flujo a alta temperatura (en el ejemplo, un gas de combustión que se ha usado para accionar la turbina de gas) al generador de vapor 2. El generador de vapor 2 (en el presente ejemplo, una caldera de recuperación de calor residual) calienta el agua de alimentación mediante intercambio de calor con el calor mantenido por el flujo a alta temperatura que se ha generado por el equipo de fuente de calor 1, y por ello genera vapor. El vapor generado de esta manera por el generador de vapor 2 se usa a continuación para accionar la turbina de vapor 3. El generador eléctrico 4 está acoplado coaxialmente a la turbina de vapor 3, y el generador 4 convierte la fuerza de accionamiento rotacional de la turbina de vapor 3 en energía eléctrica. La energía eléctrica que el generador 4 ha generado se emite a, por ejemplo, un sistema de energía eléctrica (no mostrado).

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 del medio de calor que conduce al equipo de fuente de calor 1, y el controlador de flujo del medio de calor 12 controla una tasa de flujo del medio de calor suministrado al equipo de fuente de calor 1. El controlador de flujo a baja temperatura 14 (en el presente ejemplo, IGV) se proporciona a una ruta de suministro de flujo a baja temperatura que conduce al equipo de fuente de calor 1, y el controlador de flujo a baja temperatura 14 controla una tasa de flujo del flujo a baja temperatura suministrado al equipo de fuente de calor 1. Los controladores 12 y 14 funcionan cada uno como un controlador para controlar una carga sobre la central eléctrica de turbina de vapor. Los controladores 12, 14 están equipados cada uno 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, un ángulo de apertura de 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 se introduce al dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31.

Además, una válvula de control de flujo de vapor principal 15 que controla una tasa de flujo del vapor suministrado a la turbina de vapor 3 se proporciona en una línea de vapor principal que conecta el generador de vapor 2 y la turbina de vapor 3. Un sistema de derivación que ventila a un sistema externo una parte del vapor que ha sido generado por el generador de vapor 2 se ramifica fuera de la línea de vapor principal. Una posición en la que el sistema de derivación se ramifica fuera de la línea de vapor principal está entre el generador de vapor 2 y la válvula de control de flujo de vapor principal 15. El sistema de derivación está dotado con una válvula de derivación 16 para controlar una tasa de flujo del vapor en el sistema de derivación. Además, un manómetro 17 y un medidor de temperatura 18 se proporcionan en posiciones más cercanas a un lado aguas abajo de la turbina de vapor 3 que a la posición de ramificación del sistema de derivación en la línea de vapor principal. El manómetro 17 y el medidor de temperatura 18 miden una presión y una temperatura, respectivamente, de un flujo de vapor principal que fluye a través de la línea de vapor principal, y emiten señales correspondientes al dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31. La válvula de control de flujo de vapor principal 15 y la válvula de derivación 16 también tienen una función de controlador para controlar la carga de la central eléctrica de turbina de vapor.

## 2. Dispositivo de control de arranque de turbina de vapor

El dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 predice las restricciones de puesta en marcha debido a cambios en las cantidades físicas del vapor en la turbina de vapor 3, y controla los controladores 12, 14 sobre la base de los valores de restricción de puesta en marcha previstos. El dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 incluye los siguientes elementos: un dispositivo de almacenamiento de variables de entrada de control 19, un dispositivo de almacenamiento de cantidades físicas 20, un dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32, un fijador de variables de entrada de control de referencia 33, un dispositivo de asignación de variables de entrada de control de referencia 34, otros dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a y 35b, otros fijadores de variables de entrada de control 36a y 36b, un dispositivo de determinación de variables de entrada de control 39, y dispositivos de salida de señal de control 40 a 43. Estos elementos se describen a continuación.

### (1) Dispositivo de almacenamiento de variables de entrada de control

El dispositivo de almacenamiento de variables de entrada de control 19 recibe información sobre 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, y almacena la información junto con la información de tiempo de reloj en una ubicación de almacenamiento de datos sobre una base de una serie temporal.

### (2) Dispositivo de almacenamiento de cantidades físicas

El dispositivo de almacenamiento de cantidades físicas 20 recibe información sobre la presión y la temperatura del flujo de vapor principal que han medido el manómetro 17 y el medidor de temperatura 18, y almacena la información junto con la información de tiempo de reloj en la ubicación del almacenamiento de datos sobre una base de una serie temporal.

### (3) Dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental

El dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32 recibe información del valor medido en la variable de entrada de control del controlador de flujo 12, 14, leída desde el dispositivo de almacenamiento de variables de entrada de control 19 durante la puesta en marcha de la central eléctrica de turbina de vapor. El dispositivo de predicción 32 también recibe información de valores medidos sobre la presión y la temperatura del flujo de vapor principal, leída desde el dispositivo de almacenamiento de cantidades físicas 20 durante la puesta en marcha de la central eléctrica de turbina de vapor. A continuación, el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32 predice, a partir de la variable de entrada de control del controlador 12, 14, valores futuros de las restricciones de puesta en marcha que se estima sean impuestas a la turbina de vapor 3 después del transcurso de un periodo de tiempo preestablecido a partir de la hora actual del día, y emite los valores predichos al fijador de variables de entrada de control de referencia 33 (en el presente ejemplo, un controlador de turbina de gas). Además, el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32 calcula las restricciones de puesta en marcha actuales en base a los valores de presión y de temperatura medidos del flujo de vapor principal, y emite los resultados del cálculo al fijador de variables de entrada de control de referencia 33, de manera similar a lo anterior.

El periodo de tiempo preestablecido mencionado anteriormente se refiere al periodo de predicción más largo (descrito más tarde en la presente memoria) o un periodo que se ha establecido que sea más largo que el periodo de predicción. Las restricciones de puesta en marcha se refieren a aquellos cambios en las cantidades físicas debidos a aumentos abruptos de la temperatura de vapor, la presión de vapor, o similares, que aparecerán cuando se arranca la turbina de vapor 3. Las cantidades físicas aquí son una magnitud de un esfuerzo térmico aplicado a un rotor de la turbina de vapor 3, la de una expansión térmica diferencial axial en el rotor de la turbina y una carcasa que acomoda el rotor de la turbina, y otras variables que se desarrollan durante la puesta en marcha de la turbina.

En lo sucesivo, cuando se usa la expresión “esfuerzo térmico”, esto significa simplemente el esfuerzo térmico en el rotor de la turbina, y cuando se usa la expresión “expansión térmica diferencial”, esto significa simplemente la expansión térmica diferencial axial del rotor de la turbina y la carcasa. Además, el periodo de predicción es un tiempo que incluye un tiempo de respuesta desde el inicio del control del controlador 12, 14, la válvula de control de flujo de vapor principal 15, y la válvula de derivación 16, e impartir un cambio a las condiciones de vapor del flujo de vapor principal, hasta que la turbina de vapor 3 haya sufrido un cambio en la restricción de puesta en marcha. Es decir, el periodo de predicción es o bien igual al tiempo de respuesta o bien un tiempo que se ha establecido que sea más largo que el tiempo de respuesta. El periodo de predicción difiere según el tipo de restricción de puesta en marcha. Por ejemplo, un tiempo requerido para que un esfuerzo térmico empiece a cambiar por una razón tal como un retardo en la transferencia de calor es más corto que un tiempo requerido para que una expansión térmica diferencial empiece a desarrollarse por una razón tal como el retardo en la transferencia de calor.

El dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32 predice, de todas las restricciones de puesta en marcha que el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 ha de predecir, solamente la restricción de puesta en marcha que es la más corta en tiempo de respuesta. En lo sucesivo, la restricción de puesta en marcha que el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32 calcula mediante predicción se denomina “restricción de puesta en marcha fundamental”, y en la presente realización, se muestra y describe a continuación un ejemplo de tomar un esfuerzo térmico como la restricción de puesta en marcha fundamental. Además, el periodo de predicción que se ha establecido para predecir la restricción de puesta en marcha fundamental se denomina en lo sucesivo “periodo de predicción de referencia”, y de todas las restricciones de puesta en marcha que el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 ha de predecir, la restricción de puesta en marcha fundamental es la más corta en tiempo de respuesta, así que el periodo de predicción de referencia es el más corto de todos los periodos de predicción de restricción de puesta en marcha.

Las secuencias A1 a A4 que se refieren al cálculo de un esfuerzo térmico por el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32 se exponen a continuación.

• Secuencia A1

La variable de entrada de control del controlador 12, 14 corresponde a las tasas en las que el medio de calor y el flujo a baja temperatura se suministran al equipo de fuente de calor 1 y, por lo tanto, está estrechamente relacionada con un estado de carga térmica del equipo de fuente de calor 1. Por consiguiente, en primer lugar un proceso en el que se propagan el calor y la materia desde el equipo de fuente de calor 1 a través del generador de vapor 2 hasta la turbina de vapor 3 se calcula desde 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, una tasa de flujo, presión, temperatura y otras cantidades físicas de la central del vapor que se estiman que sean alcanzadas en una entrada de la turbina de vapor 3 después de que haya transcurrido el periodo de tiempo preestablecido, se calculan además a partir de un resultado de ese cálculo. El cálculo predictivo de las cantidades físicas de la central que se estima alcanzar después del transcurso del periodo de tiempo preestablecido, se puede dirigir convenientemente a partir de los valores medidos por los instrumentos de medición de variables de entrada de control 11, 13 suponiendo un patrón específico de cambios en las cantidades físicas que está basado en una suposición de que las tasas de cambio actuales de la tasa de flujo del medio de calor y de la tasa de flujo a baja temperatura (es decir, las tasas de cambio de las variables de entrada de control del controlador 12, 14, la válvula de control de vapor principal 15, y la válvula de derivación 16) permanecen invariantes desde el tiempo actual hasta el periodo de tiempo preestablecido.

En este momento, la precisión de predicción mejora además si las cantidades físicas de la planta que se han predicho a partir de los valores medidos por los instrumentos de medición de variables de entrada de control 11, 13 se corrigen usando los valores medidos por el manómetro 17 y el medidor de temperatura 18. Por ejemplo, a medida que avanza la operación de la central, es probable que se ocurra una cierta correlación entre los valores predichos y los valores medidos de la presión de vapor y la temperatura de vapor. Esto puede ocurrir de una forma que el valor predicho se calcula como un cierto nivel más alto o más bajo que el valor medido. Tal correlación se almacena como una expresión relacional o una tabla en una región de almacenamiento de datos del dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32, y según la correlación, los valores que se han calculado en la secuencia anterior mediante predicción se corrigen sobre la base de los valores medidos por el manómetro 17 y el medidor de temperatura 18.

• Secuencia A2

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

• Secuencia A3

La transferencia de calor del vapor al rotor de la turbina se calcula a partir de los resultados del cálculo en la secuencia A2 y, después 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, el esfuerzo térmico que se estima que ocurra después del transcurso del periodo de tiempo preestablecido, se calcula a partir del resultado del cálculo en la secuencia A3, conforme a las reglas de la mecánica de materiales que usan un coeficiente de expansión lineal, un módulo de Young, una relación de Poisson y/o similares.

El dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32 calcula la restricción de puesta en marcha fundamental en un periodo de muestreo predeterminado en las secuencias anteriores y emite secuencialmente los resultados del cálculo al fijador de variables de entrada de control de referencia 33.

(4) Fijador de variables de entrada de control de referencia

El fijador de variables de entrada de control de referencia 33 almacena en una ubicación de almacenamiento de datos los valores predichos y los valores actuales de la restricción de puesta en marcha fundamental que se introducen secuencialmente desde el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32. A continuación usando el periodo de predicción de referencia de datos de una serie temporal que se ha introducido desde el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32, el fijador de variables de entrada de control de referencia 33 calcula una variable de entrada de control de referencia del controlador 12, 14 que no hace que la restricción de puesta en marcha fundamental exceda su valor límite (punto fijado) durante el proceso de puesta en marcha para la central eléctrica de turbina de vapor. Por ejemplo, la variable de entrada de control de referencia se calcula como un valor que reduce una diferencia entre el valor límite y el valor predicho (por ejemplo, el valor de pico del periodo de predicción de referencia de datos de una serie temporal) que se calculó con respecto a la restricción de puesta en marcha fundamental. Esas variables de entrada de control de referencia de la válvula de control de vapor principal 15 y la válvula de derivación 16 que llevan el valor actual de la restricción de puesta en marcha fundamental cerca del valor límite se calculan junto con la diferencia anterior. Las variables de entrada de control de referencia que se han calculado por este medio se envían al dispositivo de asignación de variables de entrada de control de referencia 34. El fijador de variables de entrada de control de referencia 33 calcula secuencialmente cada variable de entrada de control de referencia de forma desplazada en el tiempo (es decir, en diferente temporización) en el periodo de muestreo de la restricción de puesta en marcha fundamental, y emite secuencialmente los resultados del cálculo al dispositivo de asignación de variables de entrada de control de referencia 34.

(5) Dispositivo de asignación de variables de entrada de control de referencia

El dispositivo de asignación de variables de entrada de control de referencia 34 almacena las variables de entrada de control de referencia recibidas secuencialmente y entonces después de que ha sido almacenado el periodo de predicción más largo de datos de variables de entrada de control de referencia, emite los datos de una serie temporal correspondiente a las variables de entrada de control de referencia, a los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b en paralelo. El periodo de predicción más largo aquí significa el periodo de predicción que se estableció para la restricción de puesta en marcha cuyo tiempo de respuesta es el más largo de todos los de las restricciones de puesta en marcha que predice el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31. Aunque la variable de entrada de control del controlador 12, 14, medida por el instrumento de medición de variables de entrada de control 11, 13, se introduce al dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32, la variable de entrada de control no se introduce en los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b. En su lugar, la variable de entrada de control de referencia del controlador 12, 14, medida por el fijador de variables de entrada de control de referencia 33, se introduce en los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b.

(6) Otros dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b

Los otros dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b calculan cada uno el periodo de predicción correspondiente de datos solamente acerca de la deseada de todas las restricciones de puesta en marcha a ser predichas, excepto para la restricción de puesta en marcha fundamental. Naturalmente, la restricción de puesta en marcha que el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35a calcula por predicción es larga en tiempo de respuesta, en comparación con una restricción de puesta en marcha de referencia, y el periodo de predicción correspondiente también es largo con respecto al periodo de predicción de referencia. Además, la restricción de puesta en marcha que el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35b calcula mediante predicción es larga en tiempo de respuesta, en comparación con la restricción de puesta en marcha que el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35a calcula mediante predicción, y el periodo de predicción correspondiente también es correspondientemente largo. En un caso en que el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 calcula dos tipos de restricciones de puesta en marcha mediante predicción, por lo tanto, el periodo de predicción usado por el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35a llega a ser el periodo de predicción más largo. La longitud relativa del tiempo de respuesta entre las restricciones de puesta en marcha que predicen los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b, no obstante, no tiene significado técnico y cualquiera de las dos restricciones de puesta en marcha puede ser más larga o más corta en tiempo de respuesta.

Usando el periodo de predicción más largo asignado de los datos de una serie temporal de las variables de entrada de control de referencia (si el periodo de predicción es más corto que el más largo, entonces el primer periodo de predicción de los datos de una serie temporal en el periodo de predicción más largo), los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b calculan cada uno el periodo de predicción correspondiente de los datos de una serie temporal acerca de las restricciones de puesta en marcha a ser predichas, y emiten los resultados del cálculo a los fijadores de variables de entrada de control 36a y 36b, respectivamente. Un método de cálculo de estos valores mediante predicción es sustancialmente el mismo que el del cálculo predictivo de la restricción de puesta en marcha fundamental, excepto que la variable de entrada de control que llega a ser una base sea un valor calculado, no un valor medido. Un método de cálculo conocido se puede aplicar a cada restricción de puesta en marcha. Además, como es el caso con el valor predicho de la restricción de puesta en marcha fundamental, el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b puede usar las mediciones de datos del manómetro 17 y el medidor de temperatura 18 para corregir el valor predicho. Además, el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35a o 35b usa los valores de presión y de temperatura medidos del flujo de vapor principal para calcular los valores actuales de las restricciones de puesta en marcha, y entonces emite los resultados del cálculo al fijador de variables de entrada de control 36a o 36b, respectivamente, de una manera similar a la anterior.

Por ejemplo, cuando se dirige el cálculo predictivo de la expansión térmica diferencial con el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, se pueden aplicar las secuencias de cálculo mostradas como B1 a B5 a continuación.

20 • Secuencia B1

La tasa de flujo, la presión, la temperatura, y otros factores del vapor que se estima que sean alcanzados a la entrada de la turbina de vapor 3 después de que haya transcurrido el periodo de tiempo preestablecido se calculan sustancialmente de la misma manera que la del cálculo del esfuerzo térmico.

• Secuencia B2

25 Sobre la base de los resultados del cálculo obtenido en la secuencia B1, las presiones, las temperaturas, los coeficientes de transferencia de calor, y otros factores de diversas secciones del rotor de la turbina y la carcasa se calculan permitiendo caídas de presión en las diversas secciones del rotor de la turbina y la carcasa.

• Secuencia B3

30 Las temperaturas de las diversas secciones del rotor de la turbina y la carcasa según un corte en una dirección axial de la turbina se calculan mediante el cálculo de transferencia de calor en base a los resultados del cálculo en la secuencia B2.

• Secuencia B4

Las cantidades de cambio térmico axial (expansión) del rotor de la turbina y la carcasa se calculan a partir de los resultados del cálculo en la secuencia B3.

35 • Secuencia B5

Sobre la base de los resultados del cálculo obtenidos en la secuencia B4, la expansión térmica diferencial del rotor de la turbina y la carcasa después del transcurso del periodo de tiempo preestablecido se calcula según, por ejemplo, las reglas de la mecánica de materiales que usa un coeficiente de expansión lineal.

(7) Otros fijadores de variables de entrada de control

40 Los otros fijadores de variables de entrada de control 36a, 36b calculan y fijan cada uno, a partir del periodo de predicción de datos que ha sido introducido desde el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b, tal variable de entrada de control del controlador 12, 14 que lleva el valor predicho de la restricción de puesta en marcha cerca de un valor umbral. También se calculan tales variables de entrada de control de la válvula de control de flujo de vapor principal 15 y válvula de derivación 16 que llevan los valores actuales a los valores límite respectivos. Este cálculo usa sustancialmente el mismo método que para la variable de entrada de control de referencia.

(8) Dispositivo de determinación de variables de entrada de control

50 El dispositivo de determinación de variables de entrada de control 39 selecciona, a partir de las variables de entrada de control establecidas por los fijadores de variables de entrada de control 33, 36a, 36b, ajustes que satisfacen las condiciones bajo las cuales ninguna de las restricciones de puesta en marcha sobrepasa los valores umbral respectivos, y determina los ajustes seleccionados como las variables de entrada de control a ser emitidos. En este caso, se seleccionan las variables de entrada de control deseadas sobre una base de selección del valor más pequeño, por ejemplo. Además, mientras que la Fig. 1 muestra un ejemplo de una configuración en la que la variable

de entrada de control de referencia se introduce como candidata al dispositivo de determinación de variables de entrada de control 39 a través del dispositivo de asignación de variables de entrada de control de referencia 34, dado que las variables de entrada de control calculadas por los fijadores de variables de entrada de control 36a, 36b se basan en la variable de entrada de control de referencia, las condiciones bajo las cuales la restricción de puesta en marcha fundamental no traspasa el valor umbral se satisfacen por necesidad. La variable de entrada de referencia, por lo tanto, se puede excluir de las candidatas que se introducen en el dispositivo de determinación de variables de entrada de control 39.

#### (9) Dispositivos de salida de señal de control

Los dispositivos de salida de señal de control 40-43 emiten cada uno un valor de comando al controlador 12, 14, la válvula de control de flujo de vapor principal 15, y la válvula de derivación 16, según los valores que han sido seleccionados a partir de la variable de entrada de control de referencia y las otras variables de entrada de control. De las variables de entrada de control que han sido seleccionadas por el dispositivo de determinación de variables de entrada de control 39, la variable de entrada de control dirigida al controlador de flujo del medio de calor 12 se emite al dispositivo de salida de señal de control 40. De manera similar, la variable de entrada de control dirigida al controlador de flujo a baja temperatura 14 se emite al dispositivo de salida de señal de control 41, la variable de entrada de control dirigida a la válvula de control de flujo de vapor principal 15 se emite al dispositivo de salida de señal de control 43, y la variable de entrada de control dirigida a la válvula de derivación 16 se emite al dispositivo de salida de señal de control 42.

El dispositivo de salida de señal de control 40 calcula el valor de comando dirigido al controlador de flujo del medio de calor 12, a partir de la variable de entrada de control recibida y emite el valor de comando calculado al controlador de flujo del medio de calor 12. El valor de comando para el controlador de flujo del medio de calor 12 se determina mediante las características del dispositivo representadas numéricamente. Por ejemplo, en la presente realización, el valor de comando se calcula a partir de una tasa de flujo de combustible que satisface el comando de carga de turbina de gas (MWD). Como resultado, el controlador del medio de calor 12 ejecuta el 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.

El dispositivo de salida de señal de control 41 calcula el valor de comando dirigido al controlador de flujo a baja temperatura 14, a partir de la variable de entrada de control recibida y emite el valor de comando calculado al controlador de flujo a baja temperatura 14. El valor de comando para el controlador de flujo a baja temperatura 14 se determina también por las características del dispositivo representadas numéricamente. Por ejemplo, en la presente realización, el valor de comando se calcula a partir de una tasa de flujo de aire que satisface un comando de velocidad de turbina de gas. Como resultado, el controlador de flujo a 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.

De manera similar a lo anterior, los dispositivos de salida de señal de control 42, 43 calculan cada uno el valor de comando dirigido a la válvula de derivación 16 o la válvula de control de flujo de vapor principal 15, respectivamente, a partir de la variable de entrada de control recibida y emite el valor de comando calculado a la válvula 16, 15. Como resultado, la válvula de derivación 16 y la válvula de control de flujo de vapor principal 15 ejecuta un control PID de modo que una variable de entrada de control medida por un instrumento de medición de variables de entrada de control correspondiente (no mostrado) se controlará para acercarse a un valor objetivo (punto fijado) de la variable de entrada de control.

### 3. Secuencia de control de arranque

La Fig. 2 es un diagrama de flujo que representa una secuencia de control de arranque que el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 ejecuta para la turbina de vapor 3, y la Fig. 3 es un diagrama explicativo suplementario de la secuencia de control de arranque.

- Pasos S101 y S102

Como se muestra en la Fig. 2, los pasos S101 y S102 constituyen una secuencia de muestreo de datos de predicción de restricciones de puesta en marcha que el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32 ejecuta (ver la sección (i) de la Fig. 3). Es decir, cuando el dispositivo de control de arranque de la turbina de vapor 31 arranca la turbina de vapor 3, el dispositivo de control 31 en primer lugar inicia la secuencia de muestreo de datos y activa el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32 para calcular las cantidades físicas que se estima que tenga la central después del transcurso del periodo de tiempo preestablecido, y entonces dirigir el cálculo predictivo de las restricciones de puesta en marcha a partir de las cantidades físicas de la central calculadas (paso S101). El valor actual de las restricciones de puesta en marcha fundamentales se calcula también a partir de la presión medida y los valores de temperatura del flujo de vapor principal. La secuencia de cálculo de cantidades físicas de la central y la secuencia de cálculo de restricciones de puesta en marcha son como se ha descrito anteriormente. Además, dado que la presente realización supone un patrón específico de cambio que, como se ha descrito anteriormente, la variable de entrada de control del



controlador 12, 14 cambia linealmente a una tasa actual de cambio para asegurar una carga de procesamiento más ligera, las restricciones de puesta en marcha se calculan suponiendo tales cambios lineales en la restricción de puesta en marcha fundamental (en el presente ejemplo, esfuerzo térmico). Después del cálculo de las restricciones de puesta en marcha, el dispositivo de predicción 32 determina si el periodo de predicción de referencia ha pasado del inicio del procesamiento (paso S102), y a continuación hasta que el periodo de predicción de referencia haya pasado, repite los pasos S101, S102 para ejecutar el muestreo de los valores predichos y los valores actuales de las restricciones de puesta en marcha en ciclos fijos (ciclos de procesamiento de los pasos S101, S102).

- Paso S103

El paso S103 constituye una secuencia ejecutada por el fijador de variables de entrada de control de referencia 33, y esta secuencia se usa para calcular y establecer la variable de entrada de control de referencia de la restricción de puesta en marcha fundamental (véase la sección (ii) de la Fig. 3). Para ser más específicos, después de que se ha muestreado el periodo de predicción de referencia de datos de restricción de puesta en marcha fundamental predicha, se calcula y se establece la variable de entrada de control del controlador 12, 14 que lleva el periodo de predicción de referencia de los datos de restricción de puesta en marcha fundamental predicha (por ejemplo, el valor de pico de los datos de una serie temporal correspondientes) cerca del valor límite. Las variables de entrada de control calculadas para la válvula de control de flujo de vapor principal 15 y la válvula de derivación 16 se establecerán para llevar el valor actual de la restricción de puesta en marcha fundamental cerca del valor límite correspondiente.

- Pasos S104 y S105

Los pasos S104 y S105 constituyen una secuencia ejecutada por el dispositivo de asignación de variables de entrada de control de referencia 34, y esta secuencia se usa para muestrear continuamente el periodo de predicción más largo de datos de variables de entrada de control de referencia predichas y asignar estos datos como base para el cálculo predictivo de otras restricciones de puesta en marcha (véase la sección (iii) de la Fig. 3). Para ser más específicos, el dispositivo de asignación de variables de entrada de control de referencia 34 ejecuta el paso S104 para determinar si el periodo de predicción más largo ha pasado desde el inicio del procesamiento, y muestrear los valores predichos del periodo de predicción más largo de datos de variables de entrada de control de referencia predichas. Las variables de entrada de control de referencia recibidas de esta manera se añaden a las que ya han sido recibidas y, de esta manera, los datos de una serie temporal correspondiente al periodo de predicción más largo de datos de variables de entrada de control de referencia predichas se emiten a los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b como base para el cálculo predictivo de las restricciones de puesta en marcha (paso S105).

- Pasos S106a y S106b

Los pasos S106a y S106b constituyen una secuencia ejecutada por los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b, y esta secuencia se usa para predecir y calcular la restricción de puesta en marcha pertinente en base a las variables de entrada de control de referencia. Por ejemplo, dado que el periodo de predicción es más corto que el periodo de predicción más largo, el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35a calcula, a partir del primer periodo de predicción pertinente de datos en los datos de una serie temporal de datos de variables de entrada de control de referencia que se han introducido, datos de una serie temporal correspondiente al periodo de predicción más largo de datos de variables de entrada de control de referencia predichas (véase la sección (iv) de la Fig. 3). Dado que el tiempo de predicción de cambio de cantidades físicas es igual al periodo de predicción más largo, el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35b calcula el periodo de predicción más largo de datos de una serie temporal de restricción de puesta en marcha predicha de todos los periodos de datos de variables de entrada de control de referencia que se han introducido. Un método de cálculo de las restricciones de puesta en marcha mediante predicción es como se ha descrito anteriormente. Los valores actuales de la presión y la temperatura del flujo de vapor principal también se calculan a partir de los valores medidos respectivos.

- Pasos S107a y S107b

Los pasos S107a y S107b constituyen una secuencia ejecutada por los fijadores de variables de entrada de control 36a, 36b, y esta secuencia se usa para calcular y establecer, a partir de datos de una serie temporal de los valores predichos de las restricciones de puesta en marcha correspondientes, la variable de entrada de control del controlador 12, 14 que lleva el valor predicho de cada restricción de puesta en marcha cerca del valor límite. Las variables de entrada de control de la válvula de control de flujo de vapor principal 15 y la válvula de derivación 16 se calculan y se establecen sustancialmente de la misma manera que anteriormente. La secuencia de cálculo relativa a estas variables de entrada de control es igual a la de la variable de entrada de control de referencia.

- Paso S108

El paso S108 constituye una secuencia ejecutada por el dispositivo de determinación de variables de entrada de control 39, y esta secuencia se usa para seleccionar una variable de entrada de control que satisface los límites de

las restricciones de puesta en marcha, y entonces emitir la variable seleccionada a uno de los dispositivos de salida de señal de control 40 a 43. Los detalles de la secuencia son como se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, se determina una variable de entrada de control final sobre una base de selección de valor más pequeño a partir de ambas variables de entrada de control que han calculado los fijadores de variables de entrada de control 36a, 36b.

5 En la secuencia que muestra la Fig. 2, la variable de entrada de control de referencia no se incluye en las candidatas. Dado que las variables de entrada de control calculadas por los fijadores de variables de entrada de control 36a, 36b se basan en la variable de entrada de control de referencia, la selección 'o bien-o bien' proporciona sustancialmente los mismos efectos ventajosos que en el caso de que la restricción de puesta en marcha fundamental se incluya en las candidatas.

10 • Paso S109

El paso S109 constituye una secuencia ejecutada por los dispositivos de salida de señal de control 40-43, y esta secuencia se usa para enviar los valores de comando a los controladores 12, 14, la válvula de control de flujo de vapor principal 15, y la válvula de derivación 16, según las variables de entrada de control que se han introducido. Los detalles de la secuencia son como se ha descrito anteriormente. La salida de los valores de comando para estos

15 elementos permite el análisis previo del control de la temperatura y la presión del flujo de vapor principal que fluye hacia la turbina de vapor 3 y, de esta manera, permite que varias restricciones de puesta en marcha se eviten que alcancen los valores límite respectivos después de eso.

Una pluralidad de programas para ejecutar aquí la secuencia mostrada en la Fig. 2 se activan en el periodo de determinación de las variables de entrada de control con diferencias de tiempo. Por consiguiente, los valores de comando se comunican de nuevo a los controladores 12, 14, la válvula de control de flujo de vapor principal 15, y la

20 válvula de derivación 16, en el ciclo de determinación de las variables de entrada de control por los programas activos con las diferencias de tiempo. De esta manera, los valores de comando basados en los datos de restricciones de puesta en marcha predichos correspondientes al periodo de predicción más largo que un tiempo de respuesta de las restricciones de puesta en marcha se comunican a los controladores 12, 14, la válvula de control de

25 flujo de vapor principal 15, y la válvula de derivación 16, a un ciclo de determinación más corto que el periodo de predicción.

El control de análisis previo de las cantidades físicas del vapor generado por el generador de vapor 2 se conducirá mediante la ejecución repetida de la secuencia anterior.

En la presente realización, el valor de comando de tasa de flujo de medio de calor y el valor de comando de tasa de flujo de vapor principal se han descrito como las cantidades físicas de la central determinadas por los fijadores de

30 variables de entrada de control, pero se puede determinar en su lugar uno de los dos valores de comando.

4. Efectos

La presente realización produce los siguientes efectos ventajosos.

(1) Arranque rápido de la turbina de vapor

35 Según la presente realización, la cantidad y la temperatura del vapor generado por el generador de vapor 2 se pueden controlar controlando al menos una de las tasas de flujo del medio de calor y del flujo a baja temperatura suministradas al equipo de fuente de calor 1, un elemento proporcionado en una etapa delantera del generador de vapor 2. Por ejemplo, la temperatura del vapor se puede controlar principalmente operando el controlador de flujo de la fuente de calor 12 y controlando la tasa de flujo del medio de calor. Esto es debido a que la temperatura del vapor

40 cambia con una temperatura de un flujo a alta temperatura suministrado al generador de vapor 2. Adicionalmente, la tasa de flujo del vapor se puede controlar principalmente operando el controlador de flujo a baja temperatura 14 y controlando la tasa de flujo del flujo a baja temperatura. Esto es debido a que el control de la tasa de flujo del flujo a baja temperatura controla la del flujo a alta temperatura, cambiando por lo tanto la cantidad de vapor generado en el generador de vapor 2.

45 De esta forma, tanto la tasa de flujo como la temperatura del vapor que son las cantidades físicas estrechamente asociadas con las restricciones de puesta en marcha tales como un esfuerzo térmico y una expansión térmica diferencial, se pueden regular ambas. Esto permite a su vez que el flujo de vapor y la temperatura del vapor sean controlados de manera flexible según un estado particular de la turbina de vapor 3 y, de esta manera, permite que la turbina de vapor 3 sea arrancada rápidamente de una forma adecuada.

50 Además, la cantidad de vapor generado se puede aumentar por sí misma, así que la cantidad de vapor generado se puede aumentar y reducir por sí misma más significativamente que en el caso de que la tasa de flujo del flujo de vapor principal se controle solamente a través de la válvula de control de flujo de vapor principal 15, y de esta manera se puede obtener una tolerancia de control de condiciones de vapor más amplia. Este puede ser otro factor que contribuye a un arranque rápido.

55

## (2) Pérdida de energía suprimida

En la presente realización, dado que la cantidad de vapor generado en el generador de vapor 2 se puede aumentar por sí misma, la temperatura del vapor y la cantidad de vapor generada se pueden controlar de manera flexible según las condiciones de operación. A menos que sea necesario de otro modo, esto hace innecesario descargar el exceso de vapor existente a un sistema externo a través de la válvula de derivación 16 y permite que la pérdida de energía sea suprimida correspondientemente.

## (3) Precisión mejorada de control de análisis previo

Dependiendo del tiempo de respuesta, se establece un periodo de predicción adecuado para cada una de una pluralidad de restricciones de puesta en marcha, y las variables de entrada de control se determinan a partir de las restricciones de puesta en marcha correspondientes a los periodos de predicción. Las variables de entrada de control se pueden determinar en anticipación de cambios posteriores en la restricción de puesta en marcha, así que esta determinación mejora la precisión de control de análisis previo de la pluralidad de restricciones de puesta en marcha que llegan a ser cuellos de botella en la puesta en marcha de la turbina de vapor, incluyendo las restricciones de puesta en marcha que son largas en tiempo de respuesta. En particular, si la restricción de puesta en marcha fundamental que es la más corta de una pluralidad de restricciones de puesta en marcha en tiempo de respuesta se calcula mediante predicción y las restricciones de puesta en marcha que son largas en tiempo de respuesta se calculan mediante predicción de la variable de entrada de control de referencia a partir de la cual se anticipa una precisión de cálculo relativamente alta, entonces las restricciones de puesta en marcha que son largas en tiempo de respuesta también se pueden calcular con alta precisión mediante predicción.

(4) Usar los controladores 12, 14 para coordinar el control del equipo de fuente de calor 1 y el de la válvula de control de flujo de vapor principal 15 mejora además las características de seguimiento de las restricciones de puesta en marcha con respecto a los puntos fijados de control respectivos. Por ejemplo, las restricciones de puesta en marcha se pueden controlar para satisfacer sus valores límite en los modos de control anteriores, controlando meramente el equipo de fuente de calor 1 con los controladores 12, 14 solamente. No obstante, en caso de perturbación debida a las condiciones de operación de la central o un estado de un dispositivo, no obstante, es probable que las restricciones de puesta en marcha disminuyan en precisión de control. En la presente realización, por otra parte, mientras que las variables de entrada de control determinadas para los controladores 12, 14 son tales valores que harán que los valores predichos de las restricciones de puesta en marcha se aproximen a los valores límite, la variable de entrada de control determinada para la válvula de control de flujo de vapor principal 15 es un valor tal que hará que el valor calculado de la restricción de puesta en marcha actual se aproxime al valor límite. El hecho de que el control de la válvula de control de flujo de vapor principal 15, basado en el valor actual, se añada de esta manera al control de análisis previo del equipo de fuente de calor 1, basado en los valores predichos, mejora las características de seguimiento de las restricciones de puesta en marcha con respecto a los puntos fijados de control respectivos.

## 35 Segunda realización

La Fig. 4 es un diagrama de bloques esquemático de una central eléctrica de turbina de vapor según una segunda realización de la presente invención. En la figura, los mismos elementos sustancialmente que en la primera realización se asignan cada uno al mismo número de referencia que en los dibujos mostrados, y se omite en la presente memoria una descripción de estos elementos.

Como se muestra en la Fig. 4, la presente realización difiere de la primera realización en que la primera selecciona una pluralidad de tipos de restricciones de puesta en marcha fundamentales y en que la primera incluye un conjunto de dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental y dispositivos de cálculo de variables de entrada de control de referencia para cada uno de la pluralidad de tipos de restricciones de puesta en marcha fundamentales. Más específicamente, el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 en la presente realización está equipado con dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32a, 32b y dispositivos de cálculo de variables de entrada de control de referencia 33a, 33b. Los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32a, 32b calculan cada uno las restricciones de puesta en marcha previstas mediante predicción de las variables de entrada de control de los controladores 12, 14, y los dispositivos de cálculo de variables de entrada de control de referencia 33a, 33b calculan cada uno las variables de entrada de control de referencia de los controladores 12, 14 a partir de los valores predichos que se han calculado por los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32a, 32b. Además, las variables de entrada de control de referencia de la válvula de control de flujo de vapor principal 15 y la válvula de derivación 16 se calculan a partir de valores actuales de las restricciones de puesta en marcha previstas. Los métodos de cálculo de estos valores son sustancialmente los mismos que el método de cálculo de la variable de entrada de control de referencia en la primera realización.

En la presente realización, la pluralidad de variables de entrada de control de referencia relativas a los diferentes tipos de restricciones de puesta en marcha fundamentales calculadas por los dispositivos de cálculo de variables de entrada de control de referencia 33a, 33b se introducen en el dispositivo de asignación de variables de entrada de control de referencia 34 y entonces se selecciona una de las variables de entrada de control de referencia. Esta

selección se conduce sobre una base de selección de valor más pequeño, por ejemplo. El periodo de predicción más largo de los datos de una serie temporal correspondientes a la variable de entrada de control seleccionada se emite a los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b.

5 La presente realización es sustancialmente la misma que la primera realización en que las restricciones de puesta en marcha predichas por los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32a, 32b son más cortas en tiempo de respuesta que las predichas por los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b. En otras palabras, la restricción de puesta en marcha que es la más larga en tiempo de respuesta de todas las restricciones de puesta en marcha predichas por los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32a, 32b es más corta en tiempo de respuesta que la restricción de puesta en marcha que es la más corta en tiempo de respuesta de todas las restricciones de puesta en marcha predichas por los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b.

Otros factores de configuración son sustancialmente los mismos que en la primera realización.

15 La Fig. 5 es un diagrama de flujo que representa una secuencia de control de arranque ejecutada para la central eléctrica de turbina de vapor por el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 según la presente realización.

20 Como se muestra en la Fig. 5, después de un inicio del procesamiento en la presente realización, el cálculo predictivo de un periodo de predicción de datos correspondientes a una pluralidad de restricciones de puesta en marcha (pasos S101a, S101b, S102a, S102b), y ajuste de las variables de entrada de control de referencia de los controladores 12, 14 (pasos S103a, S103b) se ejecutan en paralelo por los dispositivos de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental 32a, 32b y los dispositivos de cálculo de variables de entrada de control de referencia 33a, 33b. Una secuencia que constituyen los pasos S101a-S103a, y una secuencia que constituyen los pasos S101b-S103b son sustancialmente las mismas secuencias que las de los pasos S101-S103 (véase la Fig. 2) en la primera realización. A continuación, después de que se ha muestreado el periodo de predicción más largo de datos que incluye las variables de entrada de control de referencia de la válvula de control de flujo de vapor principal 25 15 y la válvula de derivación 16 (paso S104), cualquiera de las variables de entrada de control de referencia se selecciona por el dispositivo de asignación de variables de entrada de control de referencia 34 y emite al dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha 35a, 35b (paso S105). Los pasos posteriores S106 a S109 son sustancialmente los mismos que en la primera realización (véase la Fig. 2).

30 De esta forma, se selecciona una variable de entrada de control de referencia adecuada de un grupo de restricciones de puesta en marcha que se ha calculado como las variables de entrada de control de referencia y que es la más corta en tiempo de respuesta (es decir, más corta que otras restricciones de puesta en marcha). Esta selección mejora la adecuación de la variable de entrada de control, mejorando de esta manera la precisión de control de restricción de puesta en marcha prediciendo otras restricciones de puesta en marcha basadas en la variable de entrada de control.

35 Tercera realización

La Fig. 6 es un diagrama de bloques esquemático de una central eléctrica de turbina de vapor según una tercera realización de la presente invención. En la figura, sustancialmente a los mismos elementos que en las realizaciones descritas se asignan a cada uno el mismo número de referencia que en los dibujos mostrados, y se omite en la presente memoria una descripción de estos elementos.

40 La presente realización difiere de las otras realizaciones descritas en que el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 está conectado a un simulador de la central 46 que simula las características de la central eléctrica de turbina de vapor, no a una central eléctrica de turbina de vapor real y actual. El dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31, aunque sustancialmente el mismo que en la primera realización, se puede sustituir por el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 de la segunda realización.

45 En la presente realización, el simulador de la central 46 intercambia señales con el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 y muestrea los valores de comando dirigidos a los controladores 12, 14 durante un período de puesta en marcha calculado por el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31. Más específicamente, los valores de comando emitidos desde el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 a un controlador virtual que prevé los controladores 12, 14, la válvula de control de flujo de vapor principal 15, y la válvula de derivación 16, se introducen al simulador de la central 46. El simulador de la central 46 es un programa construido combinando fórmulas de la termodinámica, transferencia de calor, hidromecánica, y similares. Una variable de entrada de control que el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 ha calculado para el controlador virtual equivalente a al menos uno de los controladores 12, 14 se introduce, junto con al menos uno de los valores de presión y temperatura calculados de un flujo de vapor principal, al dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31. La secuencia de configuración y control del dispositivo de control de arranque de turbina de vapor 31 es sustancialmente la misma que en la primera realización, excepto que el dispositivo de control 31 intercambia señales con el simulador de la central 46.

En la presente realización, los datos de una serie temporal sobre los valores de comando calculados de esta manera se almacenan durante un periodo de tiempo desde el comienzo de la puesta en marcha de la turbina de vapor hasta la finalización de la misma, por lo que se puede crear una curva de puesta en marcha planificada para la central eléctrica de turbina de vapor real y actual a partir de los datos almacenados. La central eléctrica de turbina de vapor real y actual también se puede operar usando un valor de la curva de puesta en marcha planificada creada de esta manera como un valor de comando.

(Cualidades y aspectos diversos)

Aunque se han mostrado y descrito en las realizaciones anteriores ejemplos de establecimiento de dos tipos de otras restricciones de puesta en marcha (no fundamentales), el número de tipos de otras restricciones de puesta en marcha puede ser uno o al menos tres. De manera similar, aunque se han mostrado y descrito ejemplos de establecimiento de uno o dos tipos de restricciones de puesta en marcha fundamentales, el número de tipos de restricciones de puesta en marcha fundamentales puede ser al menos tres. El número de restricciones de puesta en marcha fundamentales y otras restricciones de puesta en marcha a ser clasificadas se puede establecer opcionalmente si se satisface una relación en la longitud del tiempo de respuesta.

Además, aunque un ejemplo de provisión del manómetro 17 y del medidor de temperatura 18 se ha tomado en la descripción de los dispositivos que miden las cantidades físicas del flujo de vapor principal, se puede omitir el manómetro 17 o el medidor de temperatura 18 si no son necesarios ambos de los valores medidos por estos medidores para el cálculo y/o corrección de las restricciones de puesta en marcha en el método particular de cálculo.

Además, aunque se ha tomado a modo de ejemplo una central eléctrica de ciclo combinado, la presente invención se puede aplicar a sustancialmente todos los tipos de centrales eléctricas incluyendo turbinas de vapor, representadas por centrales eléctricas de vapor y centrales de energía solar térmica. Las secuencias a ser usadas para arrancar estas centrales eléctricas son sustancialmente las mismas que en las realizaciones.

Por ejemplo, cuando la presente invención se aplica a una central eléctrica de vapor, carbón o gas natural es equivalente a la fuente de calor, aire u oxígeno al flujo a baja temperatura, una válvula de control de combustible al controlador 12, 14, un horno de caldera al equipo de fuente de calor 1, un gas de combustión al flujo a alta temperatura, una sección de transferencia de calor de caldera (sección de generación de vapor) al generador de vapor 2, y un controlador de carga de caldera al fijador de variables de entrada de control de referencia 33.

Por ejemplo, cuando se aplica la presente invención a una central de energía solar térmica, la luz solar es equivalente a la fuente de calor, un accionador de panel de recogida de calor al controlador de flujo del medio de calor 12, un panel de recogida de calor al equipo de fuente de calor 1, un instrumento de medición de dirección/ángulo de panel de recogida de calor al instrumento de medición de variables de entrada de control 11, un aceite, una sal disolvente a alta temperatura, o cualquier otro medio de conversión y retención de energía solar adecuado al flujo a baja temperatura y el flujo a alta temperatura, una válvula de control de flujo de aceite al controlador de flujo a baja temperatura 14, y un controlador de cantidad de calor recogido al fijador de variables de entrada de control de referencia 33.

Además, alternativamente, la presión de vapor, la temperatura de vapor, y la tasa de flujo de combustible que se introducen en un dispositivo de cálculo predictivo 32 solamente se pueden sustituir por la presión del vapor o la temperatura de vapor y se puede dirigir un cálculo predictivo de un esfuerzo térmico.

Además, las cantidades físicas de la central pueden incluir una temperatura, una presión, una tasa de flujo de vapor de salida, así como las del vapor de entrada, el vapor que fluye hacia la turbina de vapor 3. Aumentar el número de tipos de información acerca de las cantidades físicas de la central permite que la precisión de predicción de restricción de puesta en marcha sea mejorada. Además, mientras que los valores medidos por los instrumentos de medida de variables de entrada de control 11, 13 se han adoptado como las variables de entrada de control de los controladores 12, 14 que han de ser usados para el cálculo predictivo de las restricciones de puesta en marcha, esos valores medidos pueden ser sustituidos en su lugar por los valores de comando que se emiten a los controladores 12, 14.

Las características, componentes y 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 los expertos en la técnica, se describirán implícitamente por la descripción anterior sin especificar explícitamente cada combinación posible.

**REIVINDICACIONES**

1. Una central eléctrica de turbina de vapor, que comprende:

un equipo de fuente de calor (1) que calienta un flujo a baja temperatura aplicando un medio de calor y genera de esta manera un flujo a alta temperatura;

5 un generador de vapor (2) que genera vapor usando el flujo a 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 una fuerza motriz rotacional de la turbina eléctrica (3) en la energía eléctrica;

10 un controlador (12, 14) que controla una carga de la central; y

un dispositivo de control de arranque de turbina de vapor (31) que predice un valor de una restricción de puesta en marcha debida a un cambio en las cantidades físicas del vapor en la turbina de vapor (3), y controla el controlador (12, 14) según el valor predicho;

caracterizada por que el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor (31) incluye:

15 al menos un dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental (32) que calcula un valor de una restricción de puesta en marcha fundamental, que es un valor futuro en un punto transcurrido un periodo de tiempo preestablecido desde un tiempo actual, para un periodo de predicción de una variable de entrada de control del controlador (12, 14) acerca de la restricción de puesta en marcha fundamental, que se selecciona de las restricciones de puesta en marcha;

20 al menos un dispositivo de cálculo de variables de entrada de control de referencia (33a, 33b) que calcula una variable de entrada de control de referencia del controlador (12, 14) de manera que el valor predicho y calculado por el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental no excederá un valor límite correspondiente;

25 al menos otro dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental (35a, 35b) que calcula un valor de otra restricción de puesta en marcha para un periodo de predicción correspondiente a partir de los datos de variable de entrada de control de referencia para el periodo de predicción correspondiente acerca de las otras restricciones de puesta en marcha, que son más largas en tiempo de respuesta que la restricción de puesta en marcha fundamental;

30 al menos otro dispositivo de cálculo de variables de entrada de control que calcula una variable de entrada de control del controlador (12, 14) de manera que el valor predicho y calculado por el otro dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha correspondiente no excederá un valor límite correspondiente; y

un dispositivo de salida de señal de control (40-43) que emite un valor de comando al controlador (12, 14) según un valor seleccionado de la variable de entrada de control de referencia y la otra variable de entrada de control.

2. La central eléctrica de turbina de vapor según la reivindicación 1, en donde:

35 el controlador (12, 14) incluye

un controlador de flujo del medio de calor (12) que controla una tasa de flujo del medio de calor suministrado al equipo de fuente de calor (1), y

una válvula de control de flujo de vapor principal (15) que controla una tasa de flujo de un flujo principal del vapor suministrado a la turbina de vapor (3);

40 el controlador de flujo del medio de calor (12) se controla para llevar un valor predicho de la restricción de puesta en marcha cerca de un valor límite correspondiente; y

la válvula de control de flujo de vapor principal (15) se controla para llevar un valor actual de la restricción de puesta en marcha cerca de un valor límite correspondiente.

3. La central eléctrica según la reivindicación 1 o 2, en donde:

45 una pluralidad de tipos de restricciones de puesta en marcha se seleccionan como los de la otra restricción de puesta en marcha; y

un conjunto de dispositivos que incluyen el otro dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha (35a, 35b) y el otro dispositivo de cálculo de variables de entrada de control (36a, 36b) se proporcionan para cada uno de la pluralidad de tipos de restricciones de puesta en marcha.

4. La central eléctrica según la reivindicación 3, en donde:

5 una pluralidad de tipos de restricciones de puesta en marcha se seleccionan como los de la otra restricción de puesta en marcha fundamental; y

un conjunto de dispositivos que incluyen el dispositivo de predicción de restricción de puesta en marcha fundamental (32) y el dispositivo de cálculo de variables de entrada de control fundamentales se proporcionan para cada uno de la pluralidad de tipos de restricciones de puesta en marcha fundamentales.

10 5. Un sistema de creación de curva de puesta en marcha planificada, que comprende:

el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor (31) de la reivindicación 1; y

un simulador de la central (46) que simula las características de la central eléctrica de turbina de vapor, el simulador (46) que está configurado además para intercambiar señales con el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor (31) y muestrear el valor de comando dirigido al controlador (12, 14) durante un periodo de puesta en marcha calculado por el dispositivo de control de arranque de turbina de vapor (31).

15

Fig. 1

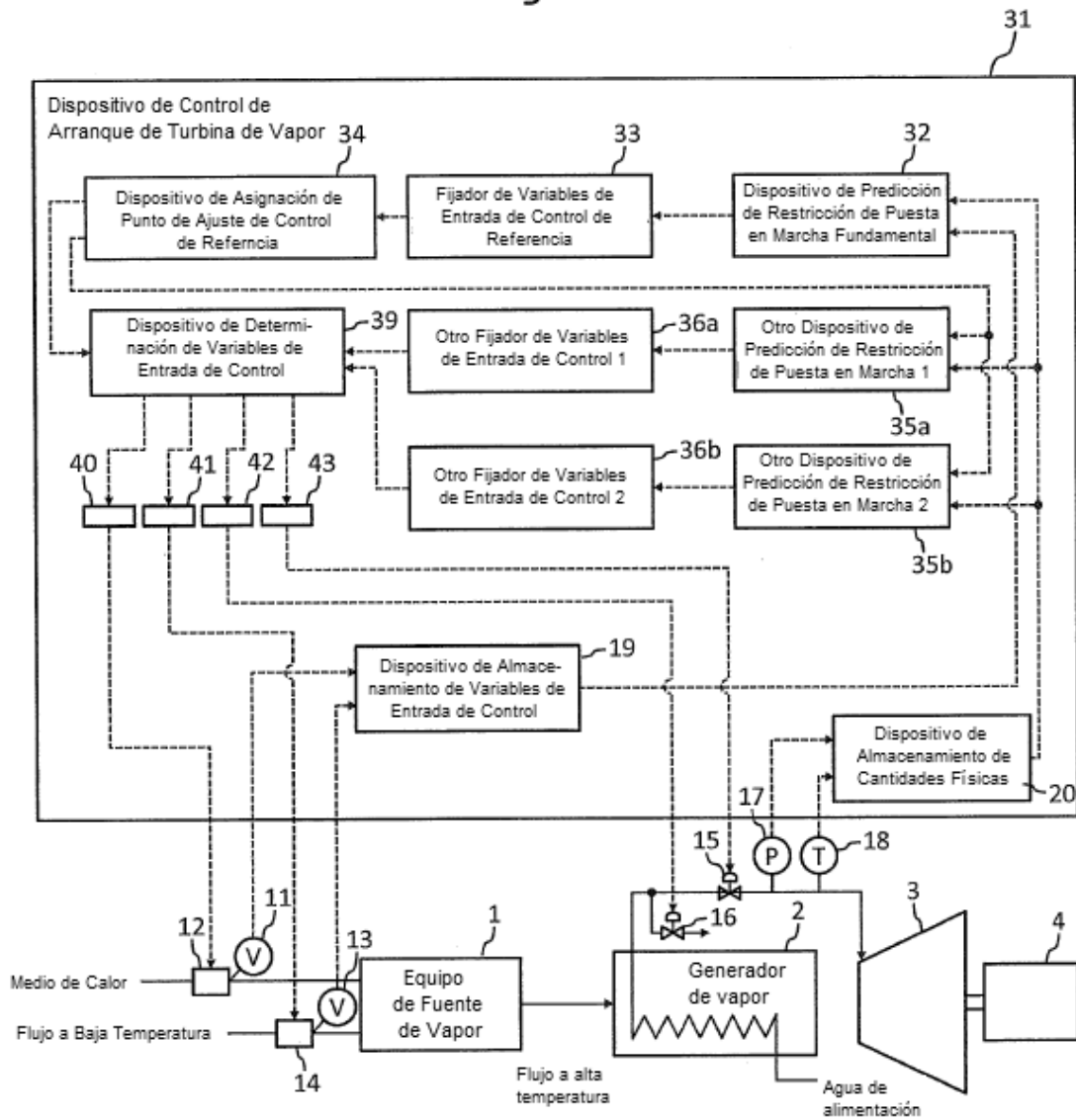
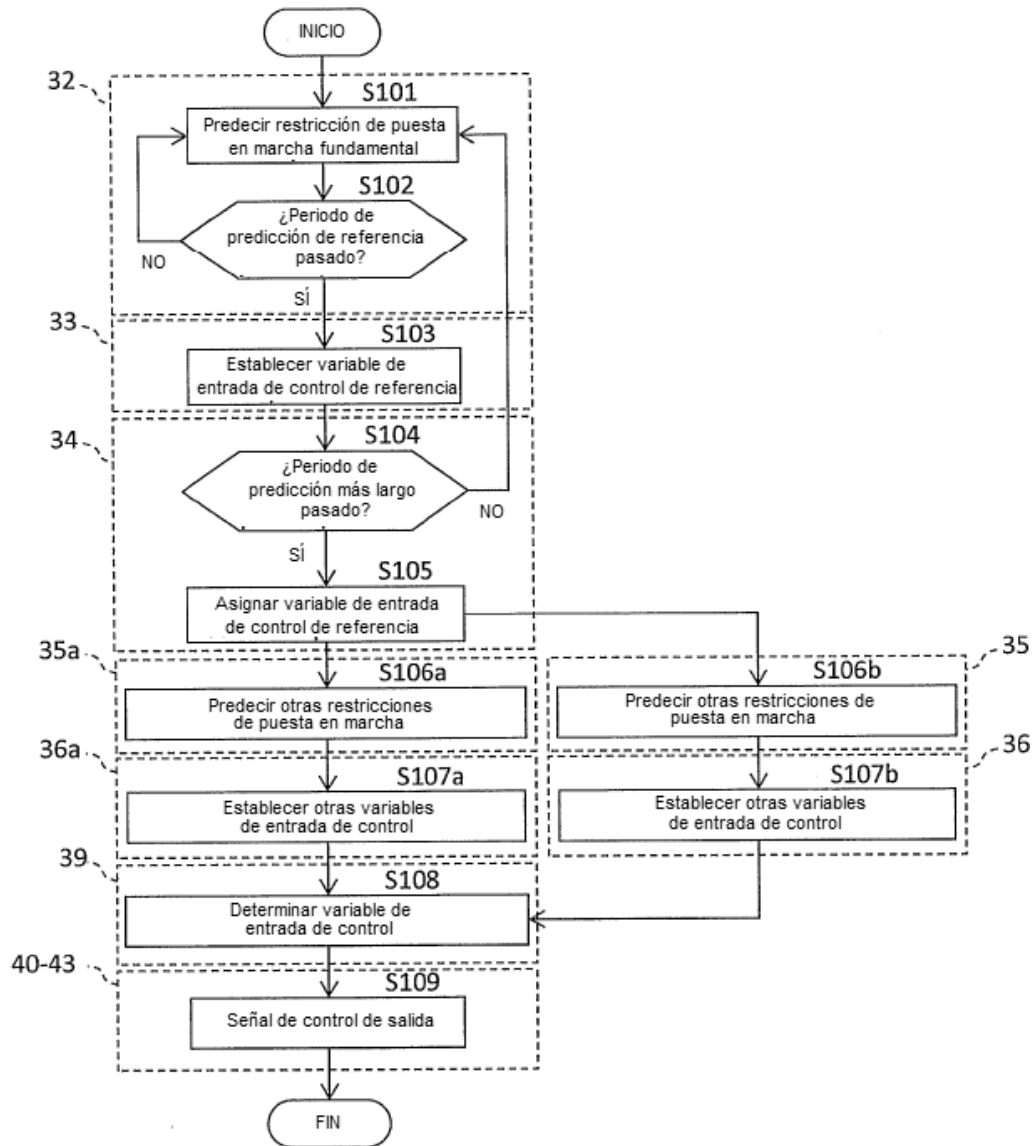




Fig. 2



**Fig. 3**

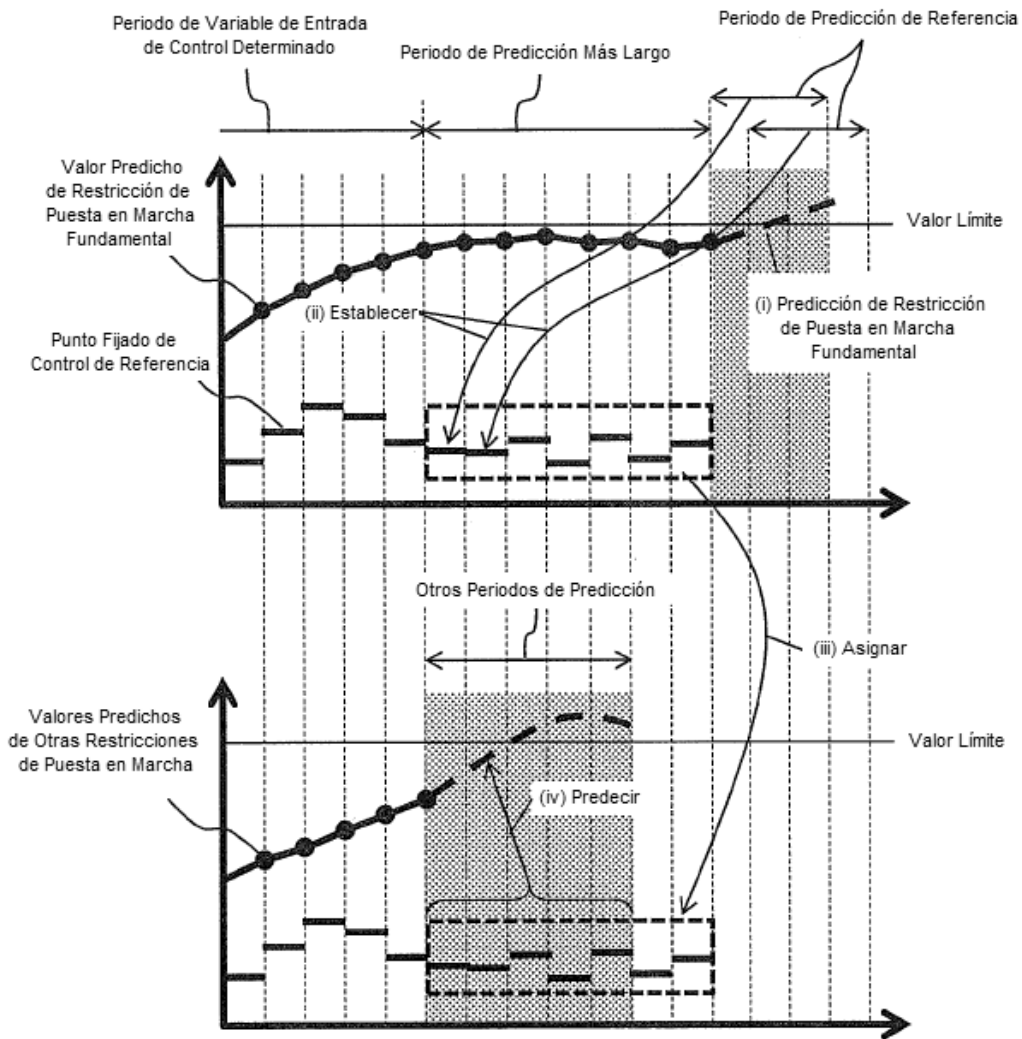


Fig. 4

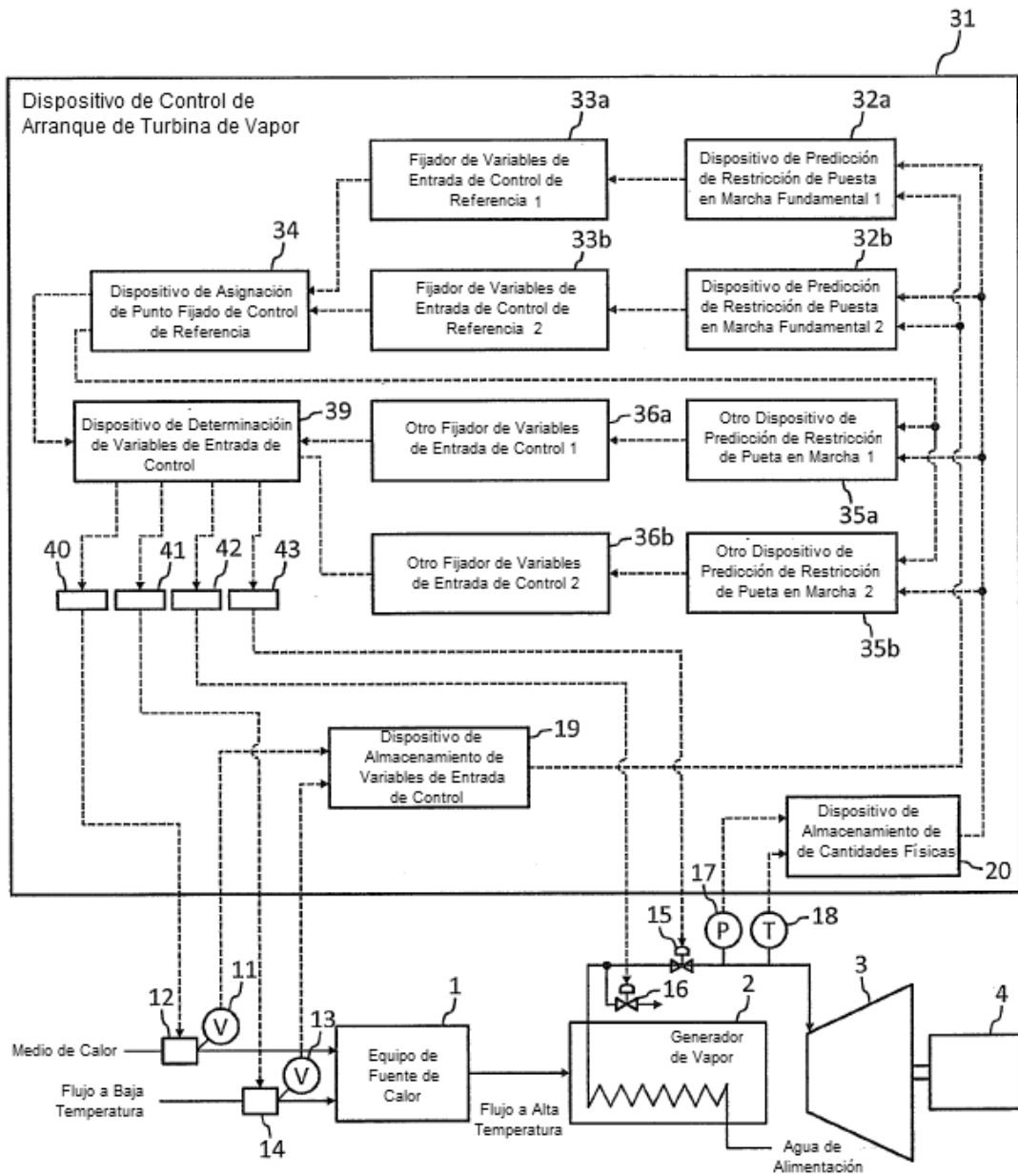


Fig. 5

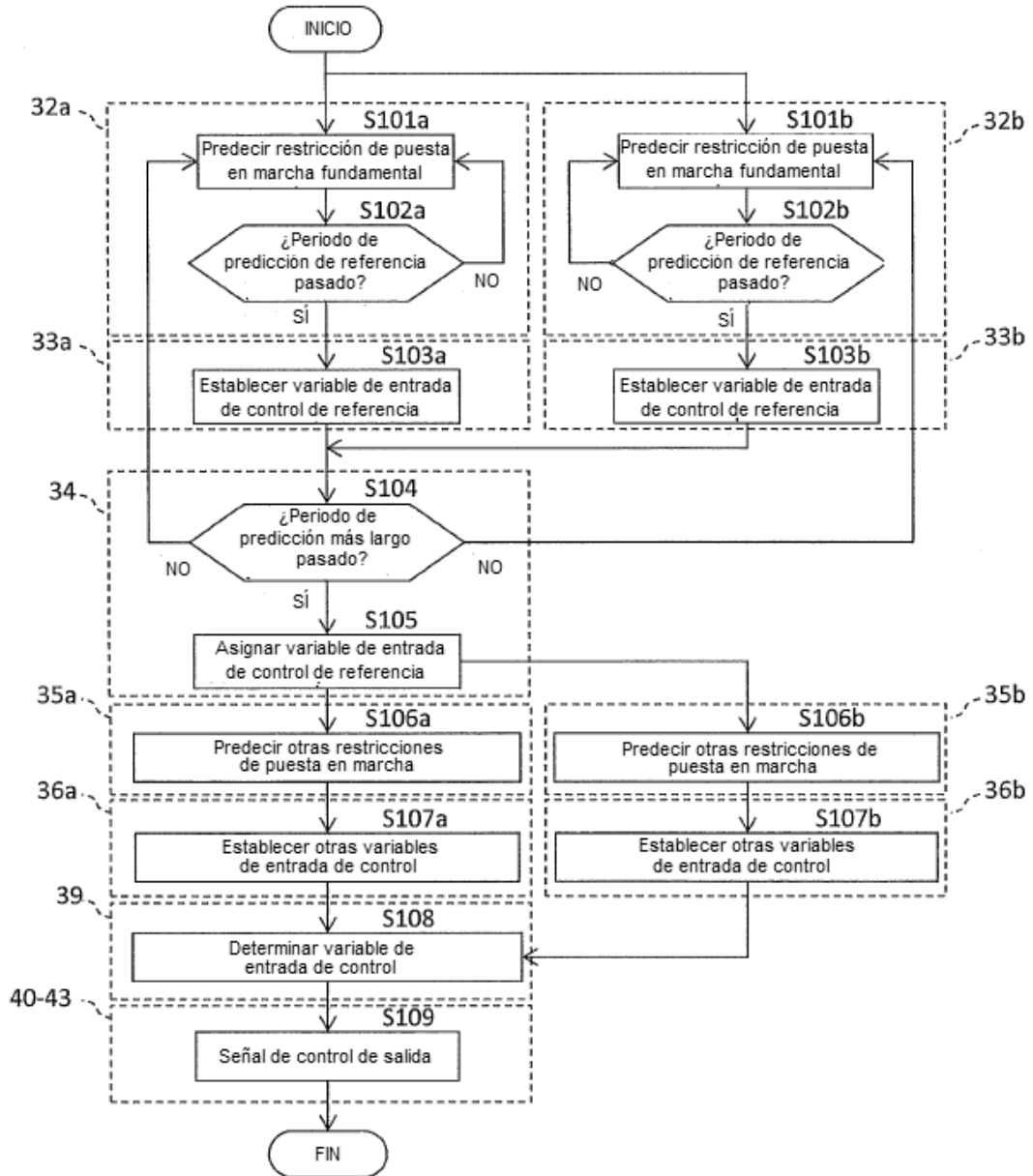


Fig. 6

