



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 301 995**

51 Int. Cl.:

**F02C 3/30** (2006.01)

**F23C 9/00** (2006.01)

**F02C 6/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04735429 .5**

86 Fecha de presentación : **28.05.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1629184**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **01.03.2006**

54 Título: **Un método de funcionamiento de un grupo de turbina de gas.**

30 Prioridad: **30.05.2003 SE 0301585**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.07.2008**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.07.2008**

73 Titular/es: **Euroturbine AB.**  
**P.O. Box 2037**  
**612 02 Finspang, SE**

72 Inventor/es: **Hansson, Hans-Erik y**  
**Westermark, Mats**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 301 995 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).

# ES 2 301 995 T3

## DESCRIPCIÓN

Un método de funcionamiento de un grupo de turbina de gas.

5 La invención se refiere a un método para el funcionamiento de un ciclo de turbina de gas cuya técnica se presenta en la introducción de la primera reivindicación (US-A5 771 678).

10 El documento US-A5 771 678 da a conocer un método de la clase definida en la primera parte de la reivindicación 1, a saber, un método de funcionamiento de una central eléctrica de turbinas de gas compuesta por un primer grupo de turbina de gas, que consta de un compresor y una turbina que están conectados mecánicamente uno con otra, y un segundo grupo de turbina de gas, que incluye un dispositivo de combustión, que está colocada en la corriente de flujo de gas entre el compresor y la turbina del primer grupo, en donde el segundo grupo de turbina de gas consta de un compresor, un dispositivo de inyección de combustible, una cámara de combustión y una turbina, en donde el compresor y la turbina del segundo grupo de turbina de gas están acoplados mecánicamente uno a otra y al menos uno de los grupos de turbina de gas tiene un dispositivo para la extracción de trabajo útil, en el que se calienta un primer flujo de agua y/o vapor con calor procedente del gas de combustión de la turbina del primer grupo.

15 En turbinas de gas tradicionales, se emplea aire como fluido de trabajo. El aire de admisión es comprimido a alta presión, después de lo cual se mezcla combustible con el aire comprimido. A continuación esta mezcla se quema en una cámara de combustión y se expande a través de una turbina. Esta turbina produce trabajo, parte del cual se usa para accionar el compresor, mientras que el exceso se extrae como trabajo útil. La eficiencia de este proceso puede describirse como la relación entre el trabajo útil y el contenido de energía del combustible empleado. En ciclos tradicionales de turbina de gas, el proceso de combustión tiene lugar con una gran cantidad de aire excedente; en consecuencia, una gran parte del aire de admisión atraviesa el ciclo sin que se utilice su contenido de oxígeno.

20 Ya se sabe que pueden diseñarse centrales eléctricas de turbinas de gas como un denominado ciclo humidificado. En un ciclo humidificado, se mezcla agua con el fluido de trabajo. Esta agua se puede inyectar como vapor y/o se puede usar agua caliente para humedecer una parte del flujo de aire comprimido o la totalidad del mismo. Usualmente se genera vapor en un generador de vapor de recuperación de calor que utiliza el calor contenido en los gases de combustión procedentes de la turbina.

25 Sin embargo, en la práctica, una turbina tradicional de gas "seco", que está optimizada para funcionamiento con aire seco como fluido de trabajo, muestra unas características operativas inaceptables si se inyectan grandes cantidades de agua en el fluido de trabajo. Esto es debido a que el flujo de gas que atraviesa el expansor de la turbina es significativamente mayor que el caudal para el cual ésta está dimensionado.

30 Por tanto, las turbinas tradicionales de gas no pueden funcionar como ciclos humidificados. En las pocas turbinas de gas que sí utilizan inyección de vapor, la cantidad de vapor que puede inyectarse en el fluido de trabajo es limitada, y en consecuencia no se puede utilizar todo el vapor disponible procedente del generador de vapor de recuperación de calor.

35 Si se van a realizar ciclos humidificados, es necesario un rediseño amplio y costoso de la maquinaria de turbina de gas para acomodar la distribución cambiada de flujo y el desequilibrio entre la capacidad de volumen del compresor y la turbina.

40 Además, las turbinas tradicionales de gas enfrían a menudo las regiones a temperatura caliente de la turbina al utilizar aire de refrigeración frío procedente del compresor; por tanto, el compresor tiene cierta sobrecapacidad en forma de este aire de refrigeración. Sin embargo, en ciclos humidificados es suficientemente ventajoso emplear vapor para enfriar en vez de aire comprimido. Esto aumenta además el grado según el cual ha de rediseñarse la turbina de gas, dado que el desequilibrio entre la capacidad de volumen del compresor y la turbina se hace incluso mayor cuando se introduce enfriamiento por vapor. Por tanto, deben implementarse medidas extras para adaptar turbinas existentes de gas enfriadas por aire a otras con un enfriamiento por vapor más efectivo.

45 Aunque ya se sabe que pueden utilizarse y hacerse funcionar ciclos de turbina de gas como se describe en la introducción de la reivindicación 1, un objetivo adicional de la presente invención es eliminar los problemas de rediseño antes mencionados asociados con ciclos humidificados y proponer configuraciones que ofrecen eficiencias especialmente altas y condiciones favorables de funcionamiento.

50 Un objetivo adicional de la invención es introducir un método que permita el funcionamiento efectivo del segundo grupo de turbina de gas de tal manera que se obtenga un funcionamiento casi óptimo del primer grupo de turbina de gas en un ciclo humidificado, a pesar del hecho de que el primer grupo de turbina de gas tenga un diseño que en esencia está optimizado para un ciclo seco.

55 Una finalidad adicional de la invención es proponer una configuración que permita que un primer grupo de turbina de gas, que puede ser una unidad de turbina de gas autónoma tradicional, funcione como un ciclo humidificado. Por lo tanto, la unidad de turbina de gas tradicional puede ser un dispositivo existente que puede ser complementado/reequipado con la segunda unidad de turbina de gas. Alternativamente, la unidad tradicional de turbina de gas puede fabricarse nuevamente a partir de un diseño bien conocido y extensamente probado que se haya producido y haya estado en funcionamiento previamente. De esta manera, el primer grupo de turbina de gas fabricado nuevamente es bien

## ES 2 301 995 T3

conocido y tiene características operativas deseables, una buena eficiencia y una infraestructura de mantenimiento y servicio existente.

5 Un propósito adicional de la invención es proponer parámetros operativos que afecten favorablemente al rendimiento de los grupos de turbina de gas.

Estos propósitos se logran totalmente o en parte mediante la invención.

La invención se define en la reivindicación 1 anexa.

10 Las configuraciones de la invención se dan en las reivindicaciones independientes adjuntas. Las finalidades adicionales de la invención se logran total o parcialmente mediante la reivindicación 1 o mediante una o más de las reivindicaciones subordinadas adicionales anexas.

15 El primer grupo de turbina de gas puede comprender una unidad que está bien probada y optimizada para funcionamiento "seco". Actualmente, existe una gran cantidad de experiencia relativa al funcionamiento, rendimiento y mantenimiento a largo plazo de estas turbinas de gas "seco". Además, el funcionamiento combinado de las partes de compresor y turbina se comprende bien en el funcionamiento tradicional (ciclo no humidificado). El dispositivo de combustión y el segundo grupo de turbina de gas están dimensionados de modo que el primer grupo de turbi-  
20 na de gas pueda funcionar óptimamente, a pesar del hecho de que ahora sea una parte del ciclo humidificado. Una proporción significativa, por ejemplo al menos un 10% y preferiblemente un 20%, del trabajo producido se obtiene preferiblemente de la transmisión de potencia del segundo grupo de turbina de gas.

25 El primer grupo de turbina de gas puede ser una unidad existente que funcione bajo condiciones no humidificadas en una planta existente y que se complementa con el segundo grupo de turbina de gas, el dispositivo de combustión y el dispositivo de inyección y/o humidificación de vapor para lograr un ciclo humidificado para todo el ciclo de turbina de gas.

30 Alternativamente, el ciclo humidificado puede diseñarse y producirse nuevamente, pero basándose en un primer grupo de turbina de gas que sea una turbina de gas convencional con un compresor y una turbina sobre un árbol común y técnicamente bien probados para funcionamiento en condiciones no humidificadas.

35 Mediante la elección de unidades de compresor y turbina, el segundo grupo de turbina de gas puede adaptarse fácilmente para dar una distribución de presión deseada entre sus vapores de gas de entrada y salida. Al complementar el primer grupo de turbina de gas con el segundo grupo de turbina de gas, el primer grupo de turbina de gas obtiene así un conjunto nuevo, casi óptimo, de condiciones de funcionamiento cuando se convierte a un ciclo humidificado.

40 En la práctica, el caudal volumétrico de gas de combustión de salida para el cual está construido el primer grupo de turbina de gas se mantiene dentro de su rango original de funcionamiento. Como una gran proporción de este flujo de salida de la turbina es vapor en un ciclo humidificado, el caudal másico de aire del compresor original debe, por tanto, reducirse. Esta reducción puede lograrse eliminando una etapa de compresor o empleando regulación de las paletas de guía de entrada, como se explica adicionalmente más adelante. Cualquiera de los dos métodos dará como resultado una relación reducida de presión para el compresor del primer grupo de turbina de gas en comparación con su diseño original. En consecuencia, en lugar de tener relaciones aproximadamente iguales de presión para las partes  
45 de compresor y turbina, la nueva configuración humidificada implica que el compresor del primer grupo de turbina de gas tendrá una relación de presión considerablemente menor que su diseño original correspondiente.

50 La configuración anterior ofrece la mejor eficiencia potencial para el ciclo humidificado de turbina de gas. En primer lugar, la turbina del primer grupo funciona cerca de sus parámetros de diseño optimizados originales en lo que se refiere a triángulos de velocidad y niveles de pérdida. En segundo lugar, el caudal másico inferior a través del compresor, como se mencionó, reduce la relación de presión y, por tanto, también reducirá la cantidad consumida de energía. Por lo tanto, la cantidad de trabajo útil obtenido del primer grupo de turbina de gas aumenta hasta el grado posible en unión de ciclos humidificados de turbina de gas.

55 Una relación de presión reducida para el compresor del primer grupo de turbina de gas también conducirá a una densidad de corriente de gas reducida en este compresor. Por tanto, la corriente de gas se adapta favorablemente a la geometría original del compresor, a pesar del hecho de que se reduzca el flujo másico a través del compresor. Este efecto favorable es pequeño en la primera etapa de entrada del compresor y, por tanto, puede ser más efectivo eliminar una etapa de compresor en vez de regular el compresor. Esto último también es posible, ya que a medida que disminuye la carga del compresor debido a la relación reducida de presión, cuando se conmuta a un ciclo humidificado.  
60

65 El segundo grupo de turbina de gas trabaja en un rango de temperatura cuando se requiere enfriamiento y éste se puede proporcionar ventajosamente empleando vapor o aire húmedo frío. El vapor puede participar en este proceso de una manera muy ventajosa al enfriar en primer lugar los componentes a alta temperatura antes de ser introducido en la cámara de combustión. Por lo tanto, este vapor también puede participar en el proceso de expansión y proporcionar trabajo adicional. Sin embargo, una parte del vapor se empleará, por necesidad, para el enfriamiento pelicular de partes en las que la convección no ofrece el servicio de enfriamiento necesario. Este enfriamiento pelicular, en donde actúa el vapor como una capa protectora entre la corriente de gas y el metal, es muy eficaz cuando se usa vapor debido a la mayor capacidad térmica del vapor en comparación con la mezcla de gas húmedo.

## ES 2 301 995 T3

El primer grupo de turbina de gas funcionará en condiciones que no requieren enfriamiento o que como mucho sólo necesitan un grado limitado de enfriamiento. Por tanto, la distribución existente de aire de enfriamiento en el diseño original "seco" de este grupo de turbina puede reducirse drásticamente y en su lugar puede permitir un flujo mayor de fluido de trabajo en la turbina.

5 Por tanto, todo el desarrollo avanzado requerido para transformar el primer grupo de turbina de gas en un ciclo humidificado se concentra en el segundo grupo de turbina de gas. El primer grupo de turbina de gas únicamente requiere cambios menores, y menos críticos. Estos cambios son los siguientes: un punto de extracción para el aire comprimido que se ha de conducir hacia el segundo grupo; la cámara de combustión existente se reemplaza por un nuevo conducto de distribución de gas "frío"; finalmente, se introduce un nuevo árbol más potente.

10 La eficiencia óptima de un proceso seco, esto es, de un ciclo de turbina de gas convencional, se obtiene a las relaciones de presión relativamente bajas de 5-40 bares. Sin embargo, la eficiencia óptima se encuentra a relaciones de presión mucho más altas para un ciclo humidificado. En consecuencia, es importante aumentar la relación de presión en ciclos de turbina de gas humidificados con el fin de lograr las condiciones óptimas de funcionamiento. Una región de presión adecuada para el ciclo sugerido es de 50-300 bares, preferiblemente 60-200 bares y si es posible 80-150 bares. Los niveles de temperatura están entre 1000-2000 K, preferiblemente 1200-1800 K.

15 En ciertas configuraciones de ciclo humidificado sugeridas en esta invención, la adición de agua puede resultar tan grande que se produce una combustión tan cerca de las condiciones estequiométricas como sea prácticamente posible, es decir, que se utilice casi todo el oxígeno contenido en el aire. Este es uno de los objetivos más primarios cuando se hace funcionar el ciclo sugerido.

20 La combustión bajo condiciones casi estequiométricas lleva a un ciclo efectivo, compacto y rentable. El agua que ha participado en el proceso no se envía al medioambiente, sino que se puede retener en el ciclo a través de la condensación de gas de combustión. El condensado obtenido puede tratarse y recircularse continuamente hacia el ciclo de potencia. El proceso de condensación de gas de combustión está facilitado por la combustión casi estequiométrica y, por tanto, el ciclo puede hacerse autosuficiente en agua. El agua de condensación procedente del gas de combustión también ayuda a eliminar partículas y, en cierta medida, contaminantes de los gases de combustión. De este modo, se produce el menor impacto medioambiental posible. La combustión casi estequiométrica también implica que se minimice el flujo de gas de combustión hacia el medioambiente. Como tales, los métodos propuestos para separar dióxido de carbono de los gases de combustión de la central eléctrica se abaratan significativamente en esta invención, dado que disminuye el flujo a través de cualquier proceso de limpieza y la concentración de dióxido de carbono es más alta. El funcionamiento de la planta deberá diseñarse de tal manera que se consuma al menos un 70%, adecuadamente un 80% y preferiblemente un 90% del contenido de oxígeno del aire de admisión. Esto representa una desviación importante respecto de la tecnología existente y ofrece las ventajas indicadas anteriormente.

25 Se supone que el agua del ciclo puede reciclarse. La evaporación de agua tiene lugar parcialmente en una caldera, en ciertos casos con dos niveles de presión, la cual coge su calor de los gases de combustión calientes y del enfriamiento del aire del compresor procedente de la unidad de primera unidad de turbina de gas. Los gases de combustión enfriados se conducen hacia un condensador de gas de combustión que condensa agua de la corriente de gas, usualmente en cantidades que hacen que la planta sea autosuficiente en agua. Las grandes cantidades de calor que se obtienen cuando se condensa esta agua pueden, por ejemplo, utilizarse en una red de calefacción de distrito o para accionar un enfriador de absorción.

30 El resultado neto de introducir vapor en el proceso tradicional de turbina de gas es aumentar la eficiencia y la producción de trabajo útil. Las turbinas modernas convencionales, bien desarrolladas, que funcionan sin inyección de vapor, tienen usualmente eficiencias de un 35-40%. Los ciclos de turbina de gas humidificados bien desarrollados, que funcionan con niveles similares de presión y temperatura, obtienen usualmente eficiencias de aproximadamente un 50-55%. Los ciclos humidificados, que funcionan con niveles de presión más altos, obtienen eficiencias de alrededor de un 55-65% y el trabajo útil extraído será 2-3 veces mayor que el de su correspondiente proceso convencional de turbina de gas.

35 Con el fin de que el ciclo funcione eficiente y factiblemente con las relaciones de presión requeridas para alcanzar 50-300 bares, deben usarse al menos dos o, para los niveles más altos de presión, tres ejes con diferentes velocidades de giro. El compresor y la turbina de alta presión funcionarían con la velocidad de giro más alta. Por tanto, una solución de ejes múltiples comprendería una unidad de turbina de gas convencional funcionando sobre un eje, un segundo grupo de compresor y turbina funcionando sobre un eje separado que gira a velocidades más altas, y una cámara de combustión que funciona a presiones y temperaturas altas, presenta una combustión casi estequiométrica y se enfría preferiblemente con vapor. Se pueden introducir incluso vapor y/o agua mediante la inyección de vapor a alta presión antes de la cámara de combustión, o humidificando el aire en una torre de humidificación, o mediante la inyección de vapor y/o agua a presión intermedia antes de la última etapa de compresión.

40 Cuando se funciona a presiones más altas, aumenta la necesidad de enfriar el aire entre los compresores; en parte para reducir las demandas de nivel de temperatura y de material del compresor, y en parte para reducir la cantidad requerida del trabajo de compresor.

## ES 2 301 995 T3

La rebaja de la temperatura del aire a presión intermedia también puede llevar a unas condiciones más ventajosas para la combustión. La manera más fácil de alcanzar temperaturas inferiores es pulverizar agua dentro de la corriente de aire comprimido. Alternativamente, el calor contenido en el aire comprimido puede utilizarse para producir vapor en una caldera. Un método adicional y especialmente efectivo es utilizar una denominada torre de humidificación.

5 En este dispositivo, el aire comprimido a alta presión se humidifica en contacto directo a contracorriente con agua caliente. El agua caliente se enfría mediante este proceso y puede recoger entonces calor del gas de combustión o del aire a presión intermedia, reduciendo así las pérdidas del ciclo.

Con el fin de introducir cantidades adicionales de agua en el ciclo humidificado, puede humidificarse el aire de admisión enviado al compresor. Esta solución es particularmente ventajosa en relación con la extracción de calor a baja temperatura, por ejemplo calefacción de un distrito, del ciclo de turbina de gas. Se puede usar el calor del gas de combustión para este proceso de humidificación; reciclando así energía dentro del ciclo y aumentando la utilización total de energía en este proceso.

15 La invención se describirá en los siguientes ejemplos con referencia a los dibujos anexos.

La figura 1 ilustra esquemáticamente un ciclo de turbina de gas según la invención con calor empleado por una caldera 74 después del compresor 12 del primer grupo de turbina de gas, y además con inyección de agua en la corriente de aire entre los compresores 12 y 22.

20 La figura 2 ilustra un desarrollo adicional del ciclo de turbina de gas según la figura 1 con producción de vapor en dos etapas, una humidificación final de la corriente de aire entre los compresores, que también incluye la utilización de calor procedente de un refrigerador intermedio anterior y una configuración en la que sólo se extrae trabajo útil del segundo grupo 20 de turbina de gas.

25 La figura 3 ilustra un desarrollo adicional del ciclo de turbina de gas según la figura 2, con calor utilizado por una caldera en una etapa después del compresor 12 del primer grupo de turbina de gas, humidificación de la corriente de aire entre los compresores utilizando calor del economizador 70 de gas de combustión, humidificación adicional de la corriente de aire entre el compresor 22 y el dispositivo de combustión 35, en donde se recupera calor del refrigerador intermedio 95 del compresor y del economizador 90 de gas de combustión, y una configuración en la que sólo se extrae trabajo útil del segundo grupo 10 de turbina de gas.

30 La figura 1 muestra un primer grupo 10 de turbina de gas que comprende un eje 11, que está conectado a un compresor 12 y a una turbina 13. El primer grupo 10 de turbina de gas está dimensionado y diseñado como una turbina de gas tradicional pensada para un funcionamiento convencional con sólo aire como fluido de trabajo. Un generador de electricidad 15 se muestra conectado al eje 11. Alternativamente, se puede extraer trabajo del primer grupo 10 de turbina de gas, a través del eje 11, hacia otro dispositivo.

35 La figura 1 también muestra una segundo grupo 20 de turbina de gas que incluye una turbina 23, un compresor 22 y un eje 21, que se muestra conectado a un generador de electricidad 25 o a otro dispositivo que puede utilizar el trabajo transferido a través del eje 21.

40 El eje 11, que está conectado al primer grupo 10 de turbina de gas, así como el eje 21, que está conectado al segundo grupo 20 de turbina de gas, pueden conectarse ambos a un dispositivo común que utiliza el trabajo neto proporcionado por los dos grupos.

45 Se coge aire de la atmósfera a través de 41 hacia el compresor 12 y se le conduce adicionalmente en una corriente 42 hacia el compresor 22 y luego adicionalmente a través de 43 hasta la cámara de combustión 35. Aquí, se añade combustible a través de 51 y agua o vapor a través de 61. Asimismo, puede introducirse vapor a través de 62 y mezclarlo con el flujo en 43 antes de la cámara de combustión 35. Los gases de combustión son admitidos a través de 44 hacia la unidad 23 de turbina.

50 Para enfriar las secciones de alta temperatura de la turbina, una parte del flujo de vapor se conduce a través de 63 hacia la unidad 23 de turbina. La parte del vapor que no se mezcla con la corriente principal a través de la turbina 23 se conduce entonces hacia la cámara de combustión, por ejemplo, a través de la tubería 68.

55 El flujo de salida de la turbina 23 se conduce a través de 48 hacia otra turbina 13. El flujo de salida de la turbina 13 se conduce a través de 49 que contiene una caldera 73, un intercambiador 70 de calor y, aguas abajo de éste, un condensador 71 de gas de combustión. El agua condensada del condensador 71 de gas de combustión se conduce a través de una tubería 81, que atraviesa el intercambiador 70 de calor, y además hacia las tuberías 82 y 83. El desaireador 72 tiene la finalidad de garantizar que el agua suministrada a las calderas 73 y 74 está libre de oxígeno.

60 El dispositivo de extracción 42 de salida de compresor recoge el aire presurizado del compresor 12 del primer grupo de turbina de gas y lo dirige hacia el compresor 22 de alta presión. El dispositivo de entrada 48 de turbina introduce el gas de combustión procedente de la turbina 23 en la turbina 13 del primer grupo de turbina de gas. Ambos dispositivos están cerrados herméticamente respecto del eje 11 para permitir una diferencia de presión entre los dos dispositivos. En la configuración descrita presente, la presión en el dispositivo de retorno 48 es típicamente un 10-40% más alta que la presión en el dispositivo de extracción 42. Esto es significativamente diferente de turbinas

## ES 2 301 995 T3

de gas convencionales, en donde la presión después del compresor 12 es sólo ligeramente más alta que antes de la turbina 13.

5 La figura 1 ilustra esquemáticamente que algo del condensado calentado en el intercambiador 70 de calor puede conducirse a través de la tubería 82 hasta un humidificador adiabático 91, en donde es pulverizado en la corriente de aire contenida en 42. El humidificador de pulverización se coloca preferiblemente después del intercambiador 74 de calor de la corriente 42.

10 La figura 1 también ilustra que el agua calentada en el intercambiador 70 de calor puede, a través de la tubería 83, ser enviada al intercambiador 73 de calor y/o al intercambiador 74 de calor, antes de entrar en la cámara de combustión 35 a través de las trayectorias 61, 62 y/o 63 antes descritas. Los intercambiadores 73 y 74 de calor son calderas, en donde 74 está colocado en la trayectoria 42 de gas para enfriar la corriente de aire entre los compresores 12 y 22, mientras que 73 está situado en la trayectoria 49 de gas de combustión para enfriar los gases de combustión. De esta manera, el vapor generado no necesita atravesar un compresor.

15 La figura 2 muestra una solución alternativa en la que la recuperación de calor de la corriente de aire entre los compresores y la corriente de gas de combustión puede realizarse en parte con calderas funcionando con dos niveles de presión, con lo que se ajusta la presión más baja, de tal manera que el vapor formado pueda inyectarse en la trayectoria 42 de gas entre los compresores.

20 La figura 2 muestra una configuración de ciclo en donde vapor procedente del nivel presión inferior se extrae para uso en un proceso externo a través de la tubería 66.

25 La figura 2 también muestra una forma de enfriamiento de salida de compresor, en donde calor del aire del compresor enfriado se usa para evaporar agua en una vasija de humidificación y una parte del aire presurizado del compresor 12 toma parte en este proceso de humidificación. Según se muestra en la figura 2, se transfiere calor al circuito de humidificación en parte derivado del enfriamiento del aire antes de la humidificación, en parte derivado del enfriamiento del proceso de compresión, y en parte derivado del enfriamiento del gas de combustión. Este calor se transfiere al circuito de humidificación a los niveles de temperatura más adecuados para el proceso total, aunque no por encima del punto de ebullición a la presión de la torre de humidificación.

30 En las figuras 1-2, se puede utilizar el vapor a alta presión como un medio de enfriamiento de la cámara de combustión a través de 61 y de las secciones calientes de turbina a través de 63, o incluso inyectarlo directamente a través de 62 en la entrada de la cámara de combustión 35. Si hay cantidades insuficientes de vapor para enfriamiento (por ejemplo, durante el arranque o con carga parcial), la caldera 55 puede encenderse externamente (mediante combustible 56 y aire 57) para complementar la producción de vapor por medio de las calderas 73 y 74 y para garantizar la disponibilidad de medios suficientes de enfriamiento. El vapor, que posiblemente se produce por un flujo 70 de agua calentado previamente que se alimenta dentro del intercambiador 73, 74 y/o 55 de calor, se alimenta a uno o más de los conductos 61-63. La caldera 55 encendida externamente puede integrarse preferiblemente en la caldera 73. El contenido de agua del fluido de trabajo puede complementarse durante condiciones de funcionamiento en las que el nivel de humidificación del sistema es bajo (por ejemplo, cuando grandes cantidades de vapor son extraídas para un proceso externo), inyectando vapor a alta presión después de la etapa final de compresión. Se puede inyectar vapor a presión inferior antes de la etapa de compresión final e incluso utilizarlo parcialmente, como se mencionó anteriormente, para vapor de proceso externo.

35 La caldera 55 encendida externamente puede utilizarse para las tres finalidades antes descritas y es particularmente vital durante la operación de arranque y el funcionamiento con carga parcial. Además, el vapor de la caldera 55 puede usarse para mantener los componentes de sistema, especialmente los grupos de turbina, a una temperatura alta mientras se para el proceso. Al hacer eso, el tiempo de arranque del sistema puede acortarse considerablemente. Aunque se muestra la caldera 55 como una unidad separada en las figuras 2-3, una configuración alternativa con la misma finalidad consiste en encender la caldera 73 en la corriente 49 con el combustible adicional 56 y el aire 57 cuando sea necesario, según se muestra en la figura 1.

40 Puede verse en la figura 2 que agua relativamente fría procedente de la base de la torre de humidificación 97 es conducida a través de un intercambiador 96 de calor, un denominado enfriador intermedio, en donde se calienta el agua al tiempo que se enfría la corriente 45 de aire extraída del compresor 12. Este calor se usa entonces para evaporar una parte de la corriente de agua hacia el aire comprimido que la torre de humidificación 97. De una manera similar, se extrae calor de la corriente 92 de aire usando parte del agua fría de salida de la torre de humidificación 97 en el intercambiador 98 de calor. Esto ayuda además al proceso de humidificación en 97 garantizando que el aire de entrada está frío. Una corriente 94 de agua, extraída de la base de la torre de humidificación 97, es conducida así a través de un intercambiador 98 de calor, enfriando la corriente 92 de aire y calentando la corriente 94 de agua. Después de esto, este calor se usa en la torre 97 para evaporar una parte de esta corriente de agua hacia el aire comprimido. El agua caliente obtenida de la unidad 70 también se utiliza en la torre de humidificación 97.

45 La figura 3 muestra un desarrollo adicional de la configuración de humidificación ilustrada en la figura 2, en la cual también se aplica una torre de humidificación antes de la combustión en la cámara de combustión 35. El calor del gas de combustión y del aire comprimido se utiliza para humidificación complementaria en un dispositivo de humidificación 87, en donde participa la totalidad o parte del aire presurizado del compresor 22. El recuperador 88 asociado con

## ES 2 301 995 T3

la torre de humidificación 87 está situado en la corriente 43 entre el compresor 22 y la cámara de combustión 35. Según se muestra en la figura 3, se transfiere calor al circuito de humidificación desde el intercambiador 95 de calor situado en la corriente 42 entre el compresor 12 y el compresor 22. Preferiblemente, el intercambiador 95 de calor deberá colocarse según se muestra en la figura 3 entre la caldera 74 y la torre de humidificación 97 que se describió en relación con la figura 2. Además, se transfiere calor al circuito de humidificación desde el gas de combustión a través del intercambiador 90 de calor. Se añade además agua caliente al circuito de humidificación 86 a través de una corriente 85. Este calor se transfiere al circuito de humidificación a los niveles de temperatura más adecuados para el proceso total, aunque no por encima del punto de ebullición a la presión de la torre de humidificación. El intercambiador 88 de calor, que se inserta entre el compresor 22 y el dispositivo de humidificación 87, comprende un recuperador que permite que la humidificación complementaria que tiene lugar en la unidad 87 acontezca con la pérdida más baja posible de temperatura en la corriente 43 antes de que ésta entre en la cámara de combustión 35. El aire de admisión hacia el dispositivo de humidificación 87 es conduce así a través del intercambiador 88 de calor y se enfría por el aire de salida humidificado procedente del dispositivo de humidificación 87. Por tanto, el intercambiador 88 de calor recalienta el aire de admisión hacia la cámara de combustión 35 y maximiza así la mejora de rendimiento que es posible con el dispositivo de humidificación complementario 87.

En una configuración especialmente ventajosa, el gas que entra en la turbina 13 del primer grupo tiene una temperatura de como mucho 1200°C, preferiblemente entre 400-1000°C, y una presión de 5-60 bares. Además, el sistema deberá diseñarse preferiblemente de modo que la salida de gas de combustión de la turbina 13 esté en la región de 200-500°C.

La temperatura de salida del compresor 12 del primer grupo 10 de turbina se selecciona y se configura para permitir la producción de vapor usado para enfriar la turbina 23 de alta presión y/o la cámara de combustión 35. Las características operativas del sistema se eligen adecuadamente de tal manera que al menos un 60%, preferiblemente un 70-80% o muy deseablemente un 90% del oxígeno contenido en la corriente de aire 41-43 se consuma durante la combustión. Del trabajo producido por el ciclo de turbina de gas, al menos un 10% deberá transferirse mediante la transmisión de potencia del segundo grupo 20 de turbina de gas. Incluso más preferiblemente, un 20% del trabajo útil deberá transferirse desde el segundo grupo 20 de turbina de gas. En la presente configuración descrita especialmente ventajosa, un 30-40% de la producción de trabajo útil del sistema deberá transferirse mediante la transmisión de potencia del segundo grupo 20 de turbina de gas.

La configuración de turbina de gas antes mencionada está ideada para permitir la adaptación de turbinas de gas existentes a funcionamiento humidificado con un grado mínimo de rediseño, ya sea para centrales existentes o centrales de nueva construcción. Sin embargo, es concebible que el primer grupo de turbina de gas podría rediseñarse significativamente de manera específica para ciclos humidificados.

Uno de tales rediseños podría consistir en disminuir la relación de presión a través del expansor 13 del primer grupo de turbina de gas eliminando etapas de turbina de tal manera que el expansor 13 del primer grupo de turbina de gas sólo produzca suficiente energía para hacer funcionar su compresor correspondiente 12. De ahí que en esta configuración, el trabajo útil únicamente se extraiga del árbol del segundo grupo 20 de turbina de gas según se ilustra en la figura 2, y se simplifica en parte el funcionamiento y configuración de todo el ciclo de turbina de gas. Según se mencionó, esta configuración requeriría un rediseño significativo y es más difícil y costosa de aplicar a centrales eléctricas de turbinas de gas existentes.

Otro rediseño de esta clase podría consistir en aumentar la relación de presión a través del expansor 13 del primer grupo de turbina de gas añadiendo etapas de turbina de tal manera que el expansor 23 del segundo grupo de turbina de gas sólo produzca suficiente energía para hacer funcionar su compresor correspondiente 22. De ahí que en esta configuración, el trabajo útil únicamente se extraiga del árbol del primer grupo 10 de turbina de gas según se ilustra en la figura 3, y se simplifica en parte la configuración de todo el ciclo de turbina de gas. Asimismo, esta configuración requeriría un rediseño significativo y es más difícil y costosa de aplicar a centrales eléctricas de turbinas de gas existentes.

55

60

65

# ES 2 301 995 T3

## REIVINDICACIONES

1. Un método de funcionamiento de una central eléctrica de turbinas de gas compuesta por un primer grupo (10) de turbina de gas, que consta de un compresor (12) y una turbina (13) que están conectados mecánicamente uno con otra, y un segundo grupo (20) de turbina de gas que incluye un dispositivo de combustión (35) y que está colocado en la corriente (42, 48) de flujo de gas entre el compresor (12) y la turbina (13) del primer grupo (10), en donde el segundo grupo (20) de turbina de gas consta de un compresor (22), un dispositivo (51) de inyección de combustible, una cámara de combustión (35) y una turbina (23), y en donde el compresor (22) y la turbina (23) del segundo grupo (20) de turbina de gas están acoplados uno a otra y al menos uno de los grupos (10, 20) de turbina de gas tiene un dispositivo para la extracción de trabajo útil (15, 25), en el que se calienta un primer flujo de agua y/o vapor con calor procedente del gas de combustión de la turbina (13) del primer grupo (10), se calientan cantidades adicionales de agua y/o vapor con calor procedente de una corriente de gas que es comprimida por el compresor (12) del primera grupo (10), y el agua y/o vapor producidos se inyectan en la corriente de gas (42, 48) en tales cantidades que al menos un 60% del contenido en oxígeno del aire de la corriente (42, 48) es consumido mediante combustión en el dispositivo de combustión (35), y en el que el gas de combustión que se alimenta a la turbina (23) del segundo grupo (20) de turbina de gas tiene una presión en el rango de 50-300 bares.

2. Un método según la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicha cantidad adicional de agua se introduce en la corriente de gas entre el compresor (12) del primer grupo (10) y el compresor (22) del segundo grupo (20) de turbina de gas.

3. Un método según la reivindicación 2, **caracterizado** porque cantidades adicionales de agua que tienen total o parcialmente la forma de vapor se introducen opcionalmente en la corriente (43, 48) de gas aguas abajo del compresor (22) del segundo grupo (20) de turbina de gas, y en tales cantidades que al menos un 60% del contenido en oxígeno del aire de la corriente (42, 48) es consumido mediante combustión en el dispositivo de combustión (35).

4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, **caracterizado** por una elección de características operativas de tal manera que la temperatura del flujo de gas (48) que entra en la turbina (13) del primera grupo (10) de turbina de gas está a lo sumo a 1200°C, preferiblemente a 400-1000°C, y porque la presión es de entre 5-60 bares.

5. Un método según algunas de las reivindicaciones 1-4, **caracterizado** por una elección de características operativas que dan una temperatura de salida del gas de combustión de la turbina (13) del primer grupo (10) de turbina de gas en la región de 200-500°C.

6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, **caracterizado** por el hecho de que el primer grupo (10) de turbina de gas es una unidad de turbina de gas que está optimizada para funcionamiento no humidificado, pudiendo la unidad de turbina de gas tener ejes múltiples e incluir posiblemente una refrigeración intermedia.

7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, **caracterizado** por el hecho de que la turbina (23) del segundo grupo (20) de turbina de gas está dispuesta y se la hace funcionar de modo que sea reasignada respectivamente la presión de la corriente de gas que viene del compresor (12) del primer grupo (10) de turbina de gas y que va a la turbina (13) del primer grupo (10) de turbina de gas de tal manera que el primer grupo (10) sea perfectamente adecuado para funcionar con datos de medio y flujo asociados con ciclos humidificados.

8. Un método según la reivindicación 6 o 7, **caracterizado** por la regulación de las paletas de guía de entrada del compresor (12) del primer grupo (10) de turbina de gas para reducir el flujo de aire obtenido durante el funcionamiento de la central eléctrica, y porque la capacidad del compresor (12) del primer grupo (10) de turbina de gas puede incluso reducirse mediante la eliminación de una o más etapas de compresor.

9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, **caracterizado** por el hecho de que el compresor (12) del primer grupo (10) de turbina de gas se complementa con un dispositivo de extracción (42) empleado para extraer el aire comprimido, que se sella contra el eje, y la turbina (13) del primer grupo (10) de turbina de gas se complementa con un dispositivo de inyección (48), que también se sella contra el eje, para devolver gas de combustión a la turbina (13) del primer grupo (10) de turbina de gas.

10. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, **caracterizado** por el hecho de que la temperatura de salida del compresor (12) del primer grupo (10) de turbina de gas se selecciona de modo que se permita la producción de vapor con una presión suficientemente alta sea usada para enfriar la turbina (23) del segundo grupo (20) de turbina de gas y/o la cámara de combustión (35).

11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, **caracterizado** por gases de combustión que entran en la turbina (13) del segundo grupo (20) de turbina de gas y que tienen una presión en la región de 50-300 bares, preferiblemente 60-200 bares, o muy deseablemente 80-150 bares, y una temperatura en la región de 1000-2000 K, preferiblemente 1200-1800 K.

12. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, **caracterizado** por humidificar el flujo de salida de gas procedente del compresor (22) del segundo grupo (20) de turbina de gas antes del dispositivo de combustión

## ES 2 301 995 T3

- 5 (35) del segundo grupo de turbina de gas, preferiblemente haciendo pasar al menos una parte de dicho flujo de gas a través de un humidificador (87), cuyas corrientes de gas de entrada y salida se intercambian en calor preferiblemente mediante un recuperador (88), en donde el agua de entrada al humidificador (87) se calienta preferiblemente con calor procedente de la corriente de salida de gas del compresor (12) y/o la turbina (13) del primer grupo (10) de turbina de gas.
13. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por usar al menos una parte del contenido en agua de los gases de combustión para proporcionar agua y/o vapor de alimentación al proceso.
- 10 14. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por regular la producción de trabajo del proceso mediante el cambio de la cantidad de agua que se transfiere a la corriente de gas, con lo que se obtiene una producción de potencia inferior mediante un menor grado de humidificación.
- 15 15. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, **caracterizado** por el hecho de que al menos una parte del vapor usado para enfriar es introducido posteriormente en la corriente (42, 48) de gas, preferiblemente en la cámara de combustión del segundo grupo (20) de turbina de gas, para su uso posterior como fluido de trabajo.
- 20 16. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-13, **caracterizado** por el hecho de que no se transfiere una cantidad significativa de calor a la corriente de gas entre la turbina (23) del segundo grupo (20) de turbina de gas y la turbina (13) del primer grupo.
- 25 17. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por el hecho de que se regula el compresor del segundo grupo (20) de turbina de gas mediante el ajuste de la paleta de guía delantera o el ajuste de la velocidad de giro del eje.
18. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-17, **caracterizado** por el hecho de que al menos un 10% del trabajo útil obtenido del proceso se extrae mediante la transmisión del segundo grupo (20) de turbina de gas.
- 30 19. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-18, **caracterizado** por el hecho de que un intercambiador de calor, a través del cual fluye agua, es dispuesto en el flujo de aire caliente aguas abajo del compresor del primer grupo (10) de turbina de gas para calentar el agua, que opcionalmente se calienta previamente en un intercambiador de calor de gas de escape aguas arriba del condensador (71) de gas de combustión a partir del cual el gas de escape es evacuado desde el grupo de turbina de gas hacia el medioambiente, porque el agua se produce preferiblemente por el condensador (71) de gas de combustión y porque un flujo parcial de dicha agua, preferiblemente en un estado previamente calentado, es calentado por un intercambiador (73) de calor, que es atravesado por gas de combustión procedente de la turbina (13) del primer grupo (10) de turbina de gas, y porque el agua que se calienta por los intercambiadores (74, 73) de calor y que posiblemente se transforma al menos parcialmente en vapor, se alimenta a la cámara de combustión (35), a la turbina (23) del segundo grupo (20) de turbina de gas o al flujo de gas comprimido procedente del compresor (22) del segundo grupo (20) de turbina de gas, para enfriar la turbina (23) del segundo grupo (20) de turbina de gas.
- 40 20. Un método según la reivindicación 19, **caracterizado** porque el agua que se alimenta a la cámara de combustión (35) tiene, al menos parcialmente, la forma de vapor.
- 45 21. Un método según la reivindicación 19 o 20, **caracterizado** por producir vapor mediante una caldera externa (55) y alimentar el vapor producido a la cámara de combustión (35), a la turbina (23) del segundo grupo (20) de turbina de gas o al flujo de gas comprimido procedente del compresor (22) del segundo grupo (20) de turbina de gas, para enfriar la turbina (23) del segundo grupo (20) de turbina de gas.

50

55

60

65

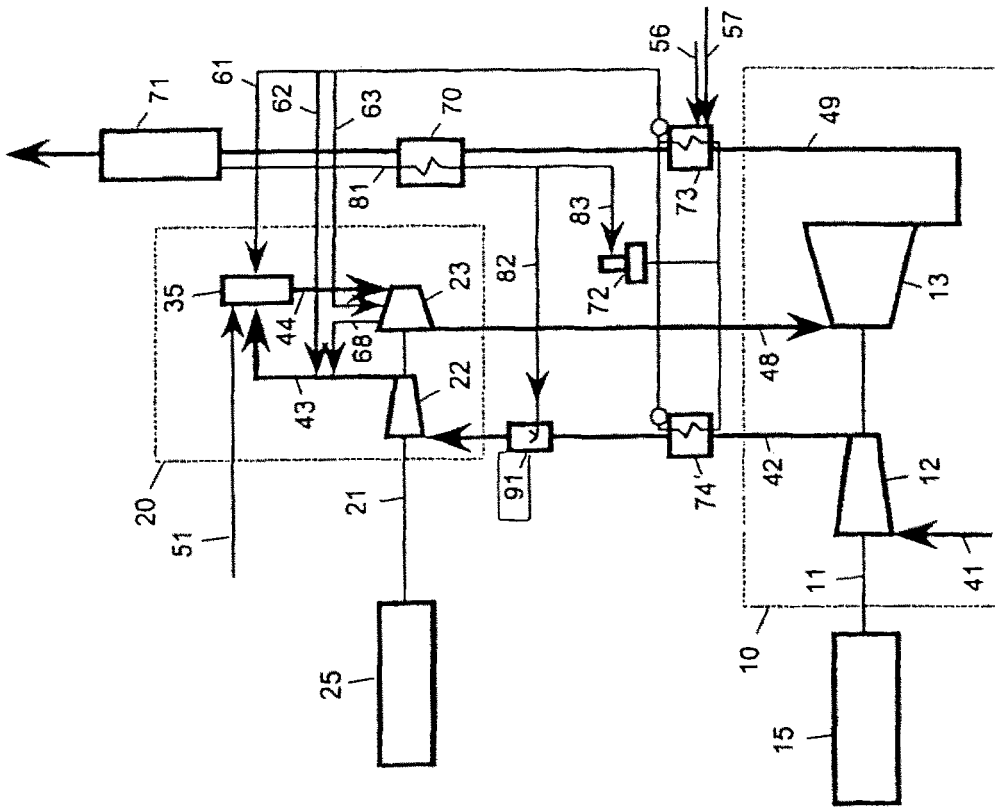


Fig. 1

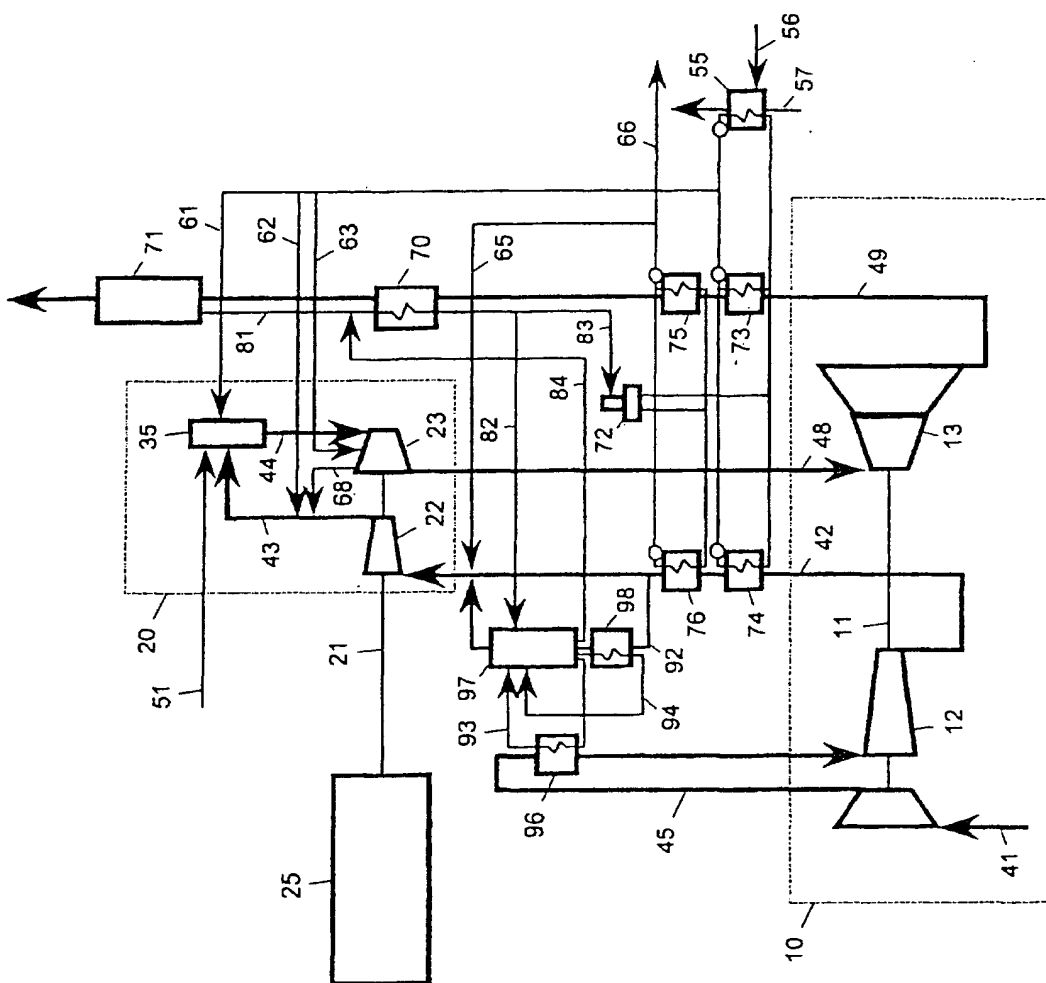


Fig. 2

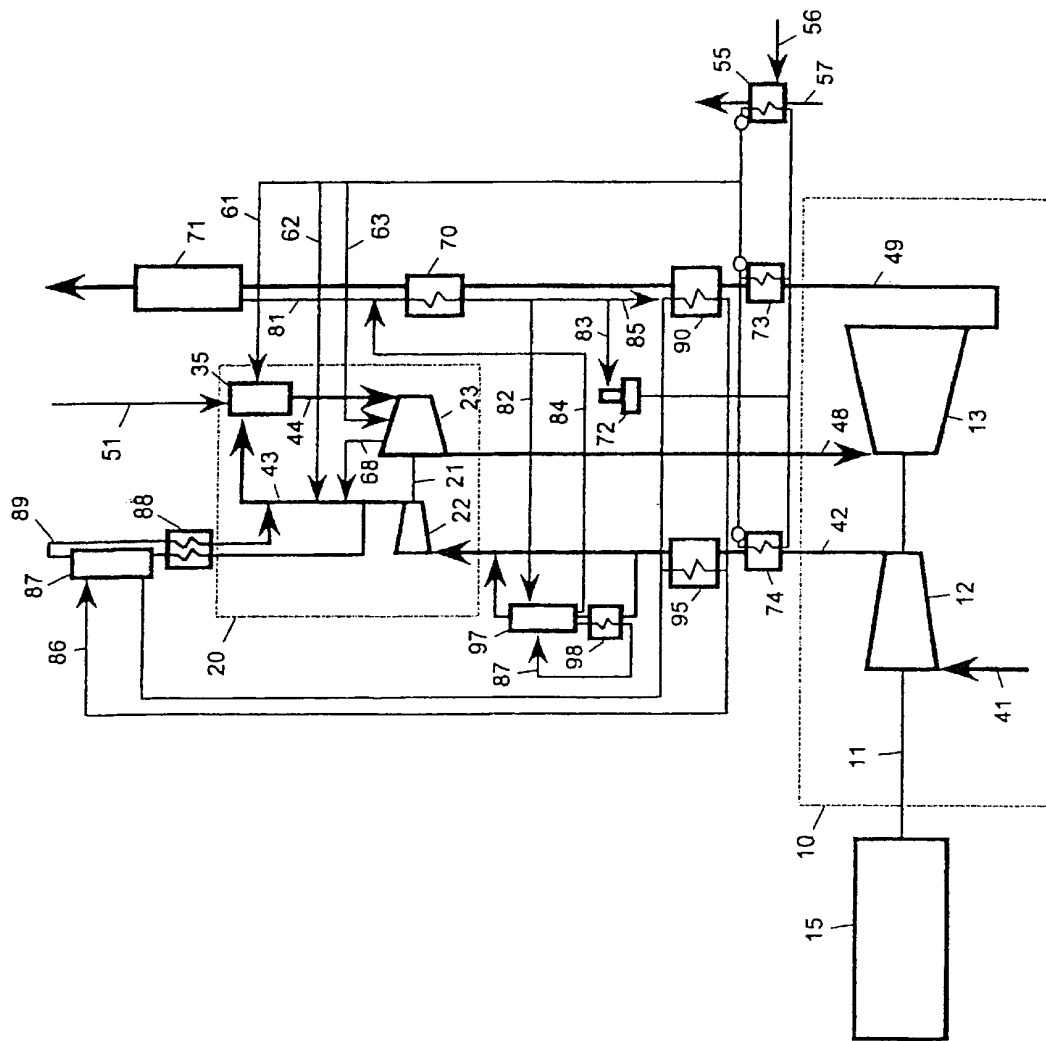


Fig. 3