

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 441 241**

51 Int. Cl.:

**F02C 7/143** (2006.01)

**F02C 9/16** (2006.01)

**F02C 9/28** (2006.01)

**F01D 17/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2003 E 03022209 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2013 EP 1462633**

54 Título: **Método para el control de la temperatura del gas caliente de una turbina de gas**

30 Prioridad:

**28.03.2003 DE 10314389**

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

**03.02.2014**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
WITTELSBACHERPLATZ 2  
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:

**NUDING, JOACHIM-RENÉ;  
LEUSDEN, CHRISTOPH PELS, DR. y  
TAPPEN, MARCO, DR.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 441 241 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

Método para el control de la temperatura del gas caliente de una turbina de gas

La presente invención hace referencia a un método para el control de la temperatura del gas caliente de una turbina de gas, de acuerdo con el concepto general de las reivindicaciones 1 ó 2.

5 Se conoce la utilización de turbinas de gas posicionadas en zonas fijas para generar energía mecánica, que generalmente mediante un generador, se transforma en energía eléctrica. Para dicho fin, en la turbina de gas se quema un combustible fósil con un flujo de aire comprimido por el compresor, para obtener un gas caliente, que se descomprime a continuación con una potencia de trabajo en una turbina en el rotor. La turbina de gas se acciona de manera que se suministre suficiente energía al eje del rotor para generar la energía eléctrica, en donde no se debe exceder una temperatura máxima del gas caliente en la entrada de la turbina.

10 La temperatura en la entrada de la turbina no se puede medir instantáneamente debido a sus valores elevados. Por lo tanto, se registra la temperatura del gas de escape que predomina en la salida de la turbina, a partir de la cual se puede inferir, mediante cálculos, la temperatura en la entrada de la turbina. Mediante la cantidad de combustible introducido en la cámara de combustión, se puede controlar la temperatura en la salida de la turbina y, de esta manera, indirectamente se puede controlar también la temperatura en la entrada de la turbina, en donde dicha temperatura depende también de la temperatura del aire en la entrada del compresor. Para simplificar el control de la turbina de gas, se calcula una variable auxiliar mediante un modelo matemático, en el cual la temperatura en la salida de la turbina ya no depende de la temperatura en la entrada del compresor. La variable auxiliar se indica como la temperatura en la salida de la turbina corregida. Esta temperatura sólo depende de la cantidad de combustible utilizado, de manera que se logra un control simple de la turbina de gas. El control depende además de la frecuencia de red de la corriente generada por el generador, sin embargo, en este caso no se considera la influencia mencionada.

15 Para incrementar el rendimiento de la turbina de gas, al flujo de aire aspirado por el compresor, se le puede suministrar también agua antes de la compresión, con el fin de incrementar el flujo másico a través de la turbina de gas. El funcionamiento mencionado se conoce en general como un funcionamiento de "compresión húmeda" (wet compression).

20 La temperatura del aire aspirado difiere permanentemente de la temperatura del líquido inyectado. Dado que en la entrada del compresor, el líquido introducido humedece los dispositivos de medición de la temperatura para medir las temperaturas del aire, los dispositivos de medición de la temperatura mencionados no registran la temperatura del aire, sino que registran la temperatura del líquido.

25 Cuando debido a una temperatura medida en la entrada del compresor aparentemente elevada, se determina una temperatura menor en la salida de la turbina como la temperatura efectiva existente, el regulador de la turbina de gas incrementa el suministro de combustible hacia la cámara de combustión para compensar la supuesta diferencia. Sin embargo, la turbina de gas puede presentar una combustión excesiva, es decir, que la temperatura efectiva en la entrada de la turbina puede ser mayor que la temperatura máxima permitida en la entrada de la turbina. La turbina de gas por tanto presentaría una combustión insuficiente cuando se efectúe una medición de temperatura efectiva baja en la entrada del compresor.

30 La combustión excesiva de la turbina de gas, puede conducir a un sobrecalentamiento de los componentes sometidos al gas caliente y, de esta manera, puede generar una reducción de su vida útil o también puede generar defectos. Por el contrario, la combustión insuficiente de la turbina de gas conduce a una pérdida de rendimiento.

35 Además, a partir de la patente US 2002/083712 A1 se conoce un dispositivo de control de inyección de agua para un sistema de admisión de aire de una turbina de gas. El sistema de control del dispositivo de control modifica y limita la inyección de agua en base a la humedad del aire aspirado, al punto de condensación de la temperatura ambiente, a la temperatura del aire seco del aire del ambiente y/o en base al flujo de la entrada del compresor. No se realiza una detección de la temperatura del gas de escape de la turbina de gas.

40 El objeto de la presente invención consiste en obtener un método para el control de la temperatura del gas caliente de una turbina de gas, en el que en el funcionamiento con compresión húmeda, se incrementa la vida útil de los componentes sometidos al gas caliente y, sin embargo, se logra una potencia generada lo más elevada posible.

45 El objeto orientado al método se resuelve mediante las características de las reivindicaciones 1 ó 2. Los acondicionamientos ventajosos se indican en las reivindicaciones relacionadas.

La solución prevé que el método calcule la temperatura del flujo de aire en la entrada del compresor, mediante la temperatura del aire medida, considerando la evaporación del líquido inyectado en el flujo de aire. Se detecta un

5 coeficiente de rendimiento para la evaporación mediante los cálculos y/o pruebas, a partir del cual se determina la temperatura del aire presente en la entrada del compresor, con la ayuda de la temperatura mínima posible. Mediante el control mencionado se pueden aplicar las condiciones reales en relación con la evaporación del líquido introducido, durante el recorrido hasta la entrada del compresor y, de esta manera, se puede lograr un funcionamiento seguro y con una potencia mayor de la turbina de gas, que evita tanto una combustión excesiva como una combustión insuficiente de la turbina de gas.

10 En un perfeccionamiento ventajoso se puede determinar la humedad del flujo del aire, mediante dispositivos de medición para la humedad del aire, antes del dispositivo de inyección. Mediante el conocimiento de la humedad del aire y de la temperatura del aire del flujo de aire aspirado, se puede determinar una evaporación del líquido introducido, durante el recorrido hasta la entrada del compresor. Mediante la integración de la humedad del aire, se puede calcular de una manera particularmente precisa, la temperatura en la entrada del compresor.

Cuando la temperatura del flujo de aire en la entrada del compresor se calcula mediante una función en base a las distribuciones de la temperatura del aire y de la humedad, la determinación resulta particularmente simple.

15 En un perfeccionamiento ventajoso, las distribuciones de la temperatura del aire y de la humedad se pueden predeterminar en forma de diagramas, de manera que se puede representar de una manera particularmente simple la dependencia de la evaporación del líquido inyectado en el flujo de aire. Esta representación contribuye a la realización de un cálculo simple.

20 En otro acondicionamiento del control, se determina una temperatura mínima posible con una evaporación del 100%, que se utiliza como una compensación para la temperatura en la entrada del compresor. Se supone que el líquido introducido mediante el dispositivo de inyección se evapora hasta lograr una humedad del aire relativa del 100% en la entrada del compresor. Ante la suposición mencionada, se puede determinar una temperatura mínima alcanzable (la menor posible) en la entrada del compresor, junto con la humedad del aire y la temperatura del aire medida. En el caso que como temperatura del flujo de aire en la entrada del compresor, se utilice la temperatura mínima posible, la temperatura efectiva existente en la entrada del compresor es siempre mayor en comparación con la temperatura mínima posible, dado que nunca se alcanza una humedad del aire del 100% sin influencias exteriores. Para este caso se realiza siempre una combustión insuficiente de la turbina de gas. De esta manera, se evita un sobrecalentamiento de los componentes sometidos al gas caliente, de manera que no se reduzca la vida útil de los componentes.

30 Un control mejorado de la turbina de gas se logra cuando la temperatura del flujo de aire en la entrada del compresor, se calcula considerando la evaporación efectiva del líquido inyectado en el flujo de aire.

35 En un acondicionamiento preferido del control, se modifica la cantidad de líquido inyectado en el flujo del aire, en relación con la evaporación. Convencionalmente, los compresores para turbinas de gas están dimensionados para una cantidad de líquido predeterminada, que se evapora durante la compresión. Sin embargo, mediante la evaporación, antes de la compresión se evapora una fracción reducida del líquido inyectado, de manera que el compresor no se acciona en el rango óptimo. Mediante una adaptación de la cantidad de líquido inyectado, se puede evitar la desventaja mencionada.

40 El rendimiento de la evaporación que depende esencialmente de la característica de las gotículas, así como de la geometría, es decir, de la disposición espacial de los componentes de un compresor, se puede evaluar a partir de pruebas y/o se puede determinar a partir de cálculos que se almacenan en modelos o fórmulas en el regulador. Cuando se evita la combustión insuficiente, se incrementa el rendimiento obtenido de la turbina de gas, y cuando se evita la combustión excesiva de la turbina de gas, no se perjudica la vida útil de los componentes que conducen el gas caliente.

Las ventajas del control corresponden, conforme al sentido, a las ventajas de la turbina de gas.

La presente invención se explica mediante los dibujos. De esta manera, muestran:

45 Fig. 1 una instalación de turbina de gas, y

Fig. 2 una carcasa de aspiración de una turbina de gas, de acuerdo con la figura 1.

50 La figura 1 muestra esquemáticamente una instalación de turbina de gas para la transformación de energía fósil en energía eléctrica, mediante una turbina de gas 1 y un generador 2 acoplado a dicha turbina. La turbina de gas fija 1 presenta esencialmente un compresor 3, una cámara de combustión 5 y una pieza de turbina 7. El compresor 3 se encuentra conectado con la pieza de turbina 7 y el generador 2, a través de un eje de rotor 10 en común.

5 Durante el funcionamiento de la turbina de gas 1, el compresor 3 aspira aire a través de la carcasa de aspiración 11, y lo comprime. El aire comprimido se suministra a un quemador con un combustible B que se puede suministrar a través de un elemento de cierre 8, se mezcla y se suministra a la cámara de combustión 5. La mezcla se quema durante el funcionamiento, y se obtiene un gas caliente H que circula a continuación hacia el interior de la pieza de turbina 7. En este punto, el gas caliente H se descomprime y acciona el eje del rotor 10. A continuación, el gas caliente H abandona la turbina de gas 1 como gas de escape A hacia un canal de gas de escape no representado. El eje del rotor 10 acciona el compresor 3, así como el generador 2.

10 Para el control del funcionamiento de la turbina de gas 1, se monitoriza la temperatura  $T_{AT}$  del gas caliente H en la salida 6 de la pieza de turbina 7, mediante un dispositivo de medición de la temperatura  $M_{AT}$ , dado que no se puede medir la temperatura  $T_{T1}$  del gas caliente H existente en la entrada 14 de la pieza de turbina 7. Mediante la cantidad de combustible introducido B en la cámara de combustión 5, se puede controlar tanto la potencia de la turbina de gas 1, así como la temperatura en la salida de la turbina  $T_{AT}$  y, de esta manera, se puede controlar indirectamente la temperatura en la entrada de la turbina  $T_{T1}$ . Un incremento del caudal del combustible B hacia la turbina de gas 1, conduce a una temperatura mayor del gas caliente H, y a un incremento del rendimiento de la turbina de gas 1. Para el proceso mencionado, el regulador 13 ajusta el elemento de cierre 8, el cual es activado por el regulador a través de su salida.

Dado que la temperatura en la entrada de la turbina  $T_{T1}$  también depende de la temperatura  $T_{V1}$  del flujo de aire aspirado L antes del compresor 3, la temperatura mencionada es también constante, es decir, que se detecta o se determina periódicamente de manera cíclica, durante el tiempo completo de funcionamiento.

20 Mediante el regulador 13 se elimina la dependencia de la temperatura en la salida de la turbina  $T_{AT}$  con la temperatura del aire  $T_{V1}$ , en tanto que se determina una temperatura corregida en la salida de la turbina  $T_{ATK}$  como una variable auxiliar, de acuerdo con:

$$T_{ATK} = T_{AT} - k_1 \cdot T_{V1} \quad (1)$$

25 En correspondencia, la temperatura corregida en la salida de la turbina  $T_{ATK}$  sólo depende de la aplicación de combustible B, de manera que la turbina de gas 1 se puede controlar fácilmente mediante el control de la temperatura corregida en la salida de la turbina  $T_{ATK}$  como una variable de control, y mediante el control del caudal de combustible B como una variable de control. La temperatura corregida en la salida de la turbina  $T_{ATK}$  se puede determinar también mediante una ecuación cuadrática o mediante otras funciones.

30 El regulador 13 presenta una entrada en la que se puede controlar el valor teórico  $T_{teórico}$  de la temperatura corregida en la salida de la turbina. En el regulador 13 se realiza la comparación del valor teórico  $T_{teórico}$  con la temperatura determinada corregida en la salida de la turbina  $T_{ATK}$ . En el caso que el valor real de la temperatura corregida en la salida de la turbina  $T_{ATK}$  sea menor/mayor que el valor teórico  $T_{teórico}$ , el regulador 13 incrementa/reduce mediante el elemento de cierre 8 el suministro de combustible.

35 En el caso que la turbina de gas 1 se accione sin la introducción de un líquido en el flujo de aire L, de esta manera con el dispositivo de medición de la temperatura  $M_{LU}$  dispuesto antes de la carcasa de aspiración 11, se puede medir directamente la temperatura  $T_{V1}$  del flujo de aire presente en la entrada del compresor 12.

40 En la figura 2 se representa la carcasa de aspiración 11 de la turbina de gas 1. Los dispositivos de medición de la temperatura  $M_{TU}$  se encuentran dispuestos por encima de un dispositivo de inyección 9, de manera que el líquido introducido W no humedezca los dispositivos de medición de la temperatura  $M_{TU}$  ni los dispositivos de medición de la humedad del aire  $M_{FU}$ .

En el caso de un funcionamiento con compresión húmeda, en el flujo de aire aspirado L en la carcasa de aspiración 11, se inyecta mediante el dispositivo de inyección 9 un líquido W, particularmente agua.

45 Aguas arriba de la carcasa de aspiración 11, se determina la temperatura  $T_U$  del aire aspirado mediante los dispositivos de medición de la temperatura  $M_{LU}$ , y la humedad del aire  $F_U$  se determina mediante los dispositivos de medición de la humedad del aire  $M_{FU}$ . Sus salidas se encuentran conectadas con las entradas del regulador 13.

En relación con los valores medidos y en relación con modelos, en el regulador 13 se determina la temperatura  $T_{V1}$  necesaria para el control, presente en la entrada 12 del compresor 3. De esta manera, el control de la turbina de gas 1 se puede realizar mediante el control de la temperatura en la salida de la turbina  $T_{AT}$ , mediante la aplicación de la ecuación (1) a través de la cantidad de combustible inyectado B.

En el caso que se prevea un funcionamiento de la turbina de gas 1 con la inyección de un líquido W en el flujo de aire L aspirado por el compresor 3, se pueden realizar dos controles diferentes: El control con una evaporación teórica que logra una supuesta humedad del aire del 100%, y un control adaptado con una evaporación variable.

5 En el caso del control con la evaporación teórica, se supone que se evapora una cantidad tal del líquido inyectado, de manera que se logra una humedad del aire del 100% en el flujo de aire aspirado L en la entrada del compresor 12. Ante dicha suposición, mediante la temperatura medida  $T_U$  y la humedad del aire  $F_U$  del flujo de aire L, se determina una temperatura mínima alcanzable  $T_{wetBulb}$  que reemplaza la temperatura  $T_{V1}$  en la entrada del compresor 12. La temperatura en la entrada del compresor  $T_{V1}$  determinada de esta manera, se puede deducir a partir de cálculos, así como a partir de diagramas que se representan de manera electrónica en la instrumentación de medición, o también se puede deducir a partir de fórmulas matemáticas. La ecuación para el regulador 13, para la  
10 determinación de la temperatura corregida en la salida de la turbina  $T_{ATK}$ , es la siguiente:

$$T_{ATK} = T_{AT} - k_1 \cdot T_{wetBulb} \quad (2)$$

15 Dado que una humedad del aire del 100% no se alcanza nunca en el funcionamiento real, la temperatura efectiva  $T_{V1}$  en la entrada 12 del compresor 3, es siempre mayor que la supuesta temperatura mínima alcanzable. Mediante la utilización de la temperatura mínima alcanzable en la entrada del compresor  $T_{wetBulb}$ , se determina respectivamente una temperatura corregida en la salida de la turbina  $T_{ATK}$  demasiado elevada, de manera que el regulador 13 siempre proporcione al quemador una cantidad de combustible B demasiado reducida. De esta manera se evita la combustión excesiva de la turbina de gas 1. En correspondencia, los componentes de la turbina de gas 1 sometidos al gas caliente, como por ejemplo, los álabes de turbina, anillos guía, las plataformas y los escudos térmicos para la  
20 cámara de combustión, se someten a las temperaturas previstas, y evitan su fatiga prematura.

En el caso del control adaptado de la turbina de gas 1, se determina una humedad del aire presente en la entrada 12 del compresor 3 que, sin embargo, es menor que el 100%, y que se puede determinar en relación con la humedad del aire  $F_U$  medida, con la temperatura medida  $T_U$  del flujo de aire L, y con la cantidad de líquido W introducido mediante el dispositivo de inyección 9. Para su cálculo se incluye el coeficiente de rendimiento  $\eta$  de la evaporación del líquido W en el flujo de aire aspirado L, con el fin de determinar la temperatura  $T_{V1}$  en la entrada 12 del  
25 compresor 3.

El coeficiente de rendimiento de la saturación del flujo de aire L con un líquido W, se puede calcular de acuerdo con:

$$\eta = \frac{T_U - T_{V1}}{T_U - T_{wetBulb}} \quad (3)$$

Mediante la resolución de la ecuación (3) de acuerdo con  $T_{V1}$ , y aplicada en la ecuación (1), se obtiene:

$$30 \quad T_{ATK} = T_{AT} - k_1 \cdot [T_U - \eta \cdot (T_U - T_{wetBulb})] \quad (4)$$

El coeficiente de rendimiento  $\eta$  de la evaporación, que depende de la característica de las gotículas del agua inyectada, así como de la geometría, es decir, de la disposición espacial de los componentes del compresor 3, se puede determinar mediante cálculos y/o mediante pruebas que, a continuación, se almacenan de forma electrónica en el regulador 13 en base a un modelo o a un diagrama.

35 Una evaporación del líquido W que logra una humedad del aire en la entrada 12 del compresor 3, menor al 100%, describe las condiciones reales de una mejor manera, de manera que se obtiene un control mejorado de la turbina de gas 1.

40 Una temperatura corregida en la salida de la turbina  $T_{ATK}$  determinada de acuerdo con la ecuación (4), es menor que una temperatura corregida en la salida de la turbina  $T_{ATK}$  determinada de acuerdo con la ecuación (2), de manera que se evitan las pérdidas de rendimiento mediante una temperatura en la entrada de la turbina  $T_{T1}$  considerada como demasiado reducida.

Además, se puede determinar la cantidad de líquido W que se evapora antes de la entrada 12 en el compresor 3, que a continuación se inyecta adicionalmente a través del dispositivo de inyección 9. La determinación mencionada

## ES 2 441 241 T3

logra un incremento adicional del rendimiento de la turbina de gas 1, dado que sólo la fracción de líquido  $W$  evaporada en la compresión, es decir, en el compresor 3, contribuye con un incremento del rendimiento de la turbina de gas 1 mediante la compresión húmeda.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para el control de la temperatura de un gas caliente (H) de una turbina de gas (1), particularmente de una turbina de gas fija para generar corriente,
- 5 que presenta un dispositivo de inyección (9) para la inyección de un líquido (W) en un flujo de aire (L) que puede ser aspirado por un compresor (3), con cuya ayuda se quema un combustible (B) en una cámara de combustión (5) dispuesta a continuación, y se conforma el gas caliente (H) que a continuación se descomprime mientras circula a través de la pieza de turbina (7) dispuesta a continuación,
- que presenta un dispositivo de medición de la temperatura ( $M_{TU}$ ) que registra la temperatura del flujo de aire (L) antes del compresor (3),
- 10 en donde la temperatura del gas caliente se ajusta mediante la cantidad de combustible,
- en donde el dispositivo de medición de la temperatura ( $M_{TU}$ ) se encuentra dispuesto antes del dispositivo de inyección (9),
- caracterizado porque** la temperatura ( $T_{v1}$ ) del flujo de aire (L) en la entrada (12) del compresor (3), se calcula mediante la temperatura medida ( $T_u$ ) considerando la evaporación del líquido inyectado (W) en el flujo de aire (L).
- 15 2. Método para el control de la temperatura de un gas caliente (H) de una turbina de gas (1), particularmente de una turbina de gas fija para generar corriente,
- que presenta un dispositivo de inyección (9) para la inyección de un líquido (W) en un flujo de aire (L) que puede ser aspirado por un compresor (3), con cuya ayuda se quema un combustible (B) en una cámara de combustión (5) dispuesta a continuación, y se conforma el gas caliente (H) que a continuación se descomprime mientras circula a
- 20 través de la pieza de turbina (7) dispuesta a continuación,
- que presenta un dispositivo de medición de la temperatura ( $M_{TU}$ ) que registra la temperatura del flujo de aire (L) antes del compresor (3),
- en donde la temperatura del gas caliente se ajusta mediante la cantidad de combustible,
- en donde el dispositivo de medición de la temperatura ( $M_{TU}$ ) se encuentra dispuesto antes del dispositivo de inyección (9),
- 25 **caracterizado porque** la temperatura ( $T_{v1}$ ) del flujo de aire (L) en la entrada (12) del compresor (3), se determina como una temperatura mínima posible ( $T_{wetBulb}$ ), ante la cual se realiza una evaporación suficiente que permite obtener una humedad del aire ( $F_u$ ) del 100 % en la entrada (12) del compresor (3).
- 30 3. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado porque** la temperatura del gas caliente se detecta en la salida (6) de la pieza de turbina (7).
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** antes del dispositivo de inyección (9) se puede determinar la humedad ( $F_u$ ) del flujo de aire (L), mediante dispositivos de medición de la humedad del aire ( $M_{FU}$ ).
- 35 5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la cantidad de líquido inyectado (W) en el flujo de aire (L) se modifica en relación con la evaporación.
6. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** el líquido agua es particularmente agua destilada.
7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** la temperatura ( $T_{v1}$ ) se calcula mediante una función en base a las distribuciones de la temperatura y humedad.
- 40 8. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** las funciones se pueden predeterminar en forma de diagramas.

FIG 1

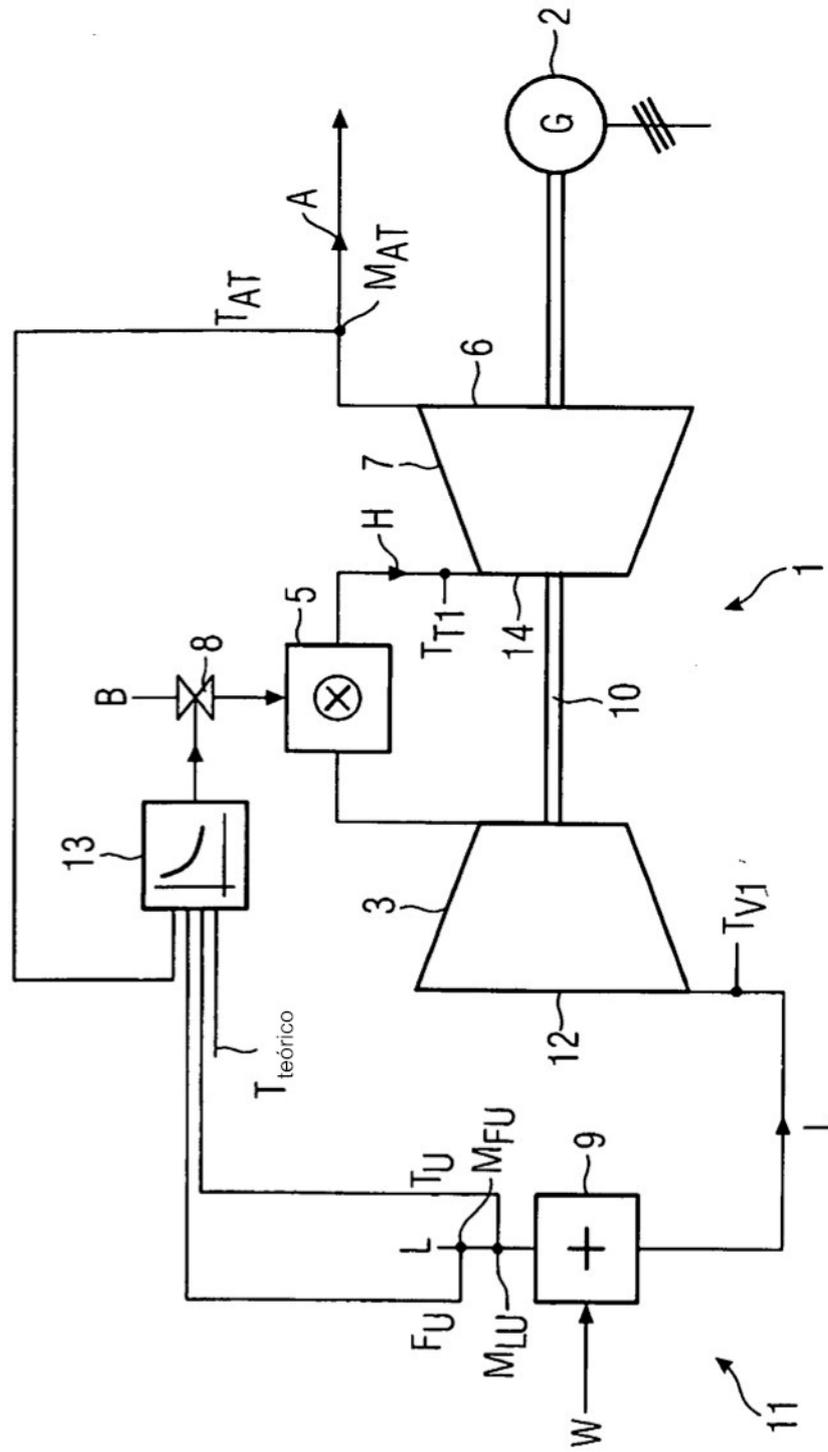


FIG 2

