

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 848 053**

51 Int. Cl.:

F22G 1/16 (2006.01)

F22G 5/18 (2006.01)

F22G 5/02 (2006.01)

F22G 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2018** **E 18397514 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.10.2020** **EP 3415816**

54 Título: **Un método y un sistema para ampliar el rango de carga de una central eléctrica que comprende una caldera que suministra vapor a una turbina de vapor**

30 Prioridad:

10.05.2017 FI 20175419

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

05.08.2021

73 Titular/es:

VALMET TECHNOLOGIES OY (100.0%)

**Keilasatama 5
02150 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**ISAKSSON, JUHANI y
NIEMINEN, MATTI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 848 053 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

Un método y un sistema para ampliar el rango de carga de una central eléctrica que comprende una caldera que suministra vapor a una turbina de vapor

Campo de la solución descrita

- 5 La solución descrita se refiere al funcionamiento de una central eléctrica con turbina de vapor que comprende una caldera para la generación de vapor.

Antecedentes de la solución descrita

Las centrales eléctricas con turbina de vapor se utilizan comúnmente para la producción de electricidad. En las plantas combinadas de generación de electricidad y calor (CHP), la energía térmica no captada por la turbina de vapor se utiliza además como calor útil.

- 10 En la generación de energía con turbinas de vapor, una caldera, que quema combustible adecuado, produce vapor con un caudal másico, que se transporta a una turbina de vapor. El vapor se refiere al agua en un estado gaseoso. En la caldera, la energía térmica liberada por el combustible quemado se transfiere al vapor.

- 15 El vapor que entra en la turbina de vapor se suele presurizar a 80-180 bares y tiene una temperatura que suele estar en el rango de 450-560 °C. Normalmente, cuando una central eléctrica está en funcionamiento, es decir, produce electricidad, la presión del vapor que entra en la turbina se mantiene constante mientras que su temperatura puede cambiar. La turbina de vapor convierte la energía térmica del vapor en movimiento giratorio en el eje de salida de la turbina. Este eje impulsa entonces un generador eléctrico por medio de una línea de transmisión adecuada.

- 20 Una turbina de vapor requiere vapor de una calidad suficientemente alta para su funcionamiento viable. Esto hace referencia normalmente a que el vapor que entra en la turbina de vapor debe contener una cantidad suficientemente alta de energía térmica para ser liberada en la turbina de vapor a medida que el vapor viaja a través de la turbina. Si el vapor entrante contiene muy poca energía térmica, no es aceptable para la turbina de vapor, ya que dicho vapor se puede condensar prematuramente y, por tanto, se corre el riesgo de que la turbina de vapor se dañe o falle.

- 25 Por esta razón, el rango de carga de una central eléctrica con turbina de vapor no se puede reducir por debajo del umbral en el que la caldera queme sólo el combustible suficiente de modo que la energía térmica transferida en la caldera al vapor permita cumplir los criterios mínimos de calidad del vapor que entra en la turbina de vapor. Por debajo de este umbral, es decir, la carga nominal mínima viable de la central eléctrica, la central eléctrica no puede funcionar de manera viable.

Por consiguiente, las centrales eléctricas con turbina de vapor tienen una limitación con respecto a su flexibilidad de rango de carga descendente, lo que limita su uso en la producción de electricidad, a saber, con cargas bajas, es decir, con bajo volumen de producción de electricidad.

- 30 Por ejemplo, el documento GB682410 describe una cámara de combustión separada con el propósito de supercalentar el vapor en una central eléctrica después de que el vapor haya salido de un generador de vapor. Sin embargo, la enseñanza consiste en detener cualquier supercalentamiento auxiliar con cargas bajas y confiar en un motor de combustión interna cuando sólo se requieren cargas bajas en la central eléctrica. El documento US 3002347A describe una central eléctrica diseñada para funcionar de forma eficiente con una carga alta y constante y con una combustión del combustible en dos etapas con un sistema presurizado que requiere la separación de los gases combustibles de los sólidos y los líquidos entre las fases de combustión.

Resumen de la solución descrita

El método de acuerdo con la solución descrita se define por lo indicado en las reivindicaciones 1 y 2. El sistema de acuerdo a la solución se define por lo indicado en las reivindicaciones 7 y 8.

- 40 La solución comprende un método para ampliar el rango de carga para el funcionamiento viable W_v de una central eléctrica con turbina de vapor que comprende una caldera con un supercalentador para suministrar vapor supercalentado a una turbina de vapor, teniendo la turbina de vapor una temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor, siendo ampliado el rango de carga para el funcionamiento viable W_v de la central eléctrica con turbina de vapor por medio de la utilización de forma controlada de una cámara auxiliar de supercalentamiento que comprende un supercalentador auxiliar para supercalentar adicionalmente el vapor.

- 45 Dicha utilización de forma controlada de la cámara de supercalentamiento auxiliar puede conllevar que, en función de la determinación de la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor:

(1) cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está por encima de una temperatura de alerta T_A , la cual temperatura de alerta T_A es más alta que la temperatura mínima viable T_v requerida: se quema combustible

en la caldera para generar energía térmica que se transfiere al vapor en el supercalentador para generar vapor supercalentado que satisfaga la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor; el vapor supercalentado se transporta desde el supercalentador al supercalentador auxiliar de la cámara de supercalentamiento auxiliar; el combustible se quema con un quemador en la cámara de supercalentamiento auxiliar para mantener la cámara de supercalentamiento en una temperatura del estado de espera en caliente; y el vapor supercalentado se transporta desde el supercalentador auxiliar a la turbina de vapor; y

(2) cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está en o por debajo de la temperatura de alerta T_A : se quema combustible en la caldera para generar energía térmica que se transfiere al vapor en el supercalentador para generar vapor supercalentado; el vapor supercalentado se transporta desde el supercalentador al supercalentador auxiliar de la cámara de supercalentamiento auxiliar; el vapor supercalentado se supercalienta adicionalmente quemando combustible con un quemador en la cámara de supercalentamiento auxiliar para generar energía para ser transferida al vapor supercalentado en el supercalentador auxiliar de tal manera que se satisfaga la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor; y el vapor supercalentado se transporta desde el supercalentador auxiliar a la turbina de vapor.

Como alternativa, dicha utilización de forma controlada de la cámara de supercalentamiento auxiliar puede conllevar que, en función de la determinación de la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor:

(1) cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está por encima de una temperatura de alerta T_A , la cual temperatura de alerta T_A es más alta que la temperatura mínima viable T_v requerida: en la caldera se quema combustible para generar energía térmica para que se transfiera al vapor en el supercalentador para generar vapor supercalentado que satisfaga la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor; el vapor supercalentado se transporta desde el supercalentador a la turbina de vapor baipaseando el supercalentador auxiliar con una vía de desviación de vapor; el combustible se quema con un quemador en la cámara de supercalentamiento auxiliar para mantener la cámara de supercalentamiento en una temperatura de estado de espera en caliente; y

(2) cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está en o por debajo de la temperatura de alerta T_A : el combustible se combustión en la caldera para generar energía térmica que se transfiere al vapor en el supercalentador para generar vapor supercalentado; el vapor supercalentado se transporta desde el supercalentador al supercalentador auxiliar de la cámara de supercalentamiento auxiliar; el vapor supercalentado se supercalienta adicionalmente quemando combustible con un quemador en la cámara de supercalentamiento auxiliar para generar energía para ser transferida al vapor supercalentado en el supercalentador auxiliar de tal manera que se satisfaga la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor; y el vapor supercalentado se transporte desde el supercalentador auxiliar a la turbina de vapor.

De este modo, la solución permite satisfacer la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor tanto dentro del rango de carga para el funcionamiento normal de la central eléctrica como en el rango de carga para el funcionamiento con baja carga de la central eléctrica.

La solución comprende además un sistema que puede comprender una caldera con un supercalentador para suministrar vapor supercalentado a una turbina de vapor, en la que la turbina de vapor tiene una temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor; comprendiendo una cámara de supercalentamiento auxiliar que puede utilizar de forma controlada un supercalentador auxiliar y un quemador, instalado el supercalentador auxiliar en una vía de transporte de avance del vapor entre el supercalentador y la turbina de vapor; y una unidad de control adaptada para:

- determinar la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor;
- cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está por encima de una temperatura de alerta T_A , cuya temperatura de alerta T_A es superior a la temperatura mínima viable T_v requerida: controlar la combustión del combustible en el quemador de tal manera que la cámara de supercalentamiento se mantenga en una temperatura de estado de espera en caliente; y
- cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor es igual o inferior a la temperatura de alerta T_A : controlar la combustión del combustible en el quemador de tal manera que se transfiera energía térmica al vapor supercalentado en el supercalentador auxiliar, de tal manera que se satisfaga la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor.

Como alternativa, la unidad de control se puede adaptar para:

- determinar la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor;
- cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor es superior a una temperatura de alerta T_A , cuya temperatura de alerta T_A es superior a la temperatura mínima viable T_v requerida: controlar una disposición de

válvulas de tal manera que el vapor supercalentado se transporte desde el supercalentador a la turbina de vapor, baipaseando de este modo el vapor el supercalentador auxiliar por medio de una vía de desviación de vapor; y controlar la combustión del combustible en el quemador de tal manera que la cámara de supercalentamiento se mantenga en una temperatura de estado de espera en caliente; y

- 5 - cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor es igual o inferior a la temperatura de alerta T_A : controlar la disposición de las válvulas de tal manera que el vapor supercalentado se transporte desde el supercalentador al supercalentador auxiliar; y controlar la combustión del combustible en el quemador de tal manera que se transfiera energía térmica al vapor supercalentado en el supercalentador auxiliar, de tal manera que se satisfaga la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor.

- 10 De este modo, la solución permite satisfacer la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor tanto dentro del rango de carga para el funcionamiento normal de la central eléctrica como del rango de carga para el funcionamiento con baja carga de la central eléctrica.

- Normalmente, una turbina de vapor tiene determinados requisitos mínimos de calidad para el vapor entrante. La calidad del vapor se refiere normalmente a: (1) la temperatura del vapor, (2) la presión del vapor y (3) la proporción del contenido de líquido arrastrado en el vapor. El vapor de alta calidad tiene una temperatura y presión suficientemente altas y contiene poco o ningún líquido arrastrado. Si el vapor no es de suficiente calidad, se condensará demasiado pronto a lo largo de su recorrido a través la turbina de vapor, con lo que las gotas de agua condensada pueden causar problemas. Dichos problemas comprenden, por ejemplo, las gotas de agua formadas que golpean las aspas de la turbina, normalmente hacia el extremo de la turbina de vapor, lo que crea un riesgo de daño o fallo de la turbina. La solución descrita alivia este problema al permitir el suministro, mediante la utilización de forma controlada de una cámara de supercalentamiento auxiliar que comprende un supercalentador auxiliar, de vapor de calidad suficientemente alta también en situaciones en las que la producción de energía térmica en la caldera sea insuficiente por sí sola para mantener una calidad de vapor suficiente.

- El vapor de calidad suficientemente alta requiere que se produzca una cantidad suficientemente grande de energía térmica en la caldera y que a continuación se transfiera al vapor. Dicha transferencia de energía se produce normalmente de modo que el agua se precalienta en la caldera para formar vapor, después de lo cual el vapor se calienta adicionalmente en un supercalentador o sobrecalentadores instalados en la caldera. El supercalentador es un dispositivo que se utiliza preferiblemente para convertir el vapor en vapor supercalentado.

- El vapor supercalentado es vapor a una temperatura que es superior al punto de ebullición de la sustancia, tal como el agua a una presión particular. El vapor en estado supercalentado no contiene ningún líquido arrastrado. Por lo tanto, la temperatura del vapor supercalentado puede disminuir en alguna medida antes de que comience a formarse el líquido arrastrado. Por consiguiente, cuanto más alta sea la temperatura del vapor supercalentado, más se puede enfriar, es decir, liberar energía, antes de que comience a formarse el líquido arrastrado.

- Normalmente, el vapor de calidad suficientemente alta para una turbina de vapor se refiere al vapor que se supercalienta a una temperatura tal que el vapor supercalentado contenga suficiente energía de modo que no se condense prematuramente en la turbina de vapor a medida que libera energía mientras viaja a través de la turbina de vapor.

- Normalmente, la presión del vapor que entra en la turbina de vapor se mantiene constante en el sistema de una central eléctrica. Esta presión comienza a disminuir una vez que el vapor entra en la turbina de vapor, en donde el vapor comienza a liberar energía y a expandirse.

- Una menor carga de la caldera, es decir, una menor generación de calor en la caldera, da como resultado que se transfiera menos energía térmica al vapor, lo que, a su vez, da como resultado un vapor de inferior calidad. La carga de la caldera se puede controlar ajustando la cantidad de combustible que se introduce en la caldera para ser quemado. Como es bien conocido en la industria, la cantidad de energía térmica generada en la caldera y/o transferida al vapor se puede deducir, por ejemplo, calculada, a partir del volumen de combustible por unidad de tiempo que se introduce en la caldera y el tipo de combustible que se alimenta. Normalmente, la caldera comprende una disposición para ajustar automáticamente la cantidad de aire y/u otros gases necesarios en el proceso de combustión del combustible en función de la cantidad de combustible que se alimenta. Este ajuste automático del aire y/u otros gases se puede efectuar, por ejemplo, midiendo el nivel de oxígeno presente en los gases de combustión y ajustando la alimentación del combustible y/o el aire y/u otros gases de tal manera que se obtenga un nivel óptimo de oxígeno en los gases de combustión, conocido como valor lambda.

Cuando se reduce la carga de una caldera, el volumen de vapor producido en términos de caudal másico suele disminuir de forma relativamente lineal en función de la carga. Cuando se reduce el flujo másico de vapor, la producción de electricidad de la planta, es decir, la carga de la central eléctrica, se reduce en consecuencia.

A su carga nominal mínima, o por encima de ella, una caldera es capaz de transferir suficiente cantidad de energía térmica al flujo másico de vapor producido para que el vapor sea de calidad suficiente para la turbina de vapor. Por debajo de la carga nominal mínima de la caldera, la cantidad de energía térmica transferida al flujo másico de vapor producido ya no es suficiente para que el vapor sea de calidad suficiente para la turbina de vapor, incluso aunque el caudal másico reducido del vapor podría seguir siendo apropiado para fines de generación de electricidad en ese momento.

Por lo tanto, la carga nominal mínima de una caldera es la carga mínima con la que la caldera es capaz de producir vapor de calidad suficiente para la turbina de vapor. Por debajo de esta carga nominal mínima, el vapor no es de calidad aceptable para la turbina de vapor. En la práctica, esto suele hacer referencia a que el vapor no está suficientemente caliente, ya que la presión del vapor que entra en la turbina se suele mantener constante cuando se produce electricidad.

En lo que respecta a una red eléctrica a gran escala, la creciente generación de electricidad a partir de fuentes renovables tales como la energía solar y eólica plantea problemas. Esto se debe a que dichas fuentes de energía renovable son inherentemente variables en lo que respecta a su producción de energía debido, por ejemplo, a las condiciones meteorológicas y al ciclo de la luz solar noche-día. Por consiguiente, en una red eléctrica que comprenda dicha producción de energía renovable o variable de otro modo, los otros modos de producción de energía en la red, tales como la generación de electricidad basada en turbinas de vapor, deberían ser preferiblemente capaces de ajustar con flexibilidad su producción de energía a fin de complementar de forma adecuada a las fuentes de energía variables de modo que se satisfaga en todo momento la demanda de electricidad en la red. Como es bien conocido, la demanda de electricidad también es variable.

Una ventaja de la solución descrita es que la generación de energía basada en turbina de vapor se puede fabricar con mayor capacidad de dicho ajuste flexible de la producción de energía. Esto se debe a que por debajo de la carga nominal mínima viable de la caldera, la cámara de supercalentamiento auxiliar que comprende un supercalentador auxiliar se puede emplear para supercalentar adicionalmente el vapor, asegurando de este modo el suministro de vapor de calidad suficiente a la turbina de vapor.

Sin dicho supercalentamiento adicional, la carga nominal mínima viable de una caldera define la carga mínima viable nominal de una central eléctrica que comprende una caldera para la producción de vapor. Por debajo de esta carga nominal mínima viable de una central eléctrica, la central eléctrica normalmente se debe detener para evitar el riesgo de daños en la turbina de vapor. Por lo tanto, la carga nominal mínima viable de una caldera actualmente en la práctica define el rango de flexibilidad de carga descendente de una central eléctrica, desde la carga nominal máxima de una central eléctrica hasta su carga nominal mínima viable. La solución descrita permite ampliar el rango de carga viable de una central eléctrica con turbina de vapor hacia abajo por debajo de la carga nominal mínima viable de la caldera.

Tradicionalmente, la carga nominal mínima viable de una central eléctrica está aproximadamente un 30-40 % por debajo de su carga nominal máxima. Algunas centrales eléctricas que comprenden calderas de lecho fluidizado tienen una carga nominal mínima viable de aproximadamente el 60% por debajo de la carga nominal máxima.

Tradicionalmente, otro obstáculo para la flexibilidad del rango de carga de las centrales eléctricas con turbina de vapor es que sus tiempos de parada y puesta en marcha pueden ser considerablemente largos, tales como hasta 12 horas. Por consiguiente, dichas centrales eléctricas no son capaces de ajustarse con flexibilidad a las condiciones cambiantes de la demanda de electricidad por medio de ciclos de parada-puesta en marcha. Dichos períodos de parada y puesta en marcha no productivos también son costosos. La solución descrita permite reducir la necesidad de dichos ciclos de parada y puesta en marcha por medio de permitir que una central eléctrica con turbina de vapor funcione con un rango de carga ampliada utilizando de forma controlada una cámara de supercalentamiento auxiliar que comprende un supercalentador auxiliar para supercalentar adicionalmente el vapor suministrado a la turbina de vapor. Por lo tanto, la solución descrita permite hacer funcionar una central de generación eléctrica con turbina de vapor con un amplio rango de cargas para un funcionamiento viable, en particular de tal manera que el rango de cargas para un funcionamiento viable de la central eléctrica se extienda por debajo de la carga nominal mínima viable de la central eléctrica, determinada normalmente por la carga nominal mínima viable de la caldera. Dicho rango de carga extendido para el funcionamiento viable de la central eléctrica por debajo de su carga nominal mínima viable, tal como lo permite la solución descrita, tiene la ventaja de permitir que la central eléctrica responda mejor a las condiciones cambiantes de la demanda de energía.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1 ilustra esquemáticamente el sistema de producción de vapor de una central eléctrica con turbina de vapor de acuerdo con una forma de realización de la invención, comprendiendo el sistema una cámara auxiliar de supercalentamiento para supercalentar adicionalmente el vapor según sea necesario.

La Figura 2 ilustra esquemáticamente el sistema de producción de vapor de la Figura 1, en donde el combustible suministrado a la cámara de supercalentamiento auxiliar y suministrado opcionalmente a la caldera es gaseoso y se produce en un gasificador.

5 La Figura 3 ilustra esquemáticamente el sistema de producción de vapor de la Figura 1, en donde el vapor se puede transportar o no de forma selectiva a través de la cámara de supercalentamiento auxiliar.

La Figura 4a ilustra esquemáticamente las relaciones idealizadas entre el flujo másico ($\dot{m}$) del vapor y la temperatura (T) del vapor que entra en una turbina de vapor con la carga (W) de una central eléctrica con turbina de vapor en un sistema de producción de vapor convencional.

10 Las Figuras 4b-c ilustran esquemáticamente las relaciones idealizadas entre el flujo másico ($\dot{m}$) del vapor y la temperatura (T) del vapor que entra en una turbina de vapor con la carga (W) de una central eléctrica con turbina de vapor en un sistema de producción de vapor de acuerdo con la solución descrita.

La Figura 5 ilustra esquemáticamente el sistema de producción de vapor de una central eléctrica con turbina de vapor de acuerdo con otra forma de realización de la invención, comprendiendo el sistema una cámara auxiliar de supercalentamiento para supercalentar adicionalmente el vapor según sea necesario.

15 La Figura 6a ilustra esquemáticamente la relación idealizada entre la carga (W) y el consumo de calor de una central eléctrica.

La Figura 6b ilustra esquemáticamente la relación idealizada entre el consumo de combustible y el consumo de calor de una central eléctrica.

Las figuras ni están a escala ni sugieren la disposición física o las dimensiones de los componentes del sistema.

Descripción detallada de la invención

20 En el texto se hace referencia a las figuras con los siguientes números de referencia y denotaciones:

W Carga de una central eléctrica en un momento dado

W_F Carga nominal máxima de una central eléctrica

W_{MV} Carga nominal mínima viable de una central eléctrica

W_{MVA} Carga mínima viable de una central eléctrica

25 W_N Rango de carga para el funcionamiento normal de una central eléctrica

W_L Rango de carga para el funcionamiento a baja carga de una central eléctrica

W_U Rango de carga para el funcionamiento inviable de una central eléctrica

W_V Rango de carga para el funcionamiento viable de una central eléctrica

T Temperatura del vapor que entra en una turbina

30 T_F Temperatura del vapor que entra en una turbina con la carga máxima de la central eléctrica

T_V Temperatura mínima viable del vapor que entra en una turbina de vapor

$\dot{m}$ Caudal másico de vapor

$\dot{m}_F$ Caudal másico de vapor con la carga máxima de la caldera

1 Cámara de supercalentamiento auxiliar

35 2 Supercalentador auxiliar

3 Turbina de vapor

4 Gasificador

5 Refrigerador

6 Fuente de combustible

7	Filtro
8	Intercambiador de calor
9	Generador
10	Caldera
5	11 Supercalentador
	13 Proceso consumidor de electricidad
	14 Condensador
	15 Intercambiador de calor
	20 Bomba
10	21 Fuente de combustible
	22 Proceso consumidor de calor
	23 Unidad de control
	24 Quemador
	25 Intercambiador de calor
15	26 Disposición de las válvulas
	30 a 58 Línea
	70 Línea de transmisión
	71 Conducto
	72 Quemador
20	En el texto y en las figuras se utiliza la noción de una "línea" para referirse a cualquier vía de transporte adecuada sin una caracterización definida de las propiedades físicas de la vía. Se debe apreciar que un experto en la técnica es capaz de determinar las propiedades físicas de una vía de acuerdo con las propiedades y el volumen del material que se ha de transportar, así como otros parámetros y requisitos de transporte pertinentes.
25	En el texto, a menos que se especifique lo contrario, la noción de "central eléctrica" se utiliza para referirse a una central eléctrica con turbina de vapor en donde se puede utilizar una turbina de vapor 3 para convertir la energía térmica del vapor en un trabajo mecánico, el cual trabajo mecánico se puede convertir en electricidad mediante un generador 9.
30	La Figura 1 ilustra esquemáticamente, de acuerdo con una forma de realización de la invención, un sistema de producción de vapor para ser utilizado en una turbina de vapor 3 de acuerdo con la solución. El vapor entra en la turbina de vapor 3 con un caudal másico $\dot{m}$, definido como la masa de vapor que entra en la turbina de vapor 3 por unidad de tiempo. La turbina de vapor puede tener requisitos mínimos para las propiedades del vapor que entra en la turbina de vapor para el funcionamiento viable de la turbina de vapor 3. Dichos requisitos mínimos pueden comprender, por ejemplo, una temperatura mínima viable T_v para el vapor que entra en la turbina de vapor 3, de tal manera que si la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor es inferior a la temperatura mínima viable T_v , la turbina de vapor no podrá funcionar de manera viable. También puede haber otros de dichos requisitos mínimos adicionales, tales como una presión mínima viable para el vapor que entra en la turbina de vapor 3, de tal manera que si la presión del vapor que entra en la turbina de vapor 3 es inferior a la presión mínima viable, la turbina de vapor 3 no pueda funcionar de manera viable.
35	
40	La determinación de las propiedades del vapor se puede realizar mediante la instalación de un caudalímetro y/o un detector de presión y/o un detector de temperatura en una línea de transporte de vapor, y la retransmisión de la(s) señal(es) de este(os) instrumento(s) a un aparato tal como un ordenador especializado en el flujo de vapor y/o una unidad de control 23 para su procesamiento y/o almacenamiento. Se debe apreciar que la determinación de las propiedades del vapor es bien conocida en la industria y que el equipo apropiado para este propósito está disponible comercialmente. Las propiedades del vapor, una vez determinadas, por ejemplo, mediante medición, se pueden utilizar como datos de entrada de control por la unidad de control 23.
45	

Con referencia a la Figura 1, las propiedades del vapor se pueden determinar por medio de la medición al menos en una línea 31 en su extremo de la turbina de vapor 3. Además, como se explicará más adelante, las propiedades del vapor también se pueden determinar de otra manera, por ejemplo, en función de mediciones en otros lugares en el sistema.

5 La determinación de las propiedades del vapor, incluida su temperatura, a medida que entra en la turbina de vapor 3 puede ser indirecta. Esto significa que las propiedades del vapor se miden más arriba o más abajo, por ejemplo, en la vía de transporte del vapor que termina en la turbina de vapor 3, y que los resultados de la medición se convierten en valores para las propiedades del vapor que se han de determinar, por ejemplo, a medida que entra en la turbina de vapor 3, utilizando factores de conversión conocidos. Dichos factores de conversión conocidos se pueden obtener, por ejemplo, mediante mediciones comparativas en los lugares de interés, o se pueden deducir de cálculos en función de las propiedades físicas del sistema. La noción de determinación de las propiedades del vapor, tal como se utiliza en este texto, incluye también la determinación indirecta tal como se acaba de describir.

10 En una central eléctrica, la presión del vapor se puede mantener constante, al menos cuando la central produce electricidad, en cuyo caso los requisitos mínimos de las propiedades del vapor que entra en la turbina de vapor 3 se pueden captar, en términos prácticos, mediante la temperatura mínima viable T_v para el vapor que entra en la turbina de vapor 3.

15 La turbina de vapor 3 se puede adaptar para accionar, por medio de una línea de transmisión 70, un generador eléctrico 9 que puede suministrar electricidad a un proceso consumidor de electricidad por medio de una línea 44. El proceso consumidor de electricidad puede ser un proceso específico y/o localizado, tal como en una instalación de fabricación, o el proceso consumidor de electricidad puede ser el consumo conjunto de electricidad en una red eléctrica tal como un distrito, una red eléctrica nacional o una red eléctrica regional.

20 En el sistema, el vapor supercalentado se produce supercalentando el vapor en un supercalentador 11 instalado en una caldera 10. Como es bien conocido, los aparatos aguas arriba del supercalentador 11, tales como un intercambiador de calor 25 o varios de dichos intercambiadores de calor se pueden emplear para vaporizar el agua que circula en el sistema de tal manera que el agua sea ya vapor cuando entra en el supercalentador 11. Además, aguas arriba del supercalentador 11 puede haber aparatos adicionales tales como un intercambiador de calor o intercambiadores de calor 15 para precalentar el agua que circula antes de la vaporización.

25 El supercalentador 11 puede ser un único dispositivo supercalentador. Como alternativa, el supercalentador 11 puede ser un conjunto de varios dispositivos de supercalentamiento distintos. El supercalentamiento del vapor se produce mediante la transferencia al vapor de la energía térmica resultante de la combustión del combustible en la caldera 10 con un quemador (no representado). Lo mismo se aplica al intercambiador o intercambiadores de calor 25.

30 La caldera 10 puede ser de un tipo conocido, tal como del tipo de lecho fluidizado o del tipo de carbón pulverizado. El combustible se puede suministrar desde una fuente de combustible 21 por medio de una línea 49 a la caldera para quemarse. El aire u otro gas o mezcla de gases adecuados necesarios para la combustión del combustible se puede transportar a la caldera 10 por medio de una línea 50 o múltiples de dichas líneas. Los residuos de combustión no gaseosos, tales como las cenizas resultantes de la combustión del combustible, se pueden expulsar de la caldera 10 por medio de una línea 51. Los gases de combustión resultantes de la combustión del combustible se pueden expulsar de la caldera 10 por medio de un conducto 71.

35 Antes de expulsar los gases de combustión de la caldera, se puede captar energía térmica de los gases de combustión con medios adicionales al supercalentador 11. De acuerdo con la forma de realización representada en la Figura 1, dichos medios adicionales de recuperación térmica pueden consistir en un intercambiador de calor o en intercambiadores de calor 15. Las variedades y la utilización de intercambiadores de calor son bien conocidas en la industria, y dicho conocimiento se aplica fácilmente al intercambiador o los intercambiadores de calor 15.

40 La central eléctrica puede funcionar con una carga W , que se refiere a la cantidad de electricidad generada por el generador 9 por unidad de tiempo, a medida que es impulsado por la turbina de vapor 3. Como es bien conocido en la industria, la cantidad de electricidad generada por el generador 9 por unidad de tiempo, es decir, la producción de energía del generador 9, se puede medir en función del voltaje y la corriente de la producción de electricidad. Como alternativa o adicionalmente, la carga W de la central eléctrica se puede deducir del consumo de calor de la central eléctrica, ya que es bien conocido que la carga W de una central eléctrica está altamente correlacionada con su consumo de calor. El consumo de calor, a su vez, se puede deducir de la cantidad de combustible quemado en una unidad de tiempo a los efectos de la generación de calor en la central eléctrica. Las relaciones precisas entre la cantidad de combustible quemado en una unidad de tiempo y el consumo de calor, y entre el consumo de calor y la carga W suelen ser específicas de la central debido, por ejemplo, a las pérdidas de energía específicas de la central. Las Figuras 6a y 6b ilustran las relaciones idealizadas entre estas medidas. Dichas mediciones forman parte de la instrumentación normal de las centrales eléctricas.

El volumen de combustible para la combustión en una central eléctrica a los efectos de producir y calentar vapor y la carga W de la central eléctrica tienen una correlación que es característica de cada central eléctrica y que es conocida por los operadores y/o programada en los aparatos de control de la central eléctrica. Por lo tanto, la carga W de la central eléctrica se puede controlar ajustando el combustible para la combustión a los efectos de producir y calentar vapor.

La central eléctrica puede funcionar con diferentes cargas W , según se ilustra en las Figuras 4a a 4d.

La Figura 4a representa el funcionamiento de un sistema convencional para producir vapor para ser utilizado en una turbina de vapor 3. Las Figuras 4b a 4d representan el funcionamiento de un sistema para producir vapor para ser utilizado en una turbina de vapor 3 de acuerdo con la solución descrita que comprende una cámara de supercalentamiento auxiliar que se puede utilizar de forma controlada que comprende un supercalentador auxiliar.

Según se ilustra en la Figura 4a, una central eléctrica puede tener una carga nominal máxima W_F . Esto se refiere a la carga W de la central eléctrica que se puede obtener con una carga nominal máxima de la caldera 10, es decir, cuando en la caldera 10 se transfiere una cantidad máxima de energía térmica al vapor introducido en la turbina de vapor 3. Con esta carga nominal máxima W_F de la central eléctrica, la temperatura T del vapor supercalentado que entra en la turbina de vapor 3 está en su máximo, es decir, con la temperatura T_F del vapor con la carga máxima de la central eléctrica.

Disminuir la carga W de la central eléctrica desde la carga nominal máxima W_F hace referencia a que en la caldera 10 se está transfiriendo menos energía térmica al vapor que alimenta la turbina de vapor 3. Por consiguiente, la temperatura T del vapor supercalentado que entra en la turbina de vapor 3 disminuye desde la temperatura T_F que se puede obtener con la carga nominal máxima de la central eléctrica W_F . Normalmente, la presión del vapor supercalentado se mantiene constante, pero el caudal másico $\dot{m}$ del vapor supercalentado que entra en la turbina de vapor 3 suele disminuir en función de la energía que en la caldera 10 se transfiere al vapor, según se ilustra en la Figura 4a.

Con referencia todavía a la Figura 4a, al disminuir adicionalmente la carga W de la central eléctrica, como se acaba de describir, la temperatura T del vapor supercalentado que entra en la turbina de vapor 3 disminuye adicionalmente y alcanza finalmente una temperatura mínima viable T_v , que se refiere a la temperatura mínima aceptable para el vapor supercalentado que entra en la turbina de vapor 3. Esta carga W de la central eléctrica, a la que la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3 está a la temperatura mínima viable T_v se denomina carga nominal mínima viable W_{MV} de la central eléctrica. Tradicionalmente, el rango de carga para el funcionamiento viable W_v de la central eléctrica está, inclusive, entre el rango de carga entre la carga nominal mínima viable W_{MV} y la carga nominal máxima W_F .

El rango de carga para el funcionamiento inviable W_u de la central eléctrica es el rango de carga con cargas por debajo del rango para el funcionamiento viable W_v .

Por lo tanto, en el rango para el funcionamiento viable W_v de una central eléctrica, la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3 es igual o superior a la temperatura mínima viable T_v . En el rango para el funcionamiento inviable W_u de una central eléctrica, la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3 es inferior a la temperatura mínima viable T_v .

De acuerdo con la solución, según se ilustra en la Figura 1, el sistema comprende una cámara de supercalentamiento auxiliar 1 que comprende un supercalentador auxiliar 2. El supercalentador auxiliar 2 se puede utilizar para supercalentar adicionalmente el vapor procedente del supercalentador 11 de la caldera 10. El supercalentador auxiliar 2 puede ser un único dispositivo de supercalentamiento. Como alternativa, el supercalentador auxiliar 2 puede ser un conjunto de varios dispositivos de supercalentamiento distintos.

La cámara de supercalentamiento auxiliar 1 puede incluir un quemador 24 que quema combustible liberando de este modo energía térmica. El combustible se puede quemar en el quemador 24 en una cantidad tal que la energía térmica liberada se transfiera al vapor que atraviesa del supercalentador auxiliar 2 de la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 en la medida en que el vapor se recalienta adicionalmente en el supercalentador auxiliar 2.

La cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se puede conectar adicionalmente a una línea 54 que constituye una entrada que suministra aire entrante u otro gas o mezcla de gases adecuados para el proceso de combustión del combustible.

De acuerdo con la solución y la Figura 1, la cámara de supercalentamiento auxiliar 1, que comprende el supercalentador auxiliar 2, se instala en una vía de transporte de avance del vapor que comprende las líneas 30, 31. Por lo tanto, la vía de transporte de avance del vapor discurre desde el supercalentador 11 a la turbina de vapor 3.

Una vía de transporte de retorno comienza con una línea 34 en la turbina de vapor 3 y termina con una línea 55 en el supercalentador 11. En la vía de transporte de retorno, el agua que circula en el sistema puede estar en un punto

determinado en un estado gaseoso, es decir, en vapor, y/o en un estado líquido, en función de su temperatura y/o su presión en ese punto determinado.

De acuerdo con la forma de realización representada en la Figura 1, el vapor se puede transportar de forma continua a través del supercalentador auxiliar 2 en la ruta desde el supercalentador 11 a la turbina de vapor 3.

5 De acuerdo con otra forma de realización representada en la Figura 3, el vapor se puede transportar de forma selectiva ya sea a través del supercalentador auxiliar 2 en la ruta desde el supercalentador 11 a la turbina de vapor 3 o ya sea baipaseando el supercalentador auxiliar 2 por medio de una línea 58 que constituye una vía de desviación del vapor. Dicho transporte seleccionable se puede efectuar mediante una disposición de válvulas 26. La disposición de válvulas 26 se puede controlar mediante la unidad de control 23. La unidad de control 23 puede efectuar el transporte
10 seleccionado, es decir, controlar la disposición de válvulas 26, utilizando las mediciones de la calidad del vapor como datos de entrada. Dichos datos de entrada pueden comprender, por ejemplo, al menos la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3, por ejemplo, según se mide en el extremo de la línea 31 en la turbina de vapor 3, con lo que el vapor se puede transportar de forma selectiva por medio del supercalentador auxiliar 2 cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está cerca, en o por debajo de la temperatura mínima viable T_v .

15 De acuerdo con la forma de realización representada en la Figura 1, el combustible se puede quemar de forma continua en la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 cuando la central eléctrica está produciendo electricidad o se encuentra en un modo de espera en caliente. El estado de espera en caliente hace referencia a que mientras no se produce electricidad en la central eléctrica, la caldera 10 y la cámara de supercalentamiento 1 y la turbina de vapor 3 se mantienen a una temperatura elevada, es decir, por encima de la temperatura ambiente, para reducir el tiempo
20 necesario para calentar dichos componentes del sistema a una temperatura de producción.

El volumen de combustible para la combustión en la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 puede variar. Una cantidad baja de combustible para la combustión en la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 puede ser de tal manera que la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se mantenga a una temperatura del estado de espera en caliente. Esta temperatura del estado de espera en caliente de la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se puede
25 definir de tal manera que a una temperatura de este tipo el vapor supercalentado que viaja a través del supercalentador auxiliar 2 no se sobrecaliente adicionalmente en el supercalentador auxiliar 2. Por ejemplo, una temperatura de estado de espera en caliente de este tipo puede ser igual o inferior a la temperatura T del vapor supercalentado que entra en el supercalentador auxiliar 2. La temperatura del estado de espera en caliente es superior a la temperatura ambiente.

Se debe apreciar que la noción de temperatura y su medición con respecto tanto a la caldera 10 como en consecuencia
30 a la cámara auxiliar de supercalentamiento 1 son bien conocidas en la industria, incluyendo la metodología y el equipamiento establecidos para este propósito.

De acuerdo con la forma de realización representada en la Figura 1, la caldera 10 produce vapor con un flujo másico $\dot{m}$ y una temperatura T . El supercalentador auxiliar 2 se puede utilizar para supercalentar adicionalmente este vapor según sea necesario. En otras palabras, el supercalentador auxiliar 2 se puede utilizar, según sea necesario, para
35 aumentar la temperatura T del vapor procedente de la caldera 10 antes de que el vapor entre en la turbina de vapor 3. Por lo tanto, el supercalentador auxiliar se puede utilizar de forma controlada para supercalentar el vapor.

Una utilización de forma controlada de este tipo hace referencia al control de la cantidad de combustible para la combustión en el quemador 24 en la cámara de supercalentamiento 1, controlando de este modo la cantidad de energía térmica liberada y transferida al vapor que atraviesa el supercalentador auxiliar 2. Además, en las formas de
40 realización que comprenden una vía de desviación del vapor 58, según se representa en la Figura 3, dicha utilización de forma controlada hace referencia además al transporte o no transporte selectivo del vapor a través del supercalentador auxiliar 2, por ejemplo, según se efectúa mediante una disposición de válvulas 26.

Con referencia a la Figura 4b, cuando la central eléctrica funciona en el rango de carga W_N para un funcionamiento normal, es decir, entre su carga nominal máxima W_F y la carga nominal mínima viable W_{MV} , inclusive, la energía
45 térmica transferida al vapor en la caldera 10 es suficiente para mantener la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3 en o por encima de la temperatura mínima viable T_v . En un caso de este tipo, la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se puede mantener a una temperatura de espera, según se explicó anteriormente.

Con referencia todavía a la Figura 4b, cuando la central eléctrica funciona en el rango de carga bajo por debajo de su carga mínima viable W_{MV} , la energía térmica transferida al vapor en la caldera 10 puede no ser suficiente por sí sola
50 para mantener la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3 en o por encima de la temperatura mínima viable T_v . En un caso de este tipo, la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se puede emplear para supercalentar adicionalmente el vapor transportado a través del supercalentador auxiliar 2. Dicho supercalentamiento adicional se puede producir aumentando el volumen de combustible que se alimenta al quemador 24. Por lo tanto, cuanto más por debajo esté la carga W de la central eléctrica de su carga nominal mínima viable W_{MV} , es decir, de la carga mínima
55 viable sin supercalentamiento adicional del vapor entre la caldera 10 y la turbina de vapor 3, de forma más ventajosa se podrá fijar la carga de la cámara de supercalentamiento auxiliar 1.

La carga de la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 y/o de la caldera 10 se puede controlar mediante la unidad de control 23. La unidad de control 23 puede efectuar dicho control de la carga utilizando mediciones de la calidad del vapor como datos de entrada y/o controlando el volumen de combustible alimentado al quemador 24 y/o la caldera 10. Dichos datos de entrada pueden comprender, por ejemplo, al menos la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3, por ejemplo, según se mide en el extremo de la línea 31 de la turbina de vapor 3.

Con referencia todavía a la Figura 4b, puede haber una temperatura de alerta T_A para la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3. De forma ventajosa, la temperatura de alerta T_A es mayor que la temperatura mínima viable T_V y menor que la temperatura del vapor que entra en la turbina de vapor 3 con la carga máxima T_F de la central eléctrica. El propósito principal de la temperatura de alerta T_A es servir como señal de control para la utilización de forma controlada de la cámara de supercalentamiento auxiliar 1, de tal manera que al bajar la carga de la caldera 10, la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3 no caiga por debajo de la temperatura mínima viable T_V hasta que la carga W de la central eléctrica alcance la carga mínima viable W_{MVA} con la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 en uso.

Que la temperatura de alerta T_A sirva como señal de control hace referencia a que cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3 alcanza la temperatura de alerta T_A , esto se puede utilizar como un disparador para acciones de control. Dichas acciones de control se pueden efectuar, por ejemplo, mediante la unidad de control 23.

De acuerdo con lo que se representa en la Figura 4b, la temperatura de alerta T_A se puede fijar a una determinada temperatura, por ejemplo, tal como para que sea un determinado número de grados de temperatura por encima de la temperatura mínima viable T_V .

Como alternativa, de acuerdo con lo que se representa en la Figura 4d, la temperatura de alerta T_A se puede variar, por ejemplo, en función de la carga W de la central eléctrica, o en función de la velocidad con la que cambia la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3. Por lo tanto, el valor o la función del valor de la temperatura de alerta T_A se puede determinar de acuerdo con las propiedades del sistema de la central eléctrica y su comportamiento en diferentes situaciones, de tal manera que la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se pueda emplear de forma apropiada para supercalentar adicionalmente el vapor, de modo que al bajar la carga de la caldera 10 no de como resultado un descenso de la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3 cayendo por debajo de la temperatura mínima viable T_V hasta que la carga W de la central eléctrica alcance la carga mínima viable W_{MVA} con la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 en uso.

Incluso si se determina que la temperatura de alerta T_A sea una temperatura fija, la utilización de forma controlada de la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 no tiene que ser necesariamente de tal manera que mantenga estrictamente el vapor a una temperatura fija en o cerca de la temperatura de alerta T_A . En otras palabras, el empleo de la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 puede ser de tal manera que la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3 pueda fluctuar por encima de la temperatura mínima viable T_V , según se ilustra en la Figura 4c.

Utilizando la temperatura de alerta T_A como una señal de control, según se describió anteriormente, y de acuerdo con las Figuras 4b a 4d, el rango de carga W de la central eléctrica en el que se utiliza la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 para supercalentar el vapor adicionalmente se denomina como rango de carga para la baja carga W_L de la central eléctrica. Por lo tanto, con la cámara de supercalentamiento auxiliar 1, el rango de carga para el funcionamiento viable W_V de la central eléctrica se puede ampliar por debajo de la carga nominal mínima viable W_{MV} (siendo W_{MV} inviable sin la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 utilizada para supercalentar adicionalmente el vapor procedente del supercalentador 11), de tal manera que el rango de carga para el funcionamiento viable W_V comprende tanto el rango de carga para el funcionamiento normal W_N como el rango de carga para el funcionamiento con baja carga W_L , según se ilustra en las Figuras 4b a 4d.

Por lo tanto, la disminución de la carga de la caldera 1, según se efectúa mediante la reducción de la alimentación de combustible para la combustión en la caldera 10, puede dar como resultado una disminución del flujo másico $\dot{m}$ y de la temperatura T del vapor procedente de la caldera 10. Como resultado de la disminución del flujo másico $\dot{m}$ del vapor, la carga W de la central eléctrica disminuye. Y, cuando la disminución de la carga de la caldera 1 ya no es suficiente para producir vapor con o por encima de la temperatura de alerta T_A cuando el vapor entra en la turbina de vapor 3, la carga de la cámara de supercalentamiento 1 se puede aumentar, aumentando la alimentación de combustible al quemador 24, para compensar la reducción de la carga de la caldera 1, y así mantener el caudal másico $\dot{m}$ reducido del vapor en o por encima de la temperatura mínima viable T_V cuando el vapor entra en la turbina de vapor 3.

De acuerdo con las Figuras 4b a 4d, a medida que la carga W de la central eléctrica sigue disminuyendo, con el tiempo la capacidad de la cámara de supercalentamiento 1 ya no es suficiente para transferir una cantidad suficiente de energía al vapor de modo que se pueda satisfacer la temperatura mínima viable T_V del vapor que entra en la turbina de vapor. Esta baja carga W se denomina como carga mínima viable W_{MVA} de la central eléctrica (con la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 en funcionamiento). El rango de carga W de la central eléctrica por debajo de esta carga mínima viable W_{MVA} se denomina como rango de carga para el funcionamiento inviable W_U de una central eléctrica que comprende una cámara de supercalentamiento auxiliar 1.

Con referencia a las Figuras 4b a 4d, el rango de carga para el funcionamiento viable W_v de la central eléctrica se puede extender hacia abajo por debajo de la carga nominal mínima viable W_{mv} (sin el supercalentador auxiliar 2, según se ilustra en la Figura 4a) mediante la instalación y la utilización de forma controlada del supercalentador auxiliar 2 entre la caldera 10 y la turbina de vapor 3.

- 5 De acuerdo con la forma de realización representada en la Figura 3, dicha utilización de forma controlada del supercalentador auxiliar puede hacer referencia además a que se puede seleccionar el transporte o no del vapor a través del supercalentador auxiliar 2 con la disposición de válvulas 26 según se explicó anteriormente.

- 10 Por lo tanto, con referencia a las Figuras 4b a 4d, de acuerdo con la solución, la temperatura mínima viable T_v del vapor que entra en la turbina de vapor 3 se puede satisfacer de acuerdo con la solución tanto dentro del rango de carga W_N para el funcionamiento normal de una central eléctrica como dentro del rango de carga W_L para el funcionamiento con baja carga de una central eléctrica.

- 15 De acuerdo con la forma de realización ilustrada en la Figura 1, el combustible se puede suministrar a la cámara de supercalentamiento auxiliar 2 desde una fuente de combustible 6 por medio de una línea 42. Dicho combustible puede ser el mismo que el suministrado a la caldera 10. Como alternativa, el combustible puede ser diferente del combustible que se suministra a la caldera 10. En el caso de que la caldera 10 y la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 consuman el mismo combustible, las fuentes de combustible 6, 21 se pueden combinar, pero no es necesario que lo hagan, en una fuente de combustible común.

- 20 De acuerdo con la forma de realización ilustrada en la Figura 2, el combustible suministrado y quemado en la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 puede ser gas producto generado mediante gasificación con un gasificador 4. En tal caso, el suministro de combustible 6 puede contener el combustible inicial a gasificar en el combustible final quemado en la cámara de supercalentamiento auxiliar 1. Dichos combustibles iniciales a gasificar pueden comprender, por ejemplo, biomasa y/o desechos. Según se ilustra en la Figura 2, el combustible inicial se puede transportar desde la fuente de combustible 6 por medio de una línea 39 hasta el gasificador 4. El combustible final se puede transportar desde el gasificador 4 a la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 por medio de una línea o líneas 40, 41, 42.

- 25 El gasificador 4 puede ser de un tipo conocido, tal como del tipo de lecho fluidizante. Para la gasificación, el aire u otro gas o mezcla de gases adecuada se puede suministrar al gasificador 4 por medio de una línea 38 o múltiples de dichas líneas. Los residuos de la gasificación se pueden expulsar del gasificador por medio de una línea 36.

- 30 En la forma de realización en la que la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 utiliza como combustible el gas producto generado con el gasificador 4, la vía de transporte del gas producto que comprende las líneas 40, 41, 42 puede comprender además un refrigerador 5 para enfriar el gas producto y/o un filtro 7 para filtrar las sustancias indeseables del gas producto antes de que el gas producto se suministre a la cámara de supercalentamiento auxiliar 1. Las variedades y la utilización de refrigeradores y filtros son bien conocidos en la industria, y dicho conocimiento se aplica fácilmente al refrigerador 5 y al filtro 7.

- 35 Si el refrigerador 5 se utiliza, por tanto, según se ilustra en la Figura 2, la energía térmica se puede transportar desde el enfriador 5 a un intercambiador de calor 8 instalado en la vía de transporte de retorno entre las líneas 32 y 48, en donde la energía térmica se puede liberar en el agua en la vía de transporte de retorno en la ruta para ser vaporizada. Dicho transporte de calor desde el refrigerador 5 al intercambiador de calor 8 se puede producir mediante la circulación de un medio de transferencia de calor apropiado en las líneas 52 y 53 entre el enfriador 5 y el intercambiador de calor 8. Por lo tanto, el intercambiador de calor 8 se puede utilizar para precalentar el agua que se va a vaporizar.

- 40 En la forma de realización en la que la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 utiliza como combustible el gas producto generado con el gasificador 4, el gas producto se puede transportar adicionalmente por medio de la línea 47 a la caldera 10 para ser utilizado como combustible. Dicha utilización del combustible puede ser ventajosa, por ejemplo, como combustible para la combustión durante el estado de espera en caliente, y/o como combustible suplementario, y/o como combustible principal y/o como único combustible para la caldera 10. Durante el estado de espera en caliente, el combustible transportado por medio de la línea 47 a la caldera se puede quemar con un quemador 72 instalado en la caldera 10. Este quemador 72 se puede dedicar a quemar combustible para mantener la caldera 10 en el estado de espera en caliente. Como alternativa, el quemador 72 puede tener múltiples funcionalidades, tales como quemar el combustible transportado por medio de las líneas 49 y/o 47 durante las operaciones normales cuando se produce electricidad en la central eléctrica y/o quemar el combustible transportado por las líneas 49 y/o 47 durante el estado de espera en caliente.

- 50 De forma ventajosa, el combustible se consume de forma continua en el quemador 24 de la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 y/o de la caldera 10 de modo que el gasificador 4 se pueda mantener en funcionamiento continuo. Esto tiene la ventaja de evitar los períodos de puesta en marcha (es decir, de calentamiento) y de parada para el gasificador 4. Dichos períodos de puesta en marcha y parada pueden ser de varias horas de duración, lo que impone restricciones desventajosas a la flexibilidad en términos de la variabilidad de la carga de la central eléctrica.

Los gases de combustión resultantes de la combustión del combustible en la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se pueden transportar por medio de un paso de transporte de gases a la caldera 10 en la que se puede recuperar energía térmica de los gases de combustión. Los gases de combustión se pueden transportar desde la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 a la caldera 10 por medio de una línea 43 como el paso de transporte de gases, según se ilustra en la Figura 1. Si la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se instala en la pared exterior de la caldera 10, los gases de combustión se pueden transportar desde la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 a la caldera 10 por medio de una abertura entre la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 y la caldera 10. La recuperación térmica de dichos gases de combustión en la caldera 10 se puede efectuar, por ejemplo, mediante el supercalentador 11 y/o el intercambiador de calor 15 y/o cualquier otro medio de recuperación de la energía térmica que comprenda la caldera 1.

De acuerdo con otra forma de realización, según se ilustra en la Figura 5, los gases de combustión resultantes de la combustión del combustible en la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se pueden expulsar de la cámara de supercalentamiento auxiliar por medio de una línea 37, de tal manera que dichos gases de combustión no se transporten a la caldera 10. En un caso de este tipo, los mencionados gases de combustión se pueden transportar por medio de una línea 37 a otra parte del sistema (no mostrada), o de forma alternativa a otro sistema o proceso (no mostrado), o de forma alternativa a la atmósfera (no mostrada). En el caso de que dichos gases de combustión no se transporten a la caldera 10, la energía térmica se puede captar de estos gases con una disposición adecuada de intercambiador de calor, por ejemplo, de una manera similar a como se puede utilizar el intercambiador de calor 15 para captar la energía térmica de los gases de combustión expulsados de la caldera 10.

Con referencia de nuevo a la Figura 1, después de que el vapor transportado a la turbina de vapor 3 se haya utilizado en la turbina de vapor 3, éste (es decir, el agua bien en estado gaseoso o bien en estado líquido, en función de su temperatura y presión) se puede transportar de retorno a la caldera 10 por medio de una o varias líneas 34, 35, 33, 32, 48, 55 que constituyen la vía de transporte de retorno que termina en el supercalentador 11. Según se ilustra en la Figura 1, la vía de transporte de retorno puede comprender además un condensador 14 para recuperar el calor del vapor y transferirlo a un proceso consumidor de calor 22. El condensador 14 puede comprender un dispositivo condensador único, o puede comprender varios dispositivos condensadores distintos. Las variedades y la utilización de los condensadores son bien conocidas en la industria, y dicho conocimiento se aplica fácilmente al condensador 14. El condensador 14 se puede conectar a un proceso consumidor de calor 22 con las líneas 45, 46, en las que un medio de transferencia de calor, tal como el agua, puede circular entre el condensador 14 y el proceso consumidor de calor 22.

Adicionalmente o de forma alternativa, la vía de transporte de retorno puede comprender una o varias bombas 20 para efectuar la circulación de la sustancia circulante entre la caldera 10 y la turbina de vapor 3.

Adicionalmente o de forma alternativa, la vía de transporte de retorno puede comprender un intercambiador de calor 25 en la caldera 10 para precalentar o preferiblemente vaporizar el agua antes de que entre en el supercalentador 11. El intercambiador de calor 25 puede comprender un único dispositivo intercambiador de calor, o puede comprender varios dispositivos de intercambio de calor distintos. Las propiedades y la utilización de dichos intercambiadores de calor son bien conocidas en la industria y este conocimiento se aplica fácilmente al intercambiador de calor 25. De acuerdo con un ejemplo, el intercambiador de calor 25 puede comprender varios tubos (no ilustrados de forma específica) integrados en las paredes laterales de la caldera 10.

El precalentamiento adicional del agua en la vía de transporte de retorno se puede efectuar mediante un intercambiador de calor 15 instalado en la caldera 10, tal como en el conducto 71 para expulsar los gases de combustión de la caldera 10, según se ilustra en la Figura 1. El intercambiador de calor 15 instalado en la caldera 10 puede comprender un único dispositivo de intercambio de calor, o puede comprender varios dispositivos intercambiadores de calor distintos. Si se instala en el conducto 71 según se ilustra en la Figura 1, el intercambiador de calor 15 puede captar la energía térmica de los gases de combustión de la caldera 10 y/o de la cámara de supercalentamiento auxiliar 2 antes de que los gases de combustión sean expulsados de la caldera 10 por medio del conducto 71 de la caldera.

De forma ventajosa, y con referencia a las Figuras 4b a 4d, la capacidad de la cámara de supercalentamiento auxiliar 1, es decir, la cantidad de energía térmica que puede generar en una unidad de tiempo, se selecciona de tal manera que cuando la central eléctrica funciona con una carga W por debajo de su carga nominal mínima viable W_{MV} , la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 sea capaz de supercalentar adicionalmente el vapor procedente del supercalentador 11 de tal manera que se satisfaga la temperatura mínima viable T_v del vapor que entra en la turbina de vapor 3. Es decir, cuando la energía térmica transferida al vapor en el supercalentador 11 no sea suficientemente alta para que el vapor alcance la temperatura mínima viable T_v del vapor que entra en la turbina 3 debido a que la caldera 10 funciona con una baja carga, la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 es capaz de forma ventajosa de transferir al vapor la energía térmica necesaria después de que el vapor se haya supercalentado en el supercalentador 11 de modo que la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor 3 sea al menos la temperatura mínima viable T_v , de tal manera que el rango de carga W_L para el funcionamiento a baja carga de la central eléctrica se extienda, en esencia, por debajo de su carga nominal mínima viable W_{MV} .

De esta manera, y de acuerdo con la solución descrita, la cámara de supercalentamiento auxiliar 1, que comprende el supercalentador auxiliar 2, se puede utilizar para ampliar el rango de carga para el funcionamiento viable de una central eléctrica W_v , de tal manera que el rango de carga para el funcionamiento viable W_v de la central eléctrica comprenda tanto el rango de carga para el funcionamiento normal W_N como el rango de carga para el funcionamiento de baja carga W_L , en donde la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se puede utilizar para supercalentar adicionalmente el vapor en el rango de carga para el funcionamiento de baja carga W_L . De acuerdo con la solución descrita, la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se puede utilizar dentro del rango de carga para el funcionamiento normal de la central eléctrica W_N así como, por ejemplo, de forma que el supercalentador auxiliar 2 se utilice para supercalentar adicionalmente el vapor procedente del supercalentador 11 ya antes de que se alcance la temperatura mínima viable T_v del vapor que entra en la turbina de vapor 3, según se ilustra en las Figuras 4b a 4d.

Con referencia a las Figuras 4b a 4d, en la práctica puede haber una carga mínima viable W_{MVA} de una central eléctrica con una cámara de supercalentamiento auxiliar 1 en funcionamiento, de tal manera que con una carga de la central eléctrica W por debajo de la carga mínima viable W_{MVA} la capacidad de generación de energía térmica de la cámara de supercalentamiento auxiliar 1 no sea suficiente para satisfacer la temperatura mínima viable T_v del vapor que entra en la turbina 3. Por consiguiente, el rango de carga para el funcionamiento viable W_v de la central eléctrica es, inclusive, el rango de carga entre su carga mínima viable W_{MVA} y su carga nominal máxima W_F .

La cámara de supercalentamiento auxiliar 1 se puede utilizar además como un medio para mantener el sistema en un modo de espera en caliente. El modo de espera hace referencia a que no se produce electricidad en la central eléctrica, en cuyo caso la caldera 10 se puede ir reduciendo de potencia, por ejemplo, por medio de no quemar o quemar muy poco combustible en la caldera 10, o se puede mantener en un modo de espera en caliente por medio de quemar combustible en la caldera en una cantidad suficiente para mantener la caldera 10 a una temperatura elevada. El modo de espera en caliente para el sistema hace referencia a que el agua circulante, en estado gaseoso y/o líquido, se mantiene a una temperatura tan elevada que el sistema se pueda poner en marcha, es decir, que se pueda iniciar la producción de electricidad con el generador 9, con un tiempo de puesta en marcha considerablemente más corto que en el caso de que el sistema se haya detenido sin mantener una alta temperatura en la circulación de la sustancia circulante.

Durante el estado de espera en caliente, la energía térmica liberada al agua circulante necesaria para mantener el sistema en una temperatura de espera en caliente se puede producir mediante la cámara de supercalentamiento 1, en cuyo caso no se puede quemar combustible o se puede quemar muy poco combustible en la caldera 10. Como alternativa, durante el estado de espera en caliente, la energía térmica que se libera al agua de circulación necesaria para mantener el sistema con una temperatura de espera en caliente se puede producir tanto con la cámara de supercalentamiento 1 como con la caldera 10.

REIVINDICACIONES

1. Un método para ampliar el rango de carga para el funcionamiento viable W_v de una central eléctrica con turbina de vapor que comprende una caldera (10) con un supercalentador (11) para suministrar vapor supercalentado a una turbina de vapor (3), teniendo la turbina de vapor una temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor; siendo ampliado el rango de carga para el funcionamiento viable W_v de la central eléctrica con turbina de vapor por medio de la utilización de forma controlada de una cámara de supercalentamiento auxiliar (1) que comprende un supercalentador auxiliar (2) para supercalentar adicionalmente el vapor; comprendiendo el método:
 - determinar la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor;
 - cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está por encima de una temperatura de alerta T_A , la cual temperatura de alerta T_A es superior a la temperatura mínima viable T_v requerida;
 - quemar combustible en la caldera para generar energía térmica para que sea transferida al vapor en el supercalentador (11) para generar vapor supercalentado que satisfaga la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor;
 - transportar el vapor supercalentado desde el supercalentador (11) al supercalentador auxiliar (2) de la cámara de supercalentamiento auxiliar (1);
 - quemar combustible con un quemador (24) en la cámara de supercalentamiento auxiliar (1) para mantener la cámara de supercalentamiento auxiliar con una temperatura de estado de espera en caliente, la cual temperatura es más alta que la temperatura ambiente y no es más alta que la temperatura del vapor supercalentado que entra en el supercalentador auxiliar (2);
 - transportar el vapor supercalentado desde el supercalentador auxiliar (2) a la turbina de vapor; y
 - cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está en o por debajo de la temperatura de alerta T_A ,
 - quemar combustible en la caldera para generar energía térmica para ser transferida al vapor en el supercalentador (11) para generar vapor supercalentado;
 - transportar el vapor supercalentado desde el supercalentador al supercalentador auxiliar (2) de la cámara de supercalentamiento auxiliar (1);
 - supercalentar adicionalmente el vapor supercalentado mediante la combustión del combustible con un quemador (24) en la cámara de supercalentamiento auxiliar (1) para generar energía térmica para ser transferida al vapor supercalentado en el supercalentador auxiliar (2) de tal manera que se satisfaga la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor;
 - transportar el vapor supercalentado desde el supercalentador auxiliar (2) a la turbina de vapor.
2. Un método para ampliar el rango de carga para el funcionamiento viable W_v de una central eléctrica con turbina de vapor que comprende una caldera (10) con un supercalentador (11) para suministrar vapor supercalentado a una turbina de vapor (3), teniendo la turbina de vapor una temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor; el rango de carga para el funcionamiento viable W_v de la central eléctrica con turbina de vapor se amplía por medio de la utilización de forma controlada de una cámara de supercalentamiento auxiliar (1) que comprende un supercalentador auxiliar (2) para supercalentar adicionalmente el vapor; el método comprende:
 - determinar la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor;
 - cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está por encima de una temperatura de alerta T_A , la cual temperatura de alerta T_A es superior a la temperatura mínima viable T_v requerida;
 - quemar combustible en la caldera para generar energía térmica para que sea transferida al vapor en el supercalentador (11) para generar vapor supercalentado que satisfaga la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor;
 - transportar el vapor supercalentado desde el supercalentador (11) a la turbina de vapor bipaseando el supercalentador auxiliar (2) con una vía de desviación del vapor (58);
 - quemar combustible con un quemador (24) en la cámara de supercalentamiento auxiliar (1) para mantener la cámara de supercalentamiento auxiliar con una temperatura de estado de espera en caliente, la cual

temperatura es más alta que la temperatura ambiente y no es más alta que la temperatura del vapor supercalentado que entra en el supercalentador auxiliar (2);

- cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está en o por debajo de la temperatura de alerta T_A ,

- 5
 - quemar combustible en la caldera para generar energía térmica para ser transferida al vapor en el supercalentador (11) para generar vapor supercalentado;
 - transportar el vapor supercalentado desde el supercalentador (11) al supercalentador auxiliar (2) de la cámara de supercalentamiento auxiliar (1);
- 10
 - supercalentar adicionalmente el vapor supercalentado mediante la combustión del combustible con un quemador (24) en la cámara de supercalentamiento auxiliar (1) para generar energía térmica para ser transferida al vapor supercalentado en el supercalentador auxiliar (2) de tal manera que se satisfaga la temperatura mínima viable T_V requerida del vapor que entra en la turbina de vapor;
 - transportar el vapor supercalentado desde el supercalentador auxiliar (2) a la turbina de vapor.
153. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, comprendiendo el método además el transporte de los gases de combustión desde la cámara de supercalentamiento auxiliar hasta la caldera para que se recupere la energía térmica de dichos gases de combustión.
4. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, comprendiendo el método además el transporte de los gases de combustión por medio de una línea (37) desde la cámara de supercalentamiento auxiliar a otro lugar distinto de la caldera, por ejemplo, a la atmósfera.
205. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el método además la generación de gas producto por gasificación con un gasificador (4) y el suministro de gas producto al quemador (24) para ser utilizado como combustible para la combustión.
256. El método de acuerdo con la reivindicación 5, comprendiendo el método además el transporte de al menos parte del gas producto generado en el gasificador a la caldera para ser utilizado como combustible para la combustión en la caldera con un quemador (72) durante el estado de espera en caliente, y/o como combustible suplementario, y/o como combustible principal y/o como único combustible para la caldera.
7. Un sistema que comprende
 - una caldera (10) con un supercalentador (11) para suministrar vapor supercalentado a una turbina de vapor (3), teniendo la turbina de vapor una temperatura mínima viable T_V requerida del vapor que entra en la turbina de vapor;
 - 30- una cámara de supercalentamiento auxiliar que se puede utilizar de forma controlada (1) que comprende un supercalentador auxiliar (2) y un quemador (24), instalado el supercalentador auxiliar en una vía de transporte de avance del vapor (30, 31) entre el supercalentador (11) y la turbina de vapor;
 - una unidad de control (23) adaptada para:
 - determinar la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor;
 - 35• cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está por encima de una temperatura de alerta T_A , la cual temperatura de alerta T_A es superior a la temperatura mínima viable T_V requerida;
 - controlar la combustión del combustible en el quemador de tal manera que la cámara de supercalentamiento auxiliar (1) se mantenga a una temperatura de estado de espera en caliente, que sea superior a la temperatura ambiente y no superior a la temperatura del vapor supercalentado que entra en el
 - 40supercalentador auxiliar (2);
 - cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está en o por debajo de la temperatura de alerta T_A ,
 - controlar la combustión del combustible en el quemador (24) de tal manera que la energía térmica se transfiera al vapor supercalentado en el supercalentador auxiliar (2) de tal manera que se satisfaga la
 - 45temperatura mínima viable T_V requerida del vapor que entra en la turbina de vapor.

8. Un sistema que comprende:

- una caldera (10) con un supercalentador (11) para suministrar vapor supercalentado a una turbina de vapor (3), teniendo la turbina de vapor una temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor;

5 - una cámara de supercalentamiento auxiliar que se puede utilizar de forma controlada (1) que comprende un supercalentador auxiliar (2) y un quemador (24), instalado el supercalentador auxiliar en una vía de transporte de avance del vapor (30, 31) entre el supercalentador (11) y la turbina de vapor;

- una unidad de control (23) adaptada para:

• determinar la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor;

10 • cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está por encima de una temperatura de alerta T_A , la cual temperatura de alerta T_A es superior a la temperatura mínima viable T_v requerida;

• controlar una disposición de válvulas (26) de tal manera que el vapor supercalentado se transporte desde el supercalentador (11) a la turbina de vapor, baipaseando de este modo el vapor el supercalentador auxiliar (2) por medio de una vía de desviación del vapor (58);

15 • controlar la combustión del combustible en el quemador (24) de tal manera que la cámara de supercalentamiento auxiliar (1) se mantenga a una temperatura de estado de espera en caliente, la cual temperatura sea superior a la temperatura ambiente y no sea superior a la temperatura del vapor supercalentado que entra en el supercalentador auxiliar (2);

• cuando la temperatura T del vapor que entra en la turbina de vapor está en o por debajo de la temperatura de alerta T_A ,

20 • controlar la disposición de las válvulas (26) de tal manera que el vapor supercalentado se transporte desde el supercalentador (11) al supercalentador auxiliar (2);

• controlar la combustión del combustible en el quemador de tal manera que la energía térmica se transfiera al vapor supercalentado en el supercalentador auxiliar (2) de tal manera que se satisfaga la temperatura mínima viable T_v requerida del vapor que entra en la turbina de vapor.

25 9. El sistema de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, comprendiendo el sistema además el paso de transporte de gases (43) adaptado para transportar los gases de combustión desde la cámara de supercalentamiento auxiliar (1) a la caldera.

30 10. El sistema de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, comprendiendo el sistema además una línea (37) adaptada para transportar los gases de combustión desde la cámara de supercalentamiento auxiliar (1) a otro lugar distinto de la caldera, por ejemplo, a la atmósfera.

11. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, comprendiendo el sistema, además:

- un gasificador (4) adaptado para generar gas producto; y

- líneas (40, 41, 42) adaptadas para transportar el gas producto desde el gasificador hasta el quemador (24).

35 12. El sistema de acuerdo con la reivindicación 11, comprendiendo el sistema además una línea (47) adaptada para transportar el gas producto desde el gasificador hasta la caldera.

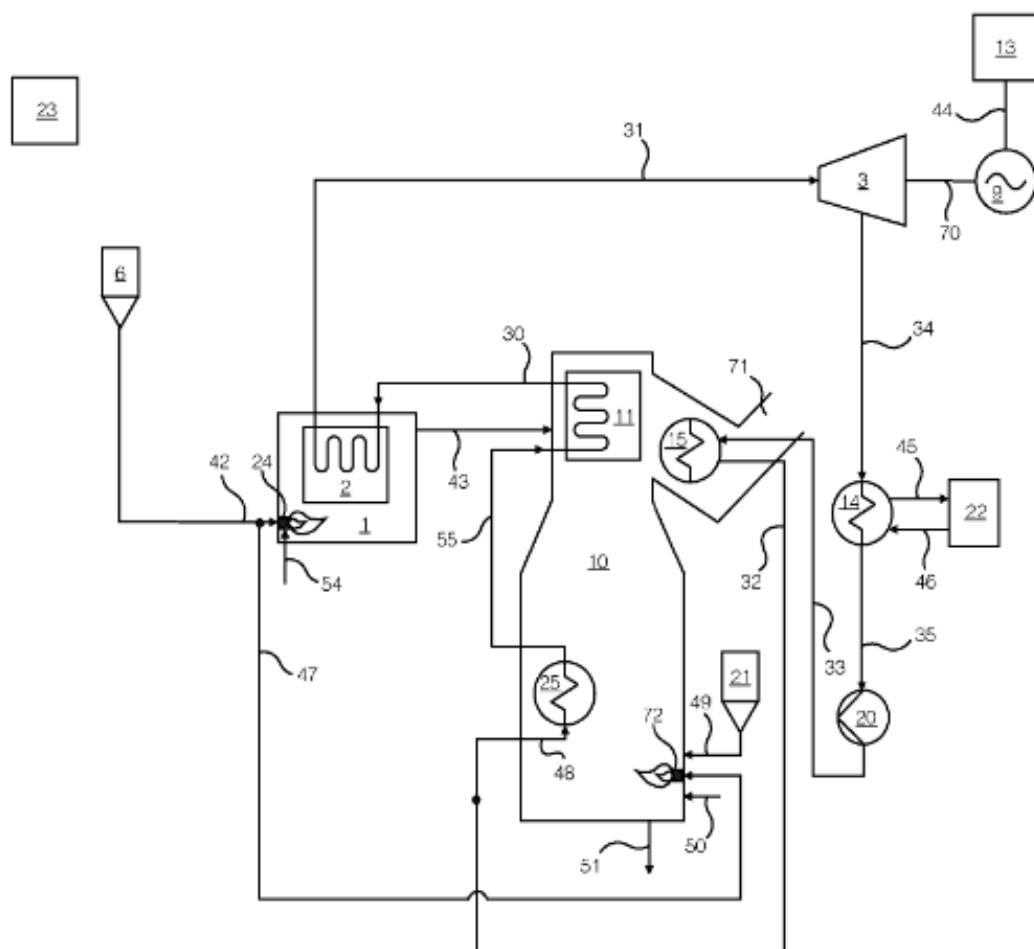


Fig. 1

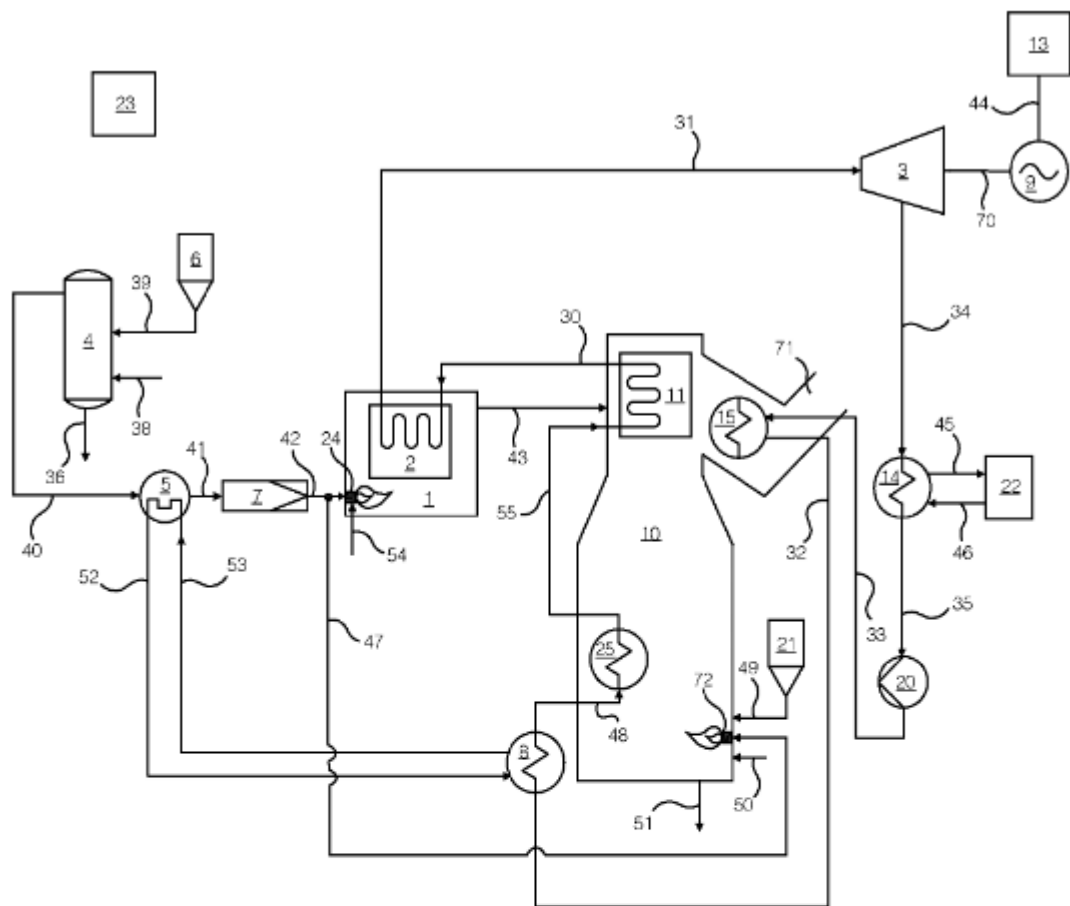


Fig. 2

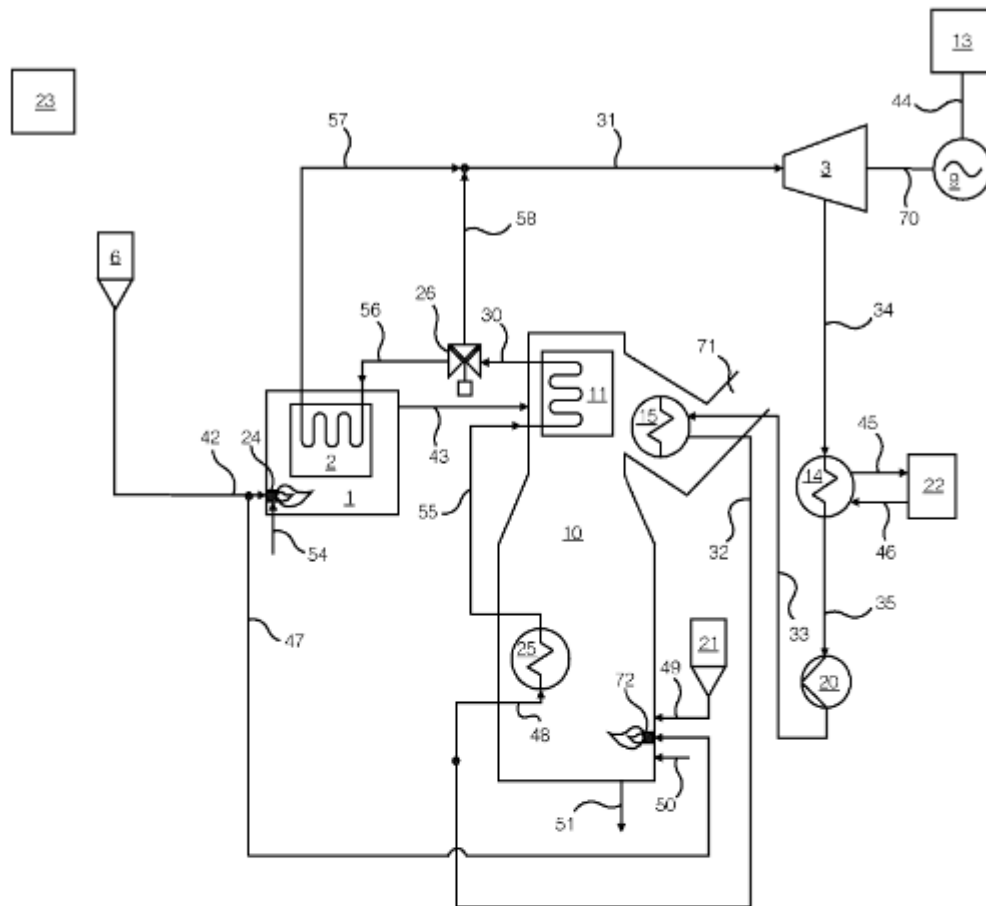


Fig. 3

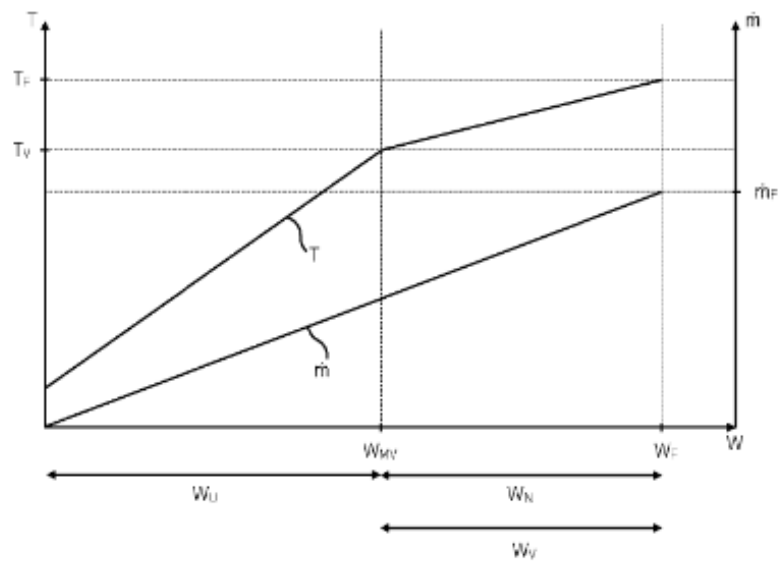


Fig. 4a

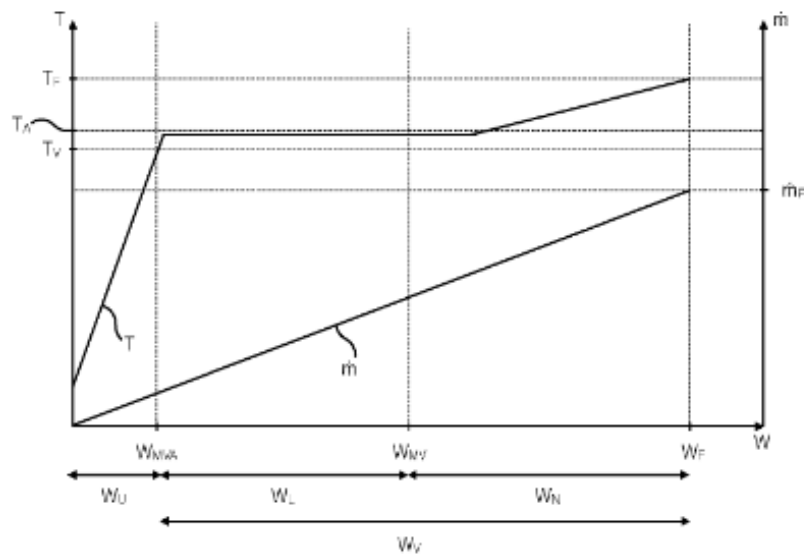


Fig. 4b

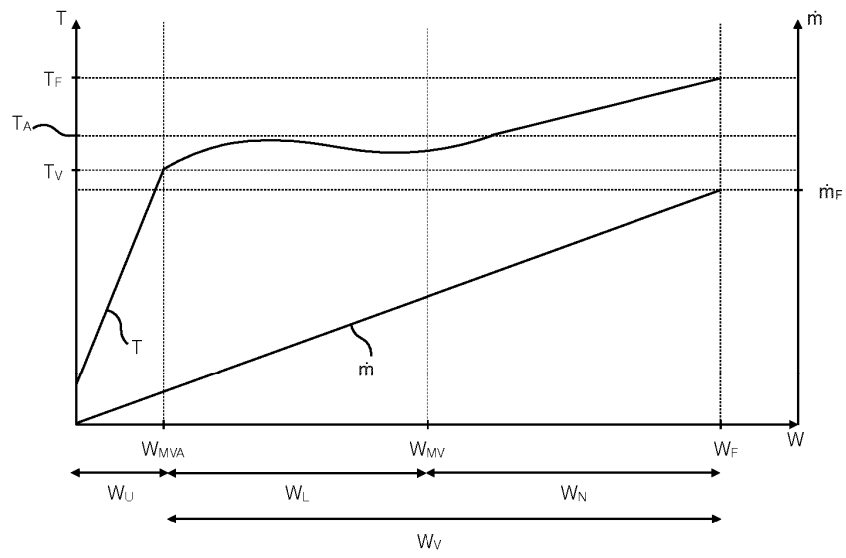


Fig. 4c

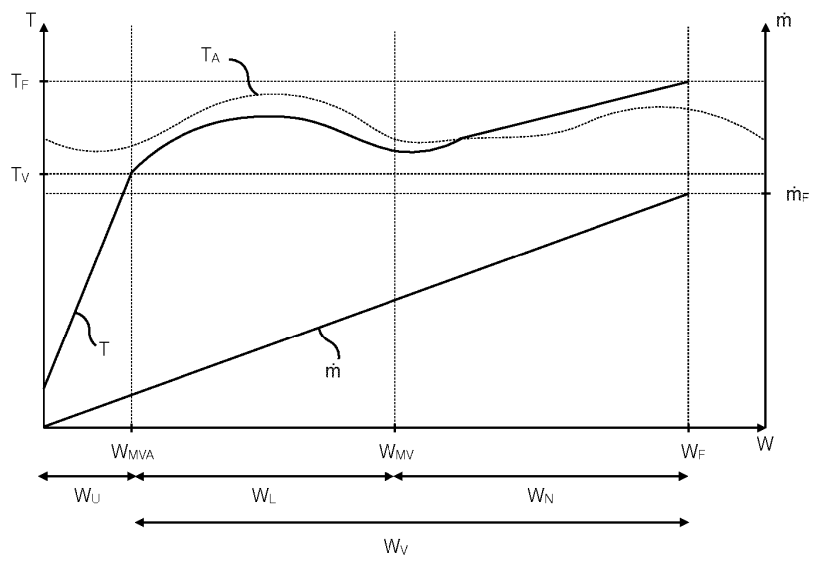


Fig. 4d

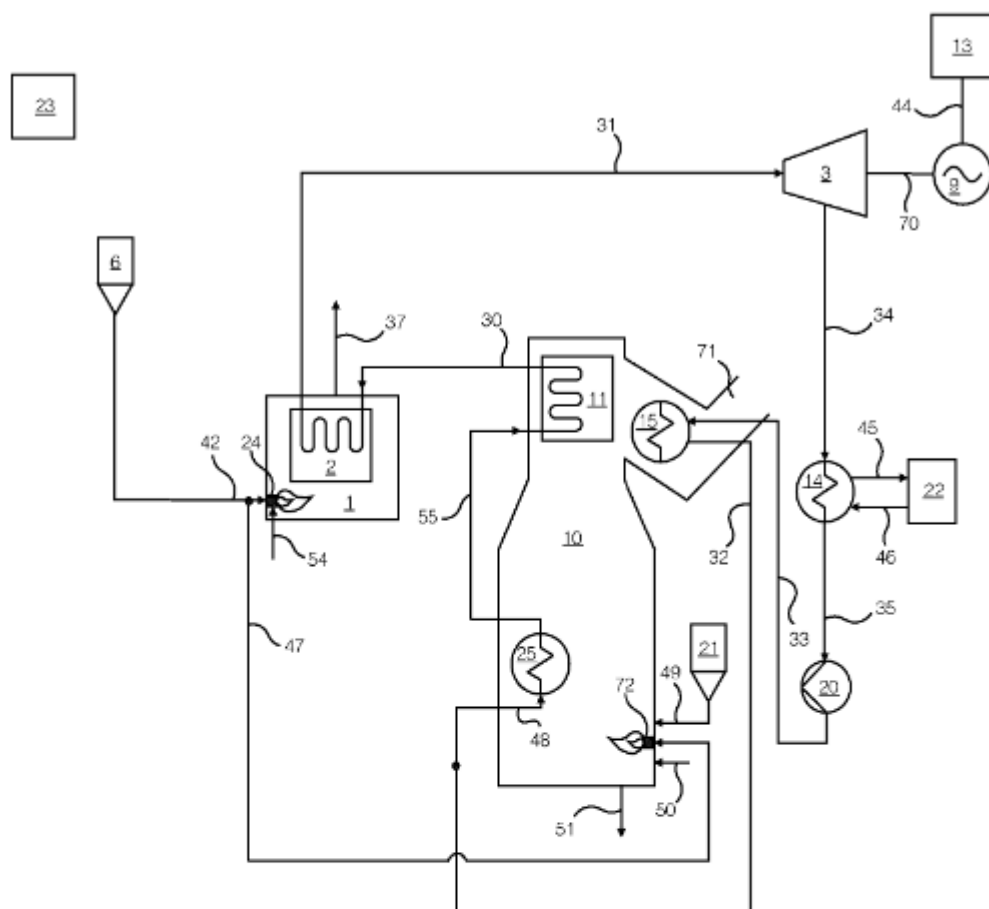


Fig. 5

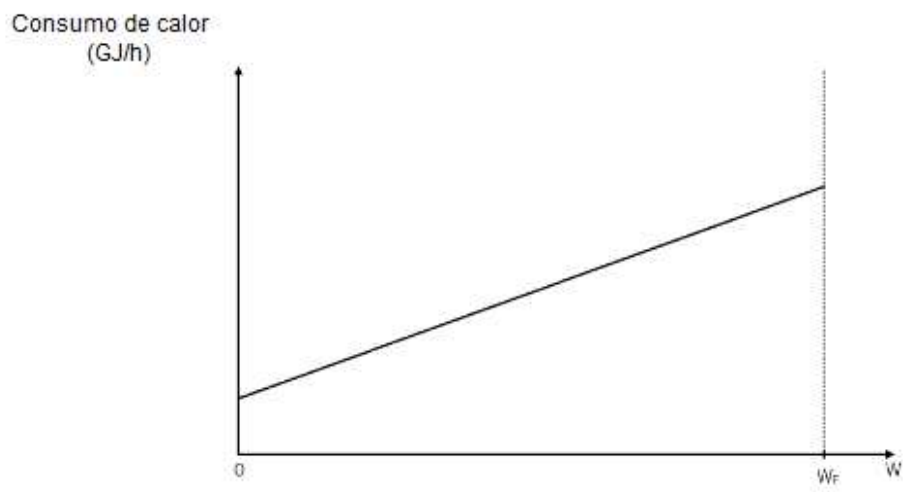


Fig. 6a

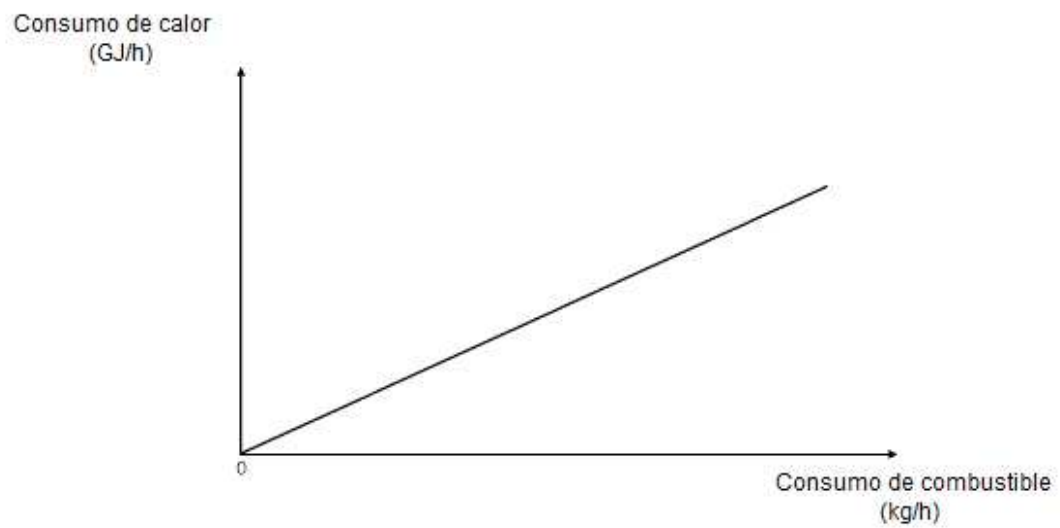


Fig. 6b