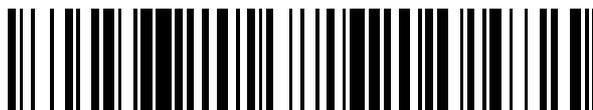


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 670 052**

51 Int. Cl.:

**F22B 37/56** (2006.01)

**F23J 3/02** (2006.01)

**F28G 15/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.12.2013 PCT/EP2013/076142**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.06.2015 WO15086051**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2013 E 13811415 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018 EP 3080514**

54 Título: **Procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor para generar electricidad y/o suministrar calor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.05.2018**

73 Titular/es:  
**RWE POWER AG (100.0%)  
Huysenallee 2  
45128 Essen, DE**

72 Inventor/es:  
**HOFFMANN, HORST y  
SCHULZE, ULRICH**

74 Agente/Representante:  
**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 670 052 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

Procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor para generar electricidad y/o suministrar calor

5 La invención se refiere a un procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor para generar electricidad y/o suministrar calor, preferiblemente en aquellos generadores de vapor que incluyen calderas alimentadas con combustibles fósiles u orgánicos, en concreto teniendo en cuenta la utilización de dispositivos de limpieza alimentados por vapor y/o por agua para las superficies de calentamiento del generador de vapor durante el funcionamiento de éste.

10 El procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor de acuerdo con la presente invención también abarca la regulación de la potencia en generadores de vapor con instalaciones de combustión para la incineración de residuos, para la coincineración de residuos y para la incineración de basuras.

El procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor de acuerdo con la invención abarca en particular la regulación de la potencia en aquellos generadores de vapor que funcionan frecuentemente en el área de máxima potencia.

15 Como potencia nominal se designa la potencia eléctrica continua (o en caso de generadores de calor la potencia térmica) más alta del generador de vapor bajo condiciones nominales (véase la directriz VGB RV 809). La potencia nominal de un generador de vapor está fijada de forma estática y corresponde al valor de diseño del generador de vapor. Diferente es la potencia de cuello de botella, que también se indica como potencia continua bajo condiciones normales y que está limitada a lo largo de períodos de tiempo prolongados por la parte de la planta de menor potencia en cada caso ("cuello de botella") (véase la directriz VGB RV 809). En lo sucesivo, los conceptos "potencia nominal" y "potencia de cuello de botella" se utilizan como sinónimos para identificar una potencia eléctrica limitada nominalmente.

20

25 En el sentido de la presente solicitud, por el concepto "dispositivos de limpieza alimentados por vapor y/o por agua" se han de entender en particular eyectores de vapor o eyectores helicoidales de lanza de vapor, eyectores de vapor ecológicos, cañones de agua/vapor, eyectores de lanza de agua y eyectores de agua. Normalmente, las superficies de calentamiento por radiación de la cámara de combustión de una caldera de vapor se limpian durante su funcionamiento con eyectores de lanza de agua, las superficies de termorrecuperación de una caldera de vapor se limpian con eyectores de vapor y equipos similares.

30 Las instalaciones de combustión de combustibles fósiles para la generación de electricidad y el aprovechamiento del calor, las plantas de coincineración de residuos y las plantas de incineración de basuras están sujetas a un ensuciamiento creciente de la caldera debido a sustancias del combustible que forman cenizas. Por lo tanto, este ensuciamiento ha de ser limpiado durante el funcionamiento con dispositivos de limpieza alimentados por vapor y/o por agua. El vapor necesario para la limpieza se toma en la mayoría de los casos como vapor de proceso de las plantas. Si la limpieza no tiene lugar a tiempo o se produce claramente demasiado tarde, se forman depósitos que son atribuibles entre otras cosas a fusiones, a sinterizaciones de los depósitos o a procesos químicos, y que conducen a incrustaciones permanentes que deterioran claramente la transferencia de calor y la eficiencia de las plantas.

35

40 Dependiendo del tipo y el alcance de los depósitos es necesario llevar a cabo una limpieza mecánica / hidráulica durante una parada programada del generador de vapor. Esto provoca en parte unos costes considerables y pérdidas de disponibilidad. Además, un lanzamiento accidental de aglomeraciones grandes por ejemplo contra las superficies de termorrecuperación puede producir daños mecánicos en la caldera.

45 Por consiguiente, es indispensable una limpieza selectiva y adecuada durante el funcionamiento del generador de vapor. A ser posible, el área ensuciada de la caldera se debería limpiar con precisión y de acuerdo con las necesidades, ya que el estado de la planta se deteriora tanto por una limpieza insuficiente como por una limpieza excesiva. Una limpieza excesiva va acompañada de un mayor desgaste de las partes de planta correspondientes, lo que tampoco es deseable.

El vapor necesario para el funcionamiento del dispositivo de limpieza no está disponible para la generación de electricidad, por lo que dicha toma de vapor es equiparable a pérdidas de potencia.

50 La utilización de agua para la limpieza de las paredes de la caldera/superficies de calentamiento por radiación enfría las paredes de la caldera y sustrae al sistema un calor que en otro caso serviría para la generación de electricidad o para el aprovechamiento del calor, de modo que por regla general este proceso de limpieza también está asociado con una pérdida de potencia.

55 Dado que la determinación exacta de las superficies ensuciadas en el sentido de una delimitación con respecto a superficies no ensuciadas adolece de una cierta falta de precisión, con frecuencia se ha de limpiar un área más grande. Por lo tanto, en este proceso también se aplican chorros de vapor o de agua sobre superficies limpias, que entonces se enfrían de forma desproporcionada e influyen negativamente en la producción de vapor. La limpieza de superficies de calentamiento limpias implica un desgaste y a ser posible debería ser evitada.

Por último, la utilización de agua y vapor conduce frecuentemente a un descenso de las temperaturas del vapor vivo y del recalentador intermedio, lo que a su vez acarrea caídas de potencia y pérdidas de eficiencia.

5 Por ejemplo, el documento DE 10 2006 022 627 A1 da a conocer un procedimiento para controlar un eyector de lanza de agua que tiene en cuenta en particular la problemática del desgaste. Dado que la limpieza de las paredes de la cámara de combustión va acompañada de una determinada solicitud térmica de las áreas de la pared que se han de limpiar, en el documento DE 10 2006 022 627 A1 se describe un procedimiento de limpieza en el que únicamente se limpia un área de escorificación del generador de vapor delimitada en cuanto a la superficie y la extensión. Por ejemplo, el documento DE 281453 B5 da a conocer un procedimiento similar. Por ejemplo, el documento DE 41 39 838 A1 da a conocer otro procedimiento para controlar el funcionamiento de una lanza de agua para la limpieza de una pared de combustión.

10 El objetivo principal en los procedimientos conocidos para controlar dispositivos de limpieza consiste en asegurar durante el mayor tiempo posible la disponibilidad de la caldera sin que se produzca una parada de la planta, que implica mayores pérdidas de disponibilidad.

15 Con el suministro creciente de electricidad generada a partir de las denominadas fuentes de energía renovables, en el mercado de la electricidad se producen fluctuaciones de demanda cada vez más grandes, de modo que es deseable operar también los generadores de vapor que normalmente sirven para el suministro de la carga base en el mercado de la electricidad de tal modo que se puedan utilizar a ser posible todos los potenciales de carga del generador de vapor en cuestión.

20 Por ejemplo, el documento US 2006/0178762 A1 da a conocer un procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor teniendo en cuenta la utilización de dispositivos de limpieza alimentados por vapor y/o por agua.

25 Por ejemplo, el documento US 2009/0090311 A1 también da a conocer un procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor utilizando dispositivos de limpieza alimentados por vapor y/o por agua. El control de los dispositivos de limpieza tiene lugar utilizando un modelo de predicción para un rendimiento de potencia máximo del generador de vapor.

Por lo tanto, la invención tiene por objetivo proporcionar un procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor que, teniendo en cuenta la utilización de dispositivos de limpieza alimentados por vapor y/o por agua durante el funcionamiento de la caldera o del generador de vapor, aseguren tanto un rendimiento de potencia óptimo como una eficacia óptima del generador de vapor.

30 Un aspecto adicional de la invención se refiere a una regulación de potencia transversal de varias plantas para la generación de electricidad teniendo en cuenta de forma óptima las exigencias impuestas al suministro a corto plazo de energía de regulación.

35 En el sentido de la presente solicitud, por un "generador de vapor" se entiende un bloque de central eléctrica con un dispositivo de combustión y un ciclo de agua-vapor correspondiente. Varios generadores de vapor o bloques de central eléctrica pueden estar agrupados formando una central eléctrica.

El concepto "caldera" utilizado en la presente solicitud se emplea como sinónimo del concepto "generador de vapor".

El objetivo en que se basa la invención se logra mediante un procedimiento según la reivindicación 1. De las reivindicaciones subordinadas correspondientes se desprenden configuraciones ventajosas del procedimiento.

40 El procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor para generar electricidad y/o suministrar calor teniendo en cuenta la utilización de dispositivos de limpieza alimentados por vapor y/o por agua durante el funcionamiento del generador de vapor incluye las siguientes etapas de procedimiento:

- la vigilancia de parámetros de estado del generador de vapor que permiten sacar conclusiones directas o indirectas sobre la eficacia y/o el grado de ensuciamiento de las superficies de calentamiento del generador de vapor,
- 45 - el establecimiento de un pronóstico de eficacia por medio de los parámetros de estado medidos y/o determinados,
- el establecimiento de un pronóstico de carga en función de la demanda de electricidad y/o de la demanda de calor de un mercado,
- el establecimiento de un pronóstico sobre la potencia máxima previsiblemente disponible del generador de vapor como pronóstico de disponibilidad y en función de la temperatura ambiente esperable y/o de la calidad del combustible,
- 50 - la determinación de un momento de limpieza óptimo, en el sentido de una disponibilidad técnica del generador de vapor, en función del pronóstico de eficacia, en donde un proceso de limpieza nominal que se ha de iniciar después

del pronóstico de eficacia se modifica en función del pronóstico de carga y del pronóstico de disponibilidad, bajo la condición de no caer por debajo de una eficacia mínima predeterminada de superficies de calentamiento del generador de vapor y/o de no sobrepasar un ensuciamiento máximo admisible predeterminado de las superficies de calentamiento.

5 En el sentido de la presente solicitud, por un "pronóstico de eficacia" se ha de entender un pronóstico de tal tipo que se fija un momento de limpieza y/o un ciclo de limpieza que, predominantemente desde puntos de vista de eficacia técnica de las superficies de calentamiento, son adecuados para evitar un desgaste excesivo del material y/o una parada no programada de la planta. En este contexto, un pronóstico de eficacia se puede basar por ejemplo en las variaciones de los valores de medición de la temperatura de las superficies de calentamiento producidas por un ensuciamiento.

10 Un cambio del proceso de limpieza nominal representa en particular un aplazamiento o una supresión y/o un acortamiento o una prolongación y/o una intensificación o una atenuación del proceso de limpieza. Por lo tanto, el proceso de limpieza nominal se cambia en la medida en que en el momento originalmente programado se cambia la intervención en el generador de vapor para adaptar óptimamente la potencia efectiva del generador de vapor con respecto al pronóstico de carga.

15 En el sentido de la presente invención, por un "pronóstico de carga" se ha de entender un pronóstico sobre una demanda (carga) previsible de suministro de electricidad / calor a los generadores de vapor. El pronóstico de carga puede ser establecido por ejemplo por un operador de red, un distribuidor, un comercializador de energía, o en el propio control del generador de vapor. En este contexto, para el pronóstico de carga se tiene en cuenta en particular si y en qué medida se utiliza el generador de vapor para cubrir la carga teniendo en cuenta el orden de mérito.

20 Preferiblemente, el pronóstico de carga y el pronóstico de disponibilidad se adaptan entre sí en el marco de varias iteraciones.

25 En el sentido de la presente invención, por un "pronóstico de disponibilidad" se ha de entender un pronóstico sobre una potencia máxima previsiblemente disponible del generador de vapor, pudiendo estar esta potencia máxima, dependiendo de las condiciones, por debajo o por encima de la potencia nominal o potencia de cuello de botella del generador de vapor o del bloque de central eléctrica correspondiente. Esto se basa en el conocimiento de que la potencia realmente disponible de un generador de vapor fluctúa alrededor de la potencia nominal del generador de vapor. Junto con otros factores, en particular la temperatura ambiente y la calidad del combustible tienen una gran influencia en la potencia realmente disponible. La temperatura ambiente influye sobre todo en la capacidad de refrigeración de las torres de refrigeración, que en caso dado representa un factor limitativo de la potencia aprovechable de un generador de vapor. La potencia es mayor en caso de temperaturas diurnas relativamente bajas que en caso de una temperatura ambiente más alta. La potencia depende además del valor calorífico del combustible utilizado; por ejemplo, si se emplea carbón como combustible, la potencia depende de la calidad del carbón utilizado. Un cambio de la calidad del carbón puede producir por ejemplo un cambio de la cantidad de gas de combustión, que va a su vez acompañado de un cambio de la potencia necesaria para los sopladores y por lo tanto influye en la potencia (neta) del generador de vapor.

30 El establecimiento de un pronóstico sobre la potencia máxima previsiblemente disponible del generador de vapor teniendo en cuenta estas circunstancias permite emplear las fluctuaciones de potencia del generador de vapor alrededor de la potencia nominal / potencia de cuello de botella para la determinación de un momento de limpieza y de un ciclo de limpieza.

35 Adicionalmente, con el procedimiento según la invención, como criterio para la determinación de un momento de limpieza y de un ciclo de limpieza se emplea un pronóstico de carga en función de la demanda de electricidad y/o la demanda de calor, de tal modo que un momento de limpieza óptimo determinado desde puntos de vista de la eficacia en el sentido de una disponibilidad técnica del generador de vapor y/o en caso dado un tiempo de limpieza óptimo determinado para ello se aplazan en función de la carga en el sentido de una parte de las superficies que se han de limpiar. Adicional o alternativamente, también es posible aumentar o atenuar la intensidad del proceso de limpieza. Esto se basa en la consideración de que en caso de una demanda de carga máxima en la red es deseable a ser posible un rendimiento máximo de potencia de la caldera, de modo que en estos períodos de tiempo se ha de evitar una caída de la carga de la caldera condicionada por la limpieza. De acuerdo con la invención, los períodos de tiempo disponibles para una limpieza y/o para un ciclo de limpieza se pueden aplazar u optimizar en el sentido de una optimización de plena carga en función de la demanda de electricidad.

40 Es decir, si por ejemplo un momento de limpieza óptimo cae dentro de una fase de la demanda de carga máxima, éste se puede aplazar en caso dado de tal modo que caiga en una fase con menores solicitudes de carga a los generadores de vapor, en la que naturalmente el precio de la electricidad, que depende de la demanda, también es más bajo.

45 Por lo tanto, de acuerdo con la invención, la limpieza conforme a las necesidades y la disminución de la potencia del generador de vapor resultante de ello se vinculan con la demanda de electricidad actual y el precio de la electricidad resultante de ello o con la demanda de calor actual.

En este contexto se ha de asegurar, por un lado, que el ensuciamiento no deteriore el proceso de forma duradera y, por otro, que la aplicación tenga lugar de tal modo que las pérdidas de potencia del generador de vapor que se pueden esperar debido a la limpieza se produzcan en fases de una baja demanda de electricidad.

5 En este contexto, con el fin de evitar una parada no programada de la caldera, no se debe sobrepasar un determinado ensuciamiento máximo admisible.

El procedimiento anteriormente descrito es particularmente adecuado para utilizarlo en calderas o generadores de vapor alimentados con lignito, ya que el lignito, en función de su naturaleza, contiene grandes proporciones de sustancias formadoras de escorias, y en dichos generadores de vapor es especialmente importante un funcionamiento con eficiencia optimizada.

10 Como parámetros de estado del generador de vapor se registran y/o se miden al menos las temperaturas de las superficies de calentamiento y/o la temperatura del vapor vivo del generador de vapor y/o las temperaturas del recalentador intermedio del generador de vapor. Las temperaturas de las superficies de calentamiento se pueden utilizar por ejemplo para determinar el estado de ensuciamiento de las superficies de calentamiento, éstas se pueden determinar por ejemplo mediante el procedimiento conocido de imagen de radiación térmica. La temperatura de las paredes de la cámara de combustión puede servir como indicador del estado de ensuciamiento de la cámara de combustión. La temperatura de las superficies de calentamiento también se puede medir por ejemplo con sensores de temperatura adecuados.

20 Por ejemplo, en el documento DE 10 2006 022 627 A1 y en el documento DE 10 2007 039 945 A1 se describen procedimientos para determinar y vigilar las temperaturas de la cámara de combustión. Además, en esta segunda publicación también se describe un procedimiento para determinar la eficacia de las superficies de calentamiento.

25 En una variante preferente del procedimiento según la invención está previsto que el pronóstico de carga para el generador de vapor se establezca en función de datos de la previsión meteorológica. En principio es sabido que en determinadas condiciones meteorológicas se suministra a la red menos electricidad procedente de fuentes de energía renovables, de modo que se puede establecer un pronóstico de carga totalmente fiable a lo largo de un período de varios días. En el caso del suministro de calor mediante el generador de vapor, el pronóstico de carga tiene lugar en función de una demanda de calor pronosticada. Un pronóstico de carga no ha de ser establecido necesariamente en función de previsiones meteorológicas, por ejemplo el pronóstico de carga también se puede realizar en función de la conexión o desconexión programada de consumidores de electricidad y/o de calor industriales. Por ejemplo, en la puesta en marcha de una planta de producción para la fabricación de aluminio se requieren cantidades considerables de electricidad, de modo que el arranque de una planta de este tipo constituye un caso de carga pronosticable.

35 Un proceso de limpieza nominal se puede suprimir y/o atenuar y/o aplazar y/o acortar en caso de una carga fuerte pronosticada en la red eléctrica, un proceso de limpieza nominal se puede adelantar y/o intensificar en caso de una carga reducida pronosticada. En el sentido de la presente solicitud, por un "proceso de limpieza nominal" se ha de entender un proceso de limpieza que es conveniente y deseable en un determinado momento de limpieza en función del pronóstico de eficacia realizado, pero que no es forzosamente necesario en dicho momento. Un proceso de limpieza de este tipo forzosamente necesario, en un momento de limpieza que se ha de mantener forzosamente, es únicamente un proceso de limpieza que se ha de activar al caer por debajo de una eficacia mínima predeterminada de la superficie de calentamiento o al sobrepasar un ensuciamiento máximo admisible de la superficie de calentamiento.

45 En un momento de limpieza determinado se ejecuta un ciclo de limpieza determinado, pudiendo también estar previsto en caso dado no aplazar el momento de limpieza, sino reducir o ampliar el alcance de la limpieza en el sentido de las superficies que se han de limpiar. En caso dado se puede reducir o aumentar la intensidad de la limpieza, por ejemplo mediante el control de la presión de agua si se utilizan eyectores de lanza de agua. En el sentido de presente solicitud, por el "momento de limpieza" se ha de entender el comienzo de un ciclo de limpieza.

Resulta especialmente adecuado intensificar un proceso de limpieza nominal retrasado. Es decir, un proceso de limpieza nominal que se suprime en una fase de carga fuerte de la red eléctrica y que se lleva a cabo en un momento posterior se intensifica para evitar ensuciamientos permanentes en las superficies de calentamiento.

50 Resulta especialmente ventajoso establecer el pronóstico de disponibilidad y el pronóstico de eficacia mediante modelos neuronales.

También resulta ventajoso utilizar al menos el pronóstico de eficacia y el pronóstico de carga como magnitudes de entrada en un regulador difuso, a través de las cuales se activan y/o liberan los ciclos de limpieza.

55 También se puede utilizar como magnitud de entrada en el regulador difuso un desgaste de las superficies de calentamiento, esperable debido a la limpieza, en función de la duración y la extensión superficial de un proceso de limpieza.

- Preferiblemente, el pronóstico de carga se representa como un pronóstico del precio de la electricidad. Entonces, en caso de una regulación difusa, el pronóstico del precio de la electricidad se utiliza como magnitud de entrada en el regulador difuso. Con sistemas de diagnóstico, como por ejemplo sistemas de gestión de eliminación de hollín por soplado orientados a la eficacia de las superficies de calentamiento, o por ejemplo sistemas de limpieza guiados por cámara de infrarrojos, se determinan la necesidad de limpieza técnica y el momento de limpieza optimizado, y éstos se transmiten a la tecnología de mando de operaciones para el control de los dispositivos de limpieza. La necesidad de limpieza técnica es la necesidad de limpieza resultante del pronóstico de eficacia, como ya se ha explicado más arriba.
- Alternativamente, el pronóstico de carga se puede establecer como un pronóstico de la demanda de calor por ejemplo dependiendo de la época del año o en función de la conexión y desconexión de consumidores industriales.
- De acuerdo con la invención, la planificación de la carga, la limpieza y la operación en un generador de vapor (bloque de central eléctrica) se evalúa y automatiza mediante un regulador de carga. Como regulador de carga puede estar previsto por ejemplo un dispositivo para el proceso electrónico de datos con un *software* correspondiente. En el regulador de carga se determina el margen de maniobra temporal y técnico y se vincula por ejemplo con la evolución de los precios y la demanda en el mercado de la electricidad. De ello resulta entonces un plan de limpieza optimizado en cuanto al precio y en cuanto a la demanda, que a ser posible no permite ningún déficit de carga en tiempos de precios altos en el mercado de la electricidad y que activa los dispositivos de limpieza en fases de precios bajos. De este modo se tiene en cuenta de forma óptima la demanda actual de electricidad y de calor. En esta optimización también se puede incluir la disposición de combustible.
- Se evalúan los ingresos/precios resultantes del mercado de la electricidad o de la demanda de calor, se determinan los ciclos de limpieza aceptables y se busca y activa un valor óptimo de ambos criterios. La activación de los sistemas de limpieza puede tener lugar automáticamente mediante los sistemas de diagnóstico y/o la tecnología de mando de operaciones, o puede ser transmitida como recomendación al equipo de servicio, que después lleva a cabo la activación.
- En una variante ventajosa del procedimiento según la invención está previsto aplazar un proceso de limpieza nominal, dentro de una fase de carga fuerte, a un período de tiempo con una mayor disponibilidad pronosticada. En este contexto, en la planificación de la realización de un proceso de limpieza se tiene en cuenta adicionalmente la potencia máxima posible más alta del generador de vapor. Esto es ventajoso sobre todo cuando la potencia máxima posible más alta no está ya incluida en el pronóstico de disponibilidad, sino que ha resultado hace poco debido a un cambio de parámetros que en otro caso son limitativos de la potencia.
- En otra configuración ventajosa del procedimiento, durante el establecimiento del pronóstico de disponibilidad y durante la regulación actual se vigilan y se tienen en cuenta en particular factores limitativos de la potencia del generador de vapor. Éstos son, por ejemplo, el valor calorífico del combustible, la cantidad de vapor vivo, la temperatura del vapor vivo, la temperatura del recalentador intermedio, la presión del recalentador intermedio, la cantidad del recalentador intermedio y/o la temperatura del agua de refrigeración.
- Resulta conveniente establecer un plan de control para la regulación, controlada por la carga, de la potencia del generador de vapor en función del pronóstico de carga y del pronóstico de disponibilidad, y regular la potencia del generador de vapor por medio del plan de control. De este modo se produce un control nominal-real del generador de vapor.
- El control de la potencia del generador de vapor es posible de la forma habitual a través de una regulación de frecuencias y una regulación de potencia secundaria tras un generador eléctrico. En este caso, la regulación de la potencia tiene lugar a través del control de la potencia eléctrica suministrada a una red eléctrica por un generador eléctrico conectado detrás del generador de vapor.
- Convenientemente, el pronóstico de carga, el pronóstico de disponibilidad y el pronóstico de eficacia se establecen para períodos de tiempo medidos en horas y días, preferiblemente para períodos de tiempo entre aproximadamente 0 y 24 horas para el día en curso y entre aproximadamente 0 y 48 horas para los días siguientes.
- Por ejemplo, el plan de control se puede suministrar como un programa para el modo de funcionamiento del generador de vapor en forma de un diagrama de operaciones para el día siguiente, en el que después tiene lugar la regulación del generador de vapor por medio del plan de control, predeterminando el plan de control las magnitudes de referencia para la potencia del generador de vapor.
- En efecto, puede estar previsto sobrerregular cada cuarto de hora este plan de control suministrado por ejemplo para un período diurno o un período de 24 horas, en función de la demanda de la red eléctrica.
- Adicionalmente se puede prever que en el pronóstico de disponibilidad se tengan en cuenta opciones de potencia complementarias y/u opciones para el suministro de energía de regulación. Las opciones de potencia complementarias son en particular aquellas que en cualquier caso posibilitan temporalmente una mayor potencia del generador de vapor, pero que dado el caso están asociadas con una menor eficiencia del generador de vapor. Un ejemplo de una opción de potencia complementaria de este tipo consiste en la desconexión de precalentadores. De

este modo se logra un aumento de la potencia en detrimento de la eficiencia. Para el suministro de energía de regulación se pueden especificar con mayor precisión las bandas de potencia del generador de vapor en las que se puede aportar la potencia de regulación.

5 El procedimiento según la invención permite aprovechar todo el potencial de carga de un generador de vapor en el sentido de que también es posible disponer de una potencia máxima superior a la potencia nominal / potencia de cuello de botella del generador de vapor. Además, las mayores posibilidades de planificación de la potencia permiten una banda de seguridad más estrecha en la potencia ofrecida. Sin pronóstico de disponibilidad sería necesario preparar una determinada anchura de banda de potencia alrededor de la potencia nominal del generador de vapor como potencia de bloque no disponible, y en caso dado controlar el generador de vapor dentro de dicha anchura de banda de acuerdo con las solicitudes de carga de la red eléctrica. Mediante el establecimiento de un pronóstico de disponibilidad es posible disponer de la potencia del generador de vapor que está por encima de la potencia nominal del generador de vapor, de modo que en la planificación de un proceso de limpieza se puede tener en cuenta una potencia máxima posible del generador de vapor.

15 La invención consigue otra ventaja teniendo en cuenta al mismo tiempo varios generadores de vapor y/o al menos un generador de vapor y una instalación para el suministro de energía de regulación en el marco de una gestión de grupo de balance. En principio, un requisito impuesto a los generadores de vapor consiste en que éstos han de tener preparada una parte fija de su potencia como reserva (energía de regulación) para, en caso dado, mantener con precisión la solicitud de carga y/o contribuir a la estabilidad de la red. Este requisito también se puede satisfacer mediante la reserva de una potencia correspondiente en el marco de una gestión de grupo de balance.

20 Correspondientemente está previsto un procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor para generar electricidad y/o suministrar calor, en el que al menos un generador de vapor y una instalación para el suministro de energía de regulación se reúnen para formar un grupo de balance virtual. La instalación para el suministro de energía de regulación puede consistir en principio en cualquier tipo de generador de energía que, cuando así se requiera, sea capaz de suministrar una potencia suficiente previamente definida, en concreto dentro de un período de tiempo predeterminado. Por lo tanto, para la idoneidad son decisivas sobre todo la potencia máxima y la rampa de arranque posible para llegar a la potencia máxima. La instalación para el suministro de energía de regulación puede consistir en particular en otro generador de vapor, en una central de bombeo o en potencias desconectables.

30 El procedimiento según la invención incluye el establecimiento de un pronóstico de carga en función de la demanda de electricidad y/o de la demanda de calor para el o los generadores de vapor, el establecimiento de un pronóstico para la potencia máxima previsiblemente disponible del o de los generadores de vapor como pronóstico de disponibilidad, y el establecimiento de un plan de control en el que se tienen en cuenta los generadores de vapor con la potencia máxima y la instalación para el suministro de energía de regulación con una potencia mínima, reunidos formando el grupo de balance.

35 Este procedimiento ofrece la ventaja de que, a diferencia de lo que ocurría hasta ahora, los generadores de vapor pueden funcionar con su potencia máxima y no han de poner a disposición ninguna energía de regulación. Esto posibilita un uso económico de los generadores de vapor, en particular también desde el punto de vista del desgaste de la planta, ya que se pueden evitar los cambios de carga frecuentes.

40 Las fluctuaciones de la potencia de los generadores de vapor individuales se compensan en gran medida al tener en cuenta varios generadores de vapor debido a efectos estocásticos, o son compensadas centralmente por la o las instalaciones para el suministro de la energía de regulación.

El plan de control se establece principalmente para períodos de tiempo futuros, por ejemplo para períodos de tiempo medidos en horas y días, preferiblemente para períodos de tiempo entre aproximadamente 0 y 24 horas para el día en curso y entre aproximadamente 0 y 48 horas para los días siguientes.

45 Tal como ya se ha descrito previamente, el pronóstico de disponibilidad se establece preferiblemente en función de la temperatura ambiente y/o de la calidad del combustible, ya que estos parámetros tienen una influencia considerable en la potencia disponible.

50 Preferiblemente, en el marco del procedimiento se vigila la potencia de generador eléctrico bruta y/o neta del o de los generadores de vapor. La vigilancia de uno de los dos valores de potencia es suficiente, ya que el otro valor se puede deducir si se conoce correspondientemente la instalación. La instalación para el suministro de energía de regulación se regula de tal modo que compensa una diferencia de la generación con respecto al plan de control y, por lo tanto, el grupo de balance está compensado en todo momento.

55 Adicionalmente se puede prever que en el pronóstico de disponibilidad se tengan en cuenta opciones de potencia complementarias y/u opciones para el suministro de energía de regulación. Las opciones de potencia complementarias son en particular aquellas que en cualquier caso posibilitan temporalmente una mayor potencia del generador de vapor, pero que dado el caso están asociadas con una menor eficiencia del generador de vapor. Un ejemplo de una opción de potencia complementaria de este tipo consiste en la desconexión de precalentadores. De este modo se logra un aumento de la potencia en detrimento de la eficiencia.

Las opciones de potencia complementarias pueden ser utilizadas en particular para el suministro de energía de regulación.

5 En el procedimiento para el control de potencia de varios generadores de vapor según la reivindicación 14 también se tiene en cuenta, tal como se ha descrito más arriba, la utilización de dispositivos de limpieza alimentados por vapor y/o por agua durante el funcionamiento del generador de vapor. En este sentido se remite a la descripción precedente.

La invención se explica a continuación por medio de un ejemplo de realización con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

10 la Figura 1 muestra un diagrama de potencia de un generador de vapor a lo largo de un período de tiempo de 24 horas, en el que se indican la potencia eléctrica máxima posible del generador de vapor como potencia bruta, la potencia eléctrica del generador eléctrico como potencia bruta, la potencia eléctrica del generador de vapor como potencia neta y el plan de control para el período de tiempo correspondiente, designado en lo sucesivo como programa;

la Figura 2 es un diagrama de bloques de un control y pronóstico del generador de vapor;

15 la Figura 3 es un ejemplo de un plan de control o programa a lo largo de varios días, estando indicada la potencia eléctrica en una escala de tiempo; y

20 la Figura 4 es la representación de la potencia eléctrica de un generador de vapor indicada a lo largo de un período de tiempo de 16 horas, estando representadas la potencia bruta máxima posible del generador de vapor, la potencia máxima posible del generador de vapor menos las pérdidas de potencia necesarias para limpiezas, y la potencia bruta del generador eléctrico realmente retirada después del control del generador de vapor.

25 Cuando en lo sucesivo se habla de potencia bruta del generador eléctrico y potencia neta del generador eléctrico, con el concepto "potencia bruta del generador eléctrico" se designa la potencia eléctrica en los bornes del generador eléctrico que está disponible como potencia eléctrica. La "potencia neta del generador eléctrico" es la potencia que realmente se suministra a una red eléctrica. La diferencia entre la potencia neta del generador eléctrico y la potencia bruta del generador eléctrico es la potencia derivada de la red eléctrica para el funcionamiento del propio generador de vapor. Por regla general, la regulación del generador de vapor tiene lugar por medio de la potencia bruta del generador eléctrico sobre la base de datos existentes, pudiendo deducirse la potencia neta del generador eléctrico.

30 La potencia nominal del generador de vapor es la potencia eléctrica nominal para la que está diseñado el generador de vapor. La potencia eléctrica máxima posible es la potencia que es capaz de producir realmente el generador de vapor en función de la temperatura exterior o la temperatura ambiente y de la calidad del combustible, así como de la eficacia de las superficies de calentamiento.

35 Si las superficies de calentamiento se limpian durante el funcionamiento del generador de vapor, la potencia máxima realmente posible disminuye durante el proceso de limpieza, por ejemplo en aproximadamente 15 a 30 MW en caso de un generador de vapor con una potencia eléctrica nominal de 300 MW (megavatios), dependiendo del tipo de proceso de limpieza.

40 La limpieza puede incluir por ejemplo la limpieza de la superficie de calentamiento por radiación dispuesta en una cámara de combustión en cada caso enfrente de un dispositivo de limpieza por medio de uno o más eyectores de lanza de agua. En este proceso se aplica agua a alta presión a través de la cámara de combustión sobre la superficie de calentamiento por radiación situada enfrente, con lo que se sueltan las adherencias o aglomeraciones más o menos previstas allí.

En el sentido de la presente solicitud, como limpieza de las superficies de calentamiento también puede estar prevista la limpieza de las, así llamadas, superficies de termorrecuperación del generador de vapor mediante, así llamados, deshollinadores.

45 Estos procesos de limpieza se llevan a cabo durante el funcionamiento del generador de vapor, lo que es generalmente conocido.

El ejemplo descrito a continuación se describe mediante un dispositivo para controlar un generador de vapor con una combustión de polvo de lignito. El generador de vapor o el bloque de central eléctrica tienen una potencia nominal de 300 MW.

50 En la Figura 1 están indicadas, a lo largo de un período de tiempo anterior de 24 horas, la potencia bruta máxima posible del bloque de central eléctrica (generador de vapor  $P_{MB}$ ), la potencia bruta real del generador eléctrico  $P_{GB}$ , la potencia neta real del generador eléctrico  $P_{GN}$ , así como el plan de control o programa de la potencia puesta a disposición de la red eléctrica  $P_{Dispo}$ .

En la Figura 1 se puede ver que la potencia máxima posible  $P_{MB}$  del generador de vapor es claramente mayor que la potencia puesta realmente a disposición de acuerdo con el programa ( $P_{Dispo}$ ).

En la Figura 1 también se puede ver que aproximadamente entre las 13 horas y las 16 horas, así como aproximadamente entre las 21 horas y las 0 horas, ha tenido lugar una limpieza del generador de vapor, que va acompañada de una caída de la potencia neta del generador eléctrico  $P_{GN}$ .

Ahora se explican la construcción y la estructura del control según la invención por medio del diagrama de bloques representado en la Figura 2. En el diagrama de bloques, el bloque de central eléctrica o generador de vapor está designado con la referencia 1, que se refiere al bloque de central eléctrica físicamente presente. El bloque 1 de central eléctrica incluye una cámara de combustión o caldera con un ciclo de agua-vapor, así como al menos un generador eléctrico accionado por vapor, que suministra corriente eléctrica a la red eléctrica designada con la referencia 2. El control del bloque 1 de central eléctrica tiene lugar a través de la tecnología de mando de operaciones de la central eléctrica, representada esquemáticamente con la referencia 3, a través de la cual tienen lugar la regulación de carga y el control de dispositivos de limpieza 4. La tecnología de mando de operaciones 3 de la central eléctrica tiene preconectado un bloque 5 de central eléctrica virtual en forma de un modelo de planta virtual. El bloque de central eléctrica virtual incluye la reproducción virtual de todos los dispositivos de medición, vigilancia y diagnóstico físicamente presentes para los parámetros de estado del bloque 1 de central eléctrica, así como la reproducción de la carga del bloque y la reproducción del control de los dispositivos de limpieza 4.

Los datos procedentes del dispositivo de mando de operaciones 3 de la central eléctrica y del bloque 5 de central eléctrica virtual se reúnen en una base de datos 6 que está en comunicación con un regulador de carga/optimizador 7. El regulador de carga 7 está configurado como un sistema neuronal basado en *software* con al menos un regulador difuso e incluye una interfaz de usuario basada en la *web*. En este regulador de carga entran los valores de entrada en forma de valores de medición y valores nominales de la tecnología de mando de operaciones de la central eléctrica, eficacia, eficiencias, rendimientos y parámetros de la planta, así como consumos del bloque 6 de central eléctrica virtual, que también reproduce los sistemas de diagnóstico del bloque 1 de central eléctrica. En el regulador de carga 7 se generan el pronóstico de eficacia, el pronóstico de carga y el pronóstico de disponibilidad como capacidad de solicitud optimizada, así como un control de limpieza optimizado. El pronóstico de carga y el pronóstico de disponibilidad se establecen a base de datos de la planificación operativa 9 de la central eléctrica, y dichos datos tienen en cuenta datos meteorológicos y demandas previsibles del mercado. Además, el regulador de carga 7 establece un pronóstico de disponibilidad 8 o pronóstico de capacidad de solicitud, que es tenido en cuenta a su vez en la planificación operativa 9 de la central eléctrica en la medida en que, sobre la base del pronóstico de disponibilidad 8 y de demandas de carga 10 del mercado de la electricidad, se establece un programa 11 en forma de un plan de control que es tenido en cuenta en el dispositivo de mando de operaciones 3 de la central eléctrica como magnitud de referencia para el control del bloque 1 de central eléctrica.

La vigilancia de los parámetros de estado del generador de vapor o del bloque 1 de central eléctrica tiene lugar a través de los dispositivos de diagnóstico, cuyos datos de diagnóstico se reproducen en el bloque 5 de central eléctrica virtual y son almacenados en la base de datos 6. Sobre la base de estos datos se establece un pronóstico de eficacia en el regulador de carga 7, y sobre la base del pronóstico de eficacia se determina un momento de limpieza nominal. Teniendo en cuenta un pronóstico de carga en función de la demanda de electricidad y en caso dado teniendo en cuenta una potencia máxima previsiblemente disponible del generador de vapor, se generan comandos de control para el control de los dispositivos de limpieza 4. De este modo es posible determinar y disponer el momento de limpieza óptimo y la intensidad de limpieza óptima en función de las demandas de carga 10 del mercado. Además, el regulador de carga 7 puede establecer un pronóstico de disponibilidad 8 o pronóstico de capacidad de solicitud, que es tenido en cuenta para el establecimiento de un programa 11 optimizado, y el programa 11 optimizado tiene en cuenta una capacidad de solicitud optimizada del bloque 1 de central eléctrica, por ejemplo tal como está representado gráficamente a continuación por medio de la Figura 4. La Figura 4 muestra un diagrama que corresponde aproximadamente al diagrama representado en la Figura 1, estando indicadas en este caso la potencia bruta máxima posible  $P_{MB}$  del bloque 1 de central eléctrica, la potencia bruta máxima posible del bloque 1 de central eléctrica después de la eliminación de hollín por soplado  $P_{MBR}$ , la potencia bruta del generador eléctrico  $P_{GB}$  y la potencia que puede ser puesta a disposición  $P_{Dispo}$  de acuerdo con el plan de control o programa 11. La superficie rayada muestra el potencial de carga obtenido teniendo en cuenta la disponibilidad máxima del bloque 1 de central eléctrica, las superficies sombreadas entre  $P_{MB}$  y  $P_{MBR}$  ilustran el potencial de carga obtenido mediante el control correspondiente de los dispositivos de limpieza.

#### Listado de símbolos de referencia

$P_{MB}$  Potencia eléctrica bruta máxima posible del generador de vapor

$P_{GB}$  Potencia bruta del generador eléctrico

$P_{GN}$  Potencia neta del generador eléctrico

$P_{Dispo}$  Plan de control/programa

$P_{MBR}$  Potencia bruta máxima posible del generador de vapor después de la eliminación de hollín por soplado

1 Bloque de central eléctrica

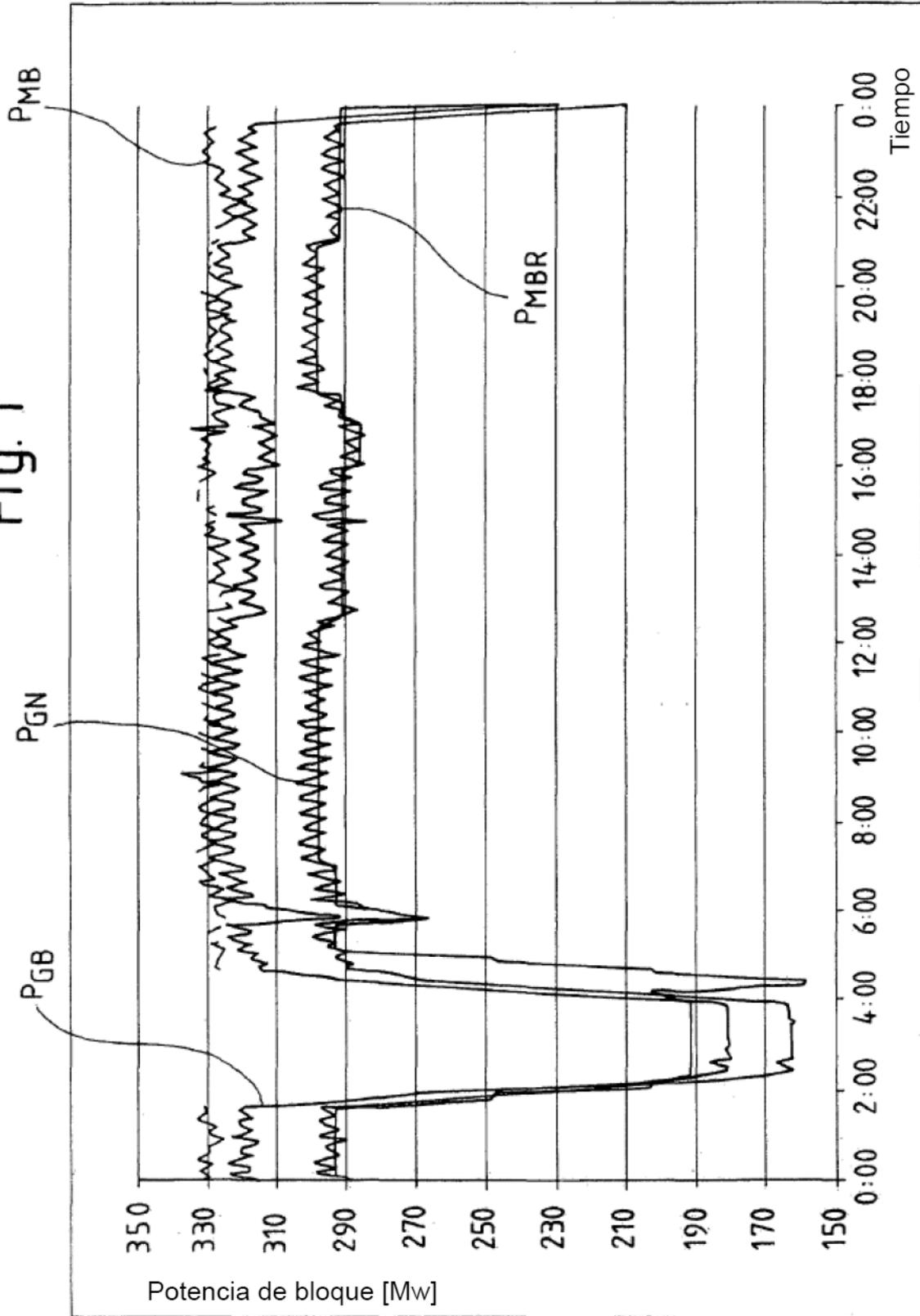
	2	Red eléctrica
	3	Tecnología de mando de operaciones de la central eléctrica
	4	Dispositivo de limpieza
	5	Bloque de central eléctrica virtual
5	6	Base de datos
	7	Regulador de carga
	8	Pronóstico de disponibilidad
	9	Planificación operativa de la central eléctrica
	10	Demanda de carga
10	11	Programa

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor para generar electricidad y/o suministrar calor teniendo en cuenta la utilización de dispositivos de limpieza alimentados por vapor y/o por agua durante el funcionamiento del generador de vapor, que incluye:
- 5 - la vigilancia de parámetros de estado del generador de vapor que permiten sacar conclusiones directas o indirectas sobre la eficacia y/o el grado de ensuciamiento de superficies de calentamiento del generador de vapor, caracterizado por
- el establecimiento de un pronóstico de eficacia por medio de los parámetros de estado medidos y/o determinados,
- 10 - el establecimiento de un pronóstico de carga en función de la demanda de electricidad y/o de la demanda de calor,
- el establecimiento de un pronóstico de la potencia máxima previsiblemente disponible del generador de vapor como pronóstico de disponibilidad y en función de la temperatura ambiente y/o de la calidad del combustible,
- 15 - la determinación de un momento de limpieza óptimo, en el sentido de una disponibilidad técnica del generador de vapor, en función del pronóstico de eficacia, en donde un proceso de limpieza nominal que se ha de iniciar después del pronóstico de eficacia se modifica en función del pronóstico de carga y del pronóstico de disponibilidad, bajo la condición de no caer por debajo de una eficacia mínima predeterminada de las superficies de calentamiento del generador de vapor y/o de no sobrepasar un ensuciamiento máximo admisible predeterminado de las superficies de calentamiento.
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que un proceso de limpieza nominal que se ha de iniciar de acuerdo con el pronóstico de eficacia se aplaza o suprime y/o se acorta o prolonga y/o se intensifica o atenúa.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que como parámetros de estado se registran y/o se miden al menos la temperatura de las superficies de calentamiento y/o la temperatura del vapor vivo y/o la temperatura del recalentador intermedio del generador de vapor.
- 25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el pronóstico de carga para el generador de vapor se establece en función de datos de la previsión meteorológica.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que, en caso de una carga fuerte pronosticada, un proceso de limpieza nominal se suprime o se aplaza y/o se atenúa y/o se acorta y, en caso de una carga reducida pronosticada, un proceso de limpieza nominal se adelanta y/o se intensifica.
- 30 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que un proceso de limpieza nominal retrasado se intensifica.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el pronóstico de carga, el pronóstico de disponibilidad y el pronóstico de eficacia se establecen mediante modelos neuronales.
- 35 8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que al menos el pronóstico de eficacia y el pronóstico de carga se utilizan como magnitudes de entrada en un regulador difuso con el que se controlan los procesos de limpieza.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que el desgaste de las superficies de calentamiento del generador de calor que se puede esperar debido a la limpieza en función de la duración y la extensión superficial de un proceso de limpieza se utiliza como magnitud de entrada en el regulador difuso.
- 40 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 o 9, caracterizado por que el pronóstico de carga se representa como un pronóstico del precio de la electricidad y, preferiblemente, el pronóstico del precio de la electricidad se utiliza como magnitud de entrada en el regulador difuso.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que un proceso de limpieza nominal dentro de una fase de carga fuerte se aplaza a un período de tiempo con una mayor disponibilidad pronosticada del generador de vapor.
- 45 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se establece un plan de control para la regulación, controlada por la carga, de la potencia del generador de vapor en función del pronóstico de carga y del pronóstico de disponibilidad, y por que la potencia del generador de vapor se regula por medio del
- 50 plan de control.

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el pronóstico de carga, el pronóstico de disponibilidad y el pronóstico de eficacia se establecen para períodos de tiempo medidos en horas y/o días, preferiblemente para aproximadamente 0 a 24 horas y/o 0 a 48 horas.
- 5 14. Procedimiento para regular la potencia de generadores de vapor para generar electricidad y/o suministrar calor según una de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos un generador de vapor y una instalación para el suministro de energía de regulación se reúnen para formar un grupo de balance virtual, que incluye:
- el establecimiento de un pronóstico de carga en función de la demanda de electricidad y/o de la demanda de calor para el o los generadores de vapor,
  - el establecimiento de un pronóstico de la potencia máxima previsiblemente disponible del o de los generadores de vapor como pronóstico de disponibilidad y preferiblemente en función de la temperatura ambiente y/o de la calidad del combustible,
- 10 teniendo en cuenta un plan de control los generadores de vapor reunidos para formar el grupo de balance virtual con la potencia máxima y la instalación para el suministro de energía de regulación con una potencia mínima.
- 15 15. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado por que se vigila la potencia de generador eléctrico bruta y/o neta del o de los generadores de vapor, y la instalación para el suministro de energía de regulación se regula de tal modo que compensa una diferencia de la generación con respecto al plan de control.
16. Procedimiento según la reivindicación 14 o 15, caracterizado por que como instalación para el suministro de energía de regulación se utiliza una carga desconectable y/o una instalación para la generación de electricidad, en particular un generador de vapor o un central eléctrica alimentada por gas.
- 20 17. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 16, caracterizado por que en el pronóstico de disponibilidad se tienen en cuenta opciones de potencia y/u opciones de energía de regulación complementarias, preferiblemente por que las opciones de potencia complementarias se basan en la desconexión temporal de componentes individuales que reducen la potencia.

Fig. 1



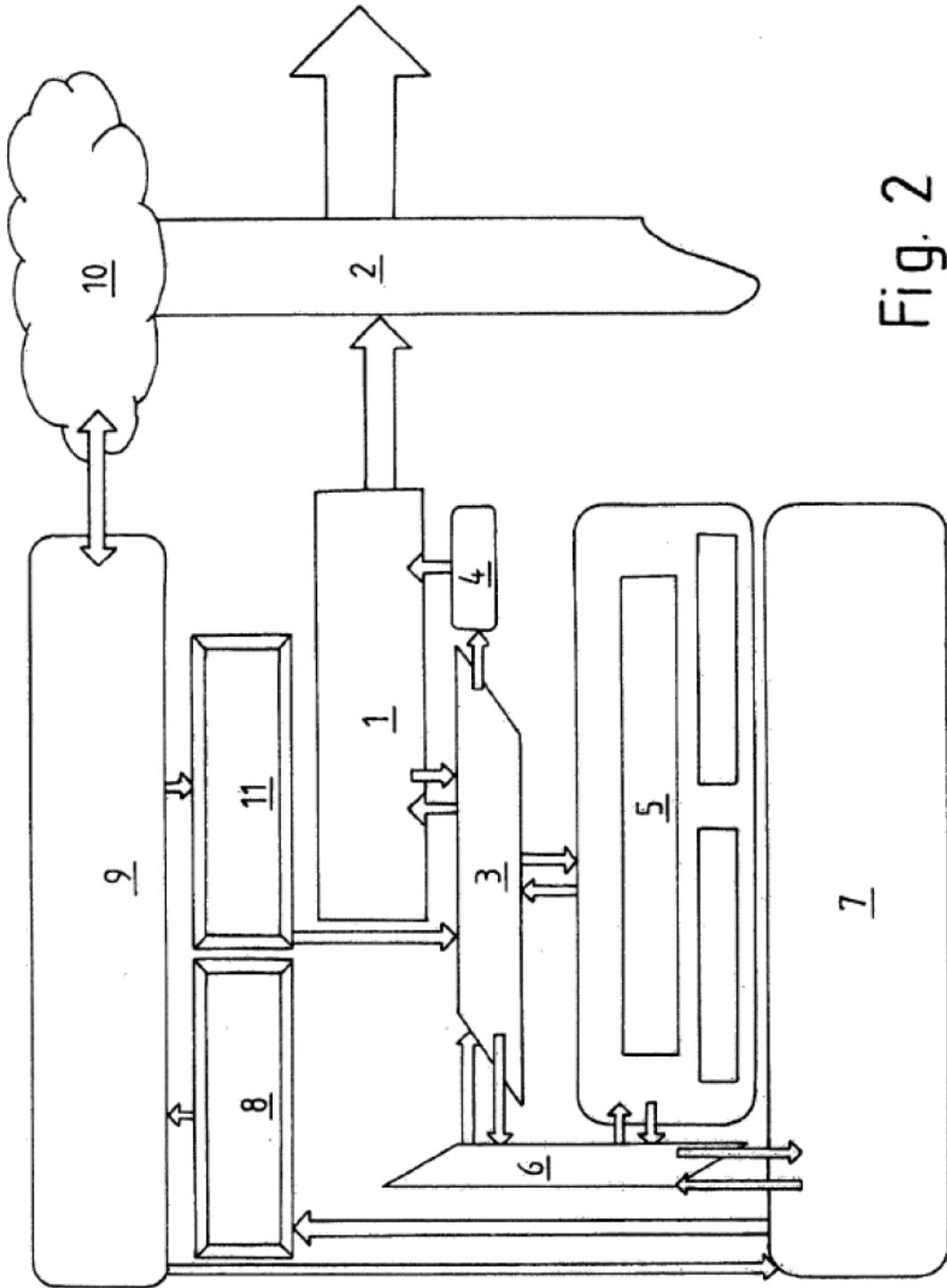


Fig. 2



Fig. 4

