

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 888**

51 Int. Cl.:

F23R 3/28 (2006.01)

F02C 9/28 (2006.01)

F02C 7/228 (2006.01)

F23R 3/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2008 E 08774944 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2013 EP 2171239**

54 Título: **Procedimiento de funcionamiento de un dispositivo de combustión y dispositivo de combustión para la puesta en práctica del procedimiento**

30 Prioridad:

24.07.2007 CH 11762007

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

06.09.2013

73 Titular/es:

**ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)
BROWN BOVERI STRASSE 7
5400 BADEN, CH**

72 Inventor/es:

**MOHR, WOLFGANG FRANZ DIETRICH;
AUBRY, JÉRÔME ANDRÉ;
STEINBACH, CHRISTIAN y
ULIBARRI, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 421 888 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de funcionamiento de un dispositivo de combustión y dispositivo de combustión para la puesta en práctica del procedimiento.

CAMPO TÉCNICO

- 5 La presente invención se refiere al sector de la técnica de la combustión, especialmente para turbinas de gas. Concierno a un procedimiento de funcionamiento de un dispositivo de combustión según el preámbulo de la reivindicación 1 y a un dispositivo de combustión para la puesta en práctica del procedimiento.

ESTADO DE LA TÉCNICA

- 10 En las cámaras de combustión con varios quemadores que trabajan en paralelo, tales como las que se presentan en turbinas de gas, motores de pistones y calderas, se igualan u homogeneizan las temperaturas de las llamas de los distintos quemadores para maximizar la vida útil y minimizar la expulsión de contaminantes. Esta homogeneización se consigue usualmente en el aspecto constructivo por medio de una estructura lo más idéntica posibles de las distintas cámaras de combustión y de su alimentación de combustible. No obstante, en la instalación realizada se tiene que, debido a la cooperación de diferencias topológicas y algunas desviaciones condicionadas por las tolerancias, resultan parcialmente diferencias de temperatura entre los quemadores que están por encima del valor tolerado.

- 15 Estas diferencias condicionadas por la fabricación entre los distintos quemadores pueden corregirse por medio de una sola homogeneización. A este fin, se miden las temperaturas de las llamas de los distintos quemadores y se compensan éstas por medio de una estrangulación pasiva de las alimentaciones de combustible (véase, por ejemplo, el documento WO-A1-2005/010437). Como método de medida para determinar la temperatura de la llama están disponibles actualmente los métodos conocidos siguientes:

- El cálculo de la temperatura diabática de la llama con ayuda de mediciones espectroscópicas (véase, por ejemplo, el documento US-A-6,318,891).
- Por medición indirecta a través de
 - 25 o la temperatura de la pared del quemador
 - o la expulsión de NO_x del quemador
 - o el contenido de CO₂ u O₂ del gas de combustión (sonda lambda).

La medición de la temperatura se realiza a través de la intensidad de la quimiluminiscencia de la llama, por ejemplo la quimiluminiscencia de las moléculas de NO_x (véase, por ejemplo, el documento US-A-5,670,784).

- 30 El proceso de optimización fracasa frecuentemente en la práctica a causa del gran número de quemadores a optimizar, eventualmente alojados en varias cámaras de combustión, en los que la temperatura de su llama solo puede determinarse con mucha lentitud. Los métodos anteriormente mencionados para determinar la temperatura de la llama necesitan, salvo el método de la intensidad de la quimiluminiscencia, una duración de medida típica de alrededor de diez segundos hasta un minuto. Este tiempo tiene que compararse con el coste de una homogeneización de un sistema de varios quemadores. Una homogeneización de N quemadores corresponde, en caso de una influenciación mutua de los quemadores, a una optimización de un sistema con N parámetros. El coste de medida para tal optimización se mueve, incluso en el caso de métodos eficientes, dentro del orden de magnitud de N². Esto conduce a que se necesita más de un día para una igualación completa de una instalación con 50 quemadores.
- 40 Se ha previsto muy temprano la determinación de la temperatura con ayuda de la intensidad de la quimiluminiscencia. La intensidad I de la quimiluminiscencia acumulada por la óptica depende de la temperatura T de la llama de conformidad con una ley de Arrhenius modificada:

$$(1) \quad I(T) = A \cdot \Phi_0 \exp\left(\frac{T - T_0}{\tau}\right).$$

- 45 En esta fórmula Φ_0 designa la densidad de radiación de una llama a la temperatura T_0 . Esta intensidad, al igual que el valor característico τ , depende de la composición del combustible y de la presión. No obstante, la intensidad I medida viene determinada también por la transmisividad y la apertura de la óptica, las cuales están combinadas en el parámetro de superficie A. Cuando se conocen todos los parámetros, se puede realizar entonces muy

rápida-mente la determinación de la temperatura con ayuda de la intensidad de la quimiluminiscencia. Incluso en quemadores a presión (30 bares) y a temperaturas de 1200°C es suficiente la intensidad de la quimiluminiscencia para que ésta sea medida con una frecuencia de hasta 10 kHz.

5 En la práctica, la determinación de la temperatura a través de la intensidad de la quimiluminiscencia es inservible, ya que la quimiluminiscencia depende muy sensible-mente de la composición del aire (humedad), la composición del combustible y la presión en la cámara de combustión. Incluso la limitación a dominios de longitudes de onda individuales como OH*, CH* o NO* no aporta aquí ninguna clase de mejora, ya que la dependencia respecto de la composición del combustible aparece con cualquier radical. Además, una determinación de intensidad sufre siempre una pérdida de transmisión de la óptica por efecto del empañamiento que se puede presentar de improviso
10 rápidamente en los procesos de combustión.

Se conocen por el documento EP-A-0 529 900 una turbina de gas y un procedimiento de funcionamiento de la misma en los que se ajusta y regula la relación de combustible-aire para cada uno de un gran número de quemadores por medio de miembros de ajuste determinados en función de valores medidos y de la característica de combustión previamente determinada del respectivo quemador. Esto se consigue especialmente por medio de un llamado controlador IFC que, a través de un elemento de ajuste, ajusta la corriente másica del aire de premezcla para el quemador. No se tiene en cuenta aquí la influenciación mutua de los quemadores.
15

Otras clases de regulación de la alimentación de combustible son conocidas, por ejemplo, por el documento US-A-2004011052 o el documento WO-A-0052315.

PRESENTACIÓN DE LA INVENCION

20 El problema de la invención consiste en crear un procedimiento de funcionamiento de un dispositivo de combustión con una pluralidad de quemadores que conduzca rápidamente a una compensación de las diferencias en los distintos quemadores y, por tanto, lleve rápidamente a un funcionamiento optimizado del dispositivo, así como indicar un dispositivo de combustión adecuado para esto.

25 El problema se resuelve con la totalidad de las características de las reivindicaciones 1 y 11. La invención parte aquí de un sistema con los componentes siguientes, tal como se ilustra en la figura única:

- Un dispositivo de combustión 10 con una o varias cámaras de combustión 11 a regular o a igualar una sola vez y dotadas de varios quemadores B1,...,Bn que son abastecidos de combustible a través de un sistema distribuidor de combustible 18 y que generan unas llamas correspondientes F1,...,Fn.
- Para cada quemador B1,...,Bn, un dispositivo para la determinación directa o indirecta de la temperatura de su llama. En la figura se han dibujado a título de ejemplo para uno de los quemadores (Fn) un equipo de medida de temperatura 12 independiente de la intensidad y un equipo de medida de temperatura 13 que se basa en la intensidad de la quimiluminiscencia.
- Miembros de ajuste tales como toberas regulables, diafragmas, estranguladores, válvulas o reguladores de flujo para regular de manera manual o controlada la alimentación de combustible o la composición del combustible de quemadores individuales o grupos de quemadores, que se simbolizan en la figura por las válvulas V1,...,Vm dispuestas entre la alimentación de combustible 16 y los quemadores B1,...,Bn y competentes para quemadores individuales o grupos de quemadores y por el controlador 17 (el número de miembros de ajuste puede ser aquí diferente del número de quemadores).
- Eventuales captadores de valores de medida tales como sensores, aparatos y dispositivos para determinar la temperatura, la presión, la densidad, el causal, la viscosidad, la conductividad calorífica o bien la composición del combustible, para los cuales se han dibujado a título de ejemplo en la figura los equipos de medida M1 y M2 para el combustible. Otro equipo de medida M3 en forma de una sonda lambda está dispuesto en una salida de gas de escape 14 de la cámara de combustión 11.
- Eventuales unidades de regulación autónomas tales como reguladores de caudal, reguladores de presión, reguladores de temperatura o reguladores para fijar la combustión del combustible, que están representados a título de ejemplo en la figura con un equipo de regulación de combustible 15.
- Un análisis simplificado del sistema de tuberías de la alimentación de combustible que describe la dependencia de los caudales de combustible en función de la posición de los miembros de ajuste y las unidades de regulación autónomas. El análisis del sistema tiene en cuenta también los valores de medida de los eventuales captadores de valores de medida a fin de mejorar el cálculo de los caudales de combustible. Este análisis del sistema puede ejecutarse, por ejemplo, por medio de un cálculo de pérdida de presión en el que se describe el caudal de una válvula por la posición de la válvula y la caída de presión a través de la válvula. El coeficiente de resistencia dependiente de la posición necesario para ello tiene que ser conocido como curva característica de la
50

válvula.

- Un algoritmo para minimizar la expulsión de contaminantes o para homogeneizar las temperaturas de las llamas.

5 Esencial para la invención es el análisis simplificado del sistema en el que se proporciona, para la rápida optimización u homogeneización del dispositivo de combustión, una función de las temperaturas de las llamas de los quemadores en dependencia de las posiciones de los miembros de ajuste del sistema distribuidor de combustible que ha sido calibrada por mediciones de la temperatura de las llamas en varias posiciones prefijadas de los miembros de ajuste del sistema distribuidor de combustible y por medio de las cuales se obtienen y ajustan, con ayuda de la función calibrada, las posiciones de los miembros de ajuste del sistema distribuidor de combustible que son óptimas para una distribución prefijada de las temperaturas de las llamas de los quemadores.

10 Una ejecución del procedimiento según la invención se caracteriza por que el dispositivo de combustión presenta un equipo de medida para determinar las propiedades del combustible, tales como la temperatura, la presión, la densidad, el caudal, la viscosidad, la conductividad calorífica y la composición, y por que los valores de medida del equipo de medida se incorporan como variable en la función de las temperaturas de las llamas.

15 Un perfeccionamiento del procedimiento se caracteriza por que el dispositivo de combustión presenta un equipo de regulación de combustible para la regulación autónoma de las propiedades del combustible, tales como el caudal, la presión, la temperatura o la composición, y por que la función se establece en dependencia de los valores de regulación del equipo de regulación del combustible.

20 Otra ejecución del procedimiento según la invención se caracteriza por que delante de cada quemador está montada en el sistema distribuidor de combustible una válvula con una curva característica fija y por que, para obtener la función, se supone que la temperatura de llama a esperar en el respectivo quemador es proporcional a la afluencia de combustible a través de la válvula antepuesta al mismo.

25 Otra ejecución del procedimiento según la invención se caracteriza por que se miden primeramente las temperaturas de las llamas de los distintos quemadores y por que se homogeneiza el dispositivo de combustión de conformidad con las temperaturas medidas de las llamas.

Otra ejecución del procedimiento según la invención se caracteriza por que se miden primeramente las temperaturas de las llamas de los distintos quemadores y por que se optimiza el dispositivo de combustión de conformidad con las temperaturas medidas de las llamas.

30 Otra ejecución del procedimiento según la invención se caracteriza por que se miden primeramente las temperaturas de las llamas de los distintos quemadores y por que se regula el dispositivo de combustión en cuanto a una optimización continua de conformidad con las temperaturas medidas de las llamas.

En particular, se pueden determinar aquí las temperaturas de las llamas de los distintos quemadores por medio de una medición de la intensidad de la quimiluminiscencia.

35 Es especialmente ventajoso que la medición de la intensidad de la quimiluminiscencia se recalibre a intervalos de tiempo periódicos por medio de un procedimiento independiente de la intensidad para medir la temperatura de la llama, empleándose como procedimiento de recalibración independiente de la intensidad un procedimiento para medir la temperatura de la llama que se basa en una curva característica de caudal de los miembros de ajuste responsables del caudal del combustible.

40 Una ejecución ventajosa del dispositivo de combustión según la invención se caracteriza por que el sistema distribuidor de combustible presenta un equipo de medida de combustible para determinar las propiedades del combustible, tales como la temperatura, la presión, la densidad, el caudal, la viscosidad, la conductividad calorífica y la composición, y un equipo de regulación de combustible para la regulación autónoma de las propiedades del combustible, tales como el caudal, la presión, la temperatura o la composición, los cuales están unidos con el controlador.

45 En particular, cada quemador lleva asociada como miembro de ajuste una válvula para ajustar el caudal de combustible hacia el quemador correspondiente, estando las válvulas unidas con el controlador.

BREVE EXPLICACIÓN DE LAS FIGURAS

50 A continuación, se explicará la invención con más detalle ayudándose de ejemplos de realización en relación con el dibujo. La única figura muestra un esquema de instalación fuertemente simplificado de un dispositivo de combustión según un ejemplo de realización de la invención.

MODOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

5 Dado que las temperaturas de las llamas reaccionan de manera muy sensible a desviaciones sumamente pequeñas de los caudales de combustible y de aire, ni siquiera unos complejos cálculos son suficientes para poder calcular de antemano con suficiente exactitud la temperatura de la llama de un quemador individual. Las desviaciones pueden ser determinadas y corregidas por medio de una medición adicional de la temperatura de la llama. Sin embargo, dado que tales mediciones requieren mucho tiempo, una optimización completa de una instalación con varios quemadores duran a menudo demasiado tiempo para que sea rentable.

Es aquí donde interviene la invención, ya que ésta acelera sensiblemente este proceso de ajuste por medio de dos estrategias:

10 La primera estrategia acorta la determinación de la temperatura de la llama a menos de un segundo y la segunda estrategia acorta el proceso de optimización a una determinación de pocos parámetros para calcular la temperatura de la llama, cuyo número es proporcional al número de quemadores.

Gracias a la combinación de estas dos estrategias el proceso de homogeneización resulta ser tan rápido que la igualación de las temperaturas de las llamas puede efectuarse no solo periódicamente, sino incluso de manera constantemente regulada.

15 La nueva idea para acelerar la determinación de la temperatura de la llama es una medición permanentemente recalibrada de la intensidad de la quimiluminiscencia. En ésta se combina las ventajas de dos métodos de medida ya establecidos. Las desventajas de los métodos de intensidad pueden ser absorbidas por una combinación con una medición de temperatura independiente de la intensidad, con la cual se recalibra la medición de intensidad regularmente, por ejemplo a una cadencia de diez minutos.

20 Por motivos prácticos, se diferencia entre oscilaciones de la intensidad de llamas turbulencias y fluctuaciones de corta duración de la temperatura de la llama. Como oscilaciones se consideran variaciones de la intensidad de la quimiluminiscencia que tienen lugar más rápidamente que una frecuencia límite determinada (aproximadamente 8 Hz en la turbina de gas). Las variaciones más lentas se interpretan como variación de las temperaturas de las llamas. La frecuencia límite se determina aquí por medio del retardo de tiempo a lo largo del trayecto de regulación entre el miembro de ajuste de la alimentación de combustible y la llama. Las frecuencias con periodos inferiores a este retardo de tiempo se interpretan como oscilación.

25 La nueva idea para acelerar la optimización consiste en reducir el sistema, por medio de un análisis completo, a una función analítica F de la clase

$$(2) \quad T = F(s, x, y)$$

30 En esta fórmula T designa un vector N-dimensional que contiene las temperaturas de las llamas de los distintos quemadores. El vector M-dimensional s contiene las posiciones de los miembros de ajuste. Idealmente, existe solamente un miembro de ajuste para cada quemador, con lo que N es igual a M. Sin embargo, en la práctica se elige casi siempre M>N. El vector K-dimensional x incluye los valores de medida de los eventuales captadores de valores de medida, así como los valores de regulación de las eventuales unidades de regulación autónomas. Por tanto, dado que es posible que incluso no se susciten estas magnitudes de medida, la dimensión K puede ser también 0. Asimismo, el análisis del sistema contiene L desviaciones estimadas que se han reunido en el vector L-dimensional y. Éstas pueden ser, por ejemplo, las desviaciones de las diferencias de presión que influyen sobre el caudal. Estas desviaciones desconocidas conducen a que la función F, en el caso de N=M, no pueda resolverse directamente según s. Por este motivo, se tiene que calibrar primeramente el sistema. La calibración se consigue comprobando el sistema en n ajustes diferentes sⁱ. En este caso, se entiende nuevamente por sⁱ el vector M-dimensional de todos los M miembros de ajuste. Para cada vector de ajuste se tiene que determinar ahora el vector de temperatura obtenido Tⁱ junto con los valores de medida de los captadores de valores de medida y los valores de regulación de las unidades de regulación autónomas xⁱ. Con los resultados de medida se pueden establecer entonces las desviaciones y mediante un ensayo ponderado de adaptación X². A este fin, se minimiza la magnitud

$$(3) \quad \chi^2(y) = \sum_{i=1}^n (F(s^i, x^i, y) - T^i)^T V_T^{-1} (F(s^i, x^i, y) - T^i)$$

45 mediante una variación de y. V_T significa aquí la matriz de ponderación N x N-dimensional que resulta de la precisión estadística de la medición de la temperatura. La minimización puede realizarse rápidamente, ya que F es una función analítica cuya derivada se puede calcular. De este modo, por mediación de un método numérico iterativo y un número suficientemente grande de mediciones n·N>L se puede encontrar un y^{min} óptimo. Con y^{min} conocido se ha calibrado el sistema.

50 Con el sistema calibrado se pueden determinar para cualesquiera valores de regulación x las posiciones óptimas

$s_{\min}(x)$ de los miembros de ajuste para las temperaturas deseadas T^h . A este fin, mediante un ensayo de adaptación X^2 se minimiza la magnitud

$$(4) \quad \chi^2(y) = \sum_{i=1}^n (F(s, x, y^{\min}) - T^h)^T V_T^{-1} (F(s, x, y^{\min}) - T^h)$$

5 por medio de una variación de s . El valor numéricamente resultante $s^{\min}(x, T^h)$ suministra entonces las posiciones buscadas.

Resumiendo, la tarea de medida a ejecutar se reduce a $n \cdot N > L$ mediciones de calibración. La optimización propiamente dicha se obtiene entonces sin más mediciones mediante un procedimiento puramente numérico.

A continuación, se explicará este procedimiento con ayuda de un ejemplo simplificado:

10 Se deberá examinar un sistema simplificado sin eventuales sensores ni unidades de regulación autónomas con $K=0$. El sistema deberá constar de N quemadores B_1, \dots, B_N . Delante de cada quemador B_1, \dots, B_N está montada en su alimentación de combustible una válvula $V_1, \dots, V_3; V_{n-2}, \dots, V_n$ con una curva característica fija $\zeta(s)$.

$$(5) \quad \Delta p = \zeta(s) \cdot \frac{\rho}{2} v^2.$$

15 El combustible deberá ser reducido aquí a la presión p_1 a través de un regulador de presión, desde donde se alimenta el combustible a las válvulas $V_1, \dots, V_3; V_{n-2}, \dots, V_n$ a través de un sistema distribuidor. Se desprecian las caídas de presión en este distribuidor. Asimismo, se desprecian las diferencias de presión en la cámara de combustión común 11 con una presión p_2 , de modo que las caídas de presión $p_1 - p_2$ son idénticas para todos los quemadores de la cámara de combustión. Resulta de esto para válvulas de igual construcción con el corte transversal A del tubo que el caudal q es

$$(6) \quad q(s) = A \sqrt{\frac{2\rho(p_1 - p_2)}{\zeta(s)}}.$$

20 Simplificando, se supone ahora que la temperatura de llama a esperar es proporcional a esta afluencia de combustible o que pueden despreciarse términos superiores:

$$(7) \quad T_k = T^r + a \cdot (q(s_k) - q(s^r)) = F_k(s_k).$$

25 En esta fórmula, a suma el poder calorífico del combustible, su calor específico, el calor específico del aire de entrada y el coeficiente de aire de la combustión. La ecuación (7) es la función buscada F del sistema para $y=0$ con la dimensión N . Como desviaciones se utilizan las transmisividades desconocidas de los sensores ópticos.

Se infiere de la ecuación (1) que la temperatura de la llama del k -ésimo quemador (B_k), en base a su intensidad I_k de quimiluminiscencia, es:

$$(8) \quad T_k = T^0 + \tau \ln(I_k) - \tau \ln(A_k \cdot \Phi^0).$$

Si se emplea como temperatura medida

$$(9) \quad T_k' = T^0 + \tau \ln(I_k)$$

30 se puede agregar entonces el último término de la derecha de la ecuación (8) a la función F del sistema de la ecuación (7):

$$(10) \quad T'_k = T^r + a \cdot (q(s_k) - q(s^r)) + \tau \cdot y_k = F'_k(s_k) \text{ mit } y_k = \ln(A_k \Phi^0)$$

en donde el término mit significa con.

La función de calibrado a resolver para F' se obtiene ahora como la suma de las diferentes mediciones i y la suma de las intensidades i_k^i de cada quemador k que se determinaron con los valores de ajuste S_k^i :

$$(11) \quad \chi^2(y) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N (y_{N+1} + y_{N+2} \cdot q(s_k^i) + y_k - \ln(I_k^i))^2$$

5

en donde y_{N+1} agrupa los términos siguientes, que no son linealmente independientes uno de otro

$$(12) \quad y_{N+1} = \frac{T^r - a \cdot q(s^r) - T^0}{\tau},$$

e y_{N+2} describe las dos incógnitas a y τ que solo pueden optimizarse conjuntamente

$$(13) \quad y_{N+2} = \frac{a}{\tau}.$$

10 La ecuación de calibración (11) consiste en un ensayo de adaptación X^2 lineal (L=N+2) dimensional que puede resolverse con métodos algebraicos lineales conocidos según los valores de calibración y^{\min} .

Tan pronto como esté calibrado el sistema o sean conocidos los y_k^{\min} , se pueden determinar las posiciones de las válvulas. A este fin, se tiene que definir la condición de homogeneización de temperaturas de llama idénticas T^h en el ensayo de adaptación X^2 N-dimensional para S:

$$(14) \quad \chi^2(s) = \sum_{k=1}^N \left(\frac{F_k(s) - T^h}{\tau} \right)^2 = \sum_{k=1}^N \left(\frac{T^r + a \cdot (q(s_k) - q(s^r)) - T^h}{\tau} \right)^2.$$

15

Se sigue con las ecuaciones (12) y (13) que:

$$(15) \quad \chi^2(s) = \sum_{k=1}^N \left(y_{N+1}^{\min} + \frac{T^0 - T^h}{\tau} + y_{N+2}^{\min} \cdot q(s_k) \right)^2.$$

Este ensayo de adaptación X^2 tiene la solución:

$$(16) \quad q(s_k) = \frac{T^h - T^0}{a} - \frac{y_{N+1}^{\min}}{y_{N+2}^{\min}}.$$

20 Estos son los valores de caudal a elegir para las válvulas $V_1, \dots, V_3, \dots, V_{m-2}, \dots, V_m$ que homogeneizan del mejor modo posible las temperaturas de las llamas de los quemadores B_1, \dots, B_n en la temperatura T^h . A partir de la curva característica conocida de la válvula (ecuación (6)) se puede calcular finalmente el valor de ajuste buscado S_k .

25 Cabe consignar que en este ejemplo se obtiene realmente la solución que es de esperar. Según los supuestos adoptados, las temperaturas de las llamas se obtienen directamente a partir del caudal de las válvulas $V_1, \dots, V_3, \dots, V_{m-2}, \dots, V_m$. Falta una dependencia o correlación mutua entre los quemadores B_1, \dots, B_n , por lo que la solución anterior puede derivarse también para cada quemador por separado de la función (7) del sistema. Por este

motivo, la calibración de este sencillo sistema corresponde más bien a un tarado de la medición de intensidad en base a posiciones de válvula que determina ciertamente de manera inequívoca la temperatura de la llama de un quemador individual.

5 En general, no es esto lo que ocurre, ya que los quemadores están correlacionados entre ellos a través de la corriente de aire o el sistema distribuidor de combustible. No obstante, en quemadores correlacionados se puede realizar también la calibración de la temperatura de la llama a través de la variación de las unidades de regulación. Como resultado de este ejemplo simplificado se obtiene el fundamento de la idea de un procedimiento de recalibración independiente de la intensidad sobre la base de la curva característica de caudal de los miembros de ajuste, el cual permite calibrar la medición de la intensidad de la quimiluminiscencia por medio de una curva
10 característica de válvula genérica. Asimismo, esta idea puede ser combinada con la optimización para obtener una homogeneización de las llamas que, en el caso de curvas características conocidas de los miembros de ajuste, se realiza por mediciones puras de la intensidad de la quimiluminiscencia. Esta simplificación puede apreciarse en la ecuación (11).

En conjunto, se propone las soluciones siguientes para un sistema de múltiples quemadores:

15 1. Una determinación rápida de la temperatura de las llamas basándose en un cálculo de la temperatura con ayuda de la intensidad de quimiluminiscencia a medir rápidamente y una recalibración periódica con un procedimiento independiente de la intensidad.

2. Una homogeneización acelerada de las llamas basándose en un análisis del sistema y un procedimiento de optimización numérico derivado del mismo.

20 3. La combinación de la medición rápida de la temperatura de las llamas con el procedimiento de optimización acelerado para armonizar sistemas con varios quemadores.

4. La combinación de la medición rápida de la temperatura de las llamas con el procedimiento de optimización acelerado para regular sistemas con varios quemadores.

25 5. Un procedimiento de recalibración independiente de la intensidad basándose en la curva característica de caudal de los miembros de ajuste.

6. Un procedimiento de homogeneización de las llamas de sistemas con varios quemadores ayudándose de la medición de la intensidad de la quimiluminiscencia y basándose en las curvas características de caudal de los miembros de ajuste.

LISTA DE SÍMBOLOS DE REFERENCIA

30	10	Dispositivo de combustión
	11	Cámara de combustión
	12	Equipo de medida de temperatura (independiente de la intensidad)
	13	Equipo de medida de temperatura (intensidad de quimiluminiscencia)
	14	Salida de gas de escape
35	15	Equipo de regulación de combustible (autónomo)
	16	Alimentación de combustible
	17	Controlador
	18	Sistema distribuidor de combustible
	V1,...,Vm	Miembro de ajuste (para la regulación del caudal)
40	B1,...,Bn	Quemador
	F1,...,Fn	Llama
	M1,...,M3	Equipo de medida

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de funcionamiento de un dispositivo de combustión (10) que comprende al menos una cámara de combustión (11) con varios quemadores (B1,...,Bn) que trabajan en paralelo y que generan cada uno de ellos una llama (F1,...,Fn) que penetra en la cámara de combustión (11), en el que cada uno de los quemadores (B1,...,Bn) es abastecido de combustible desde una alimentación de combustible (16) a través de un sistema distribuidor de combustible (18), cuyo sistema distribuidor de combustible (18) comprende miembros de ajuste (V1,...,Vm) para la regulación manual o controlada de la alimentación de combustible y/o la composición de combustible de quemadores individuales (B1,...,Bn) y/o grupos de quemadores (B1,...,B3; Bn-2,...,Bn), **caracterizado** por que el dispositivo de combustión (10) presenta un equipo de medida (M1) para determinar las propiedades del combustible, tales como temperatura, presión, densidad, caudal, viscosidad, conductividad calorífica y composición, el dispositivo de combustión (10) presenta un equipo de regulación de combustible (15) para la regulación automática de las propiedades del combustible, tales como caudal, presión, temperatura o composición, y para la optimización u homogeneización rápida del dispositivo de combustión (10) se proporciona una función F de las temperaturas de las llamas de los quemadores (B1,...,Bn) en dependencia de las posiciones de los miembros de ajuste (V1,...,Vm) del sistema distribuidor de combustible (18), que es una función analítica (F) de la clase $T=F(s,x,y)$, en donde T designa un vector N-dimensional que contiene las temperaturas de las llamas de los distintos quemadores, el vector M-dimensional s contiene las posiciones de los miembros de ajuste, el vector K-dimensional x incluye los valores de medida del equipo de medida y los valores de regulación del equipo autónomo de regulación de combustible, y el vector L-dimensional y contiene desviaciones estimadas, y cuya función (F) ha sido calibrada por mediciones de las temperaturas de las llamas en varias posiciones prefijadas de los miembros de ajuste (V1,...,Vm) del sistema distribuidor de combustible (18), y por que se obtienen y ajustan con ayuda de la función calibrada (F) las posiciones de los miembros de ajuste (V1,...,Vm) del sistema distribuidor de combustible (18) que son óptimas para una distribución prefijada de las temperaturas de las llamas de los quemadores (B1,...,Bn).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que está montada una válvula (V1,...,Vm) con una curva característica fija delante de cada quemador (B1,...,Bn) en el sistema distribuidor de combustible (18) y por que, para la obtención de la función (F), se supone que la temperatura de la llama a esperar en el respectivo quemador (B1,...,Bn) es proporcional a la afluencia de combustible a través de la válvula antepuesta al mismo.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que se miden primeramente las temperaturas de las llamas (F1,...,Fn) de los distintos quemadores (B1,...,Bn) y por que se homogeneiza el dispositivo de combustión (10) de conformidad con las temperaturas medidas de las llamas.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que se miden primeramente las temperaturas de las llamas (F1,...,Fn) de los distintos quemadores (B1,...,Bn) y por que se optimiza el dispositivo de combustión (10) de conformidad con las temperaturas medidas de las llamas.
5. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que se miden primeramente las temperaturas de las llamas (F1,...,Fn) de los distintos quemadores (B1,...,Bn) y por que se regula el dispositivo de combustión (10) en cuanto a una optimización continua de conformidad con las temperaturas medidas de las llamas.
6. Procedimiento según la reivindicación 4 ó 5, **caracterizado** por que se determinan las temperaturas de las llamas (F1,...,Fn) de los distintos quemadores (B1,...,Bn) mediante una medición de la intensidad de la quimiluminiscencia.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado** por que se recalibra la medición de la intensidad de la quimiluminiscencia a intervalos de tiempo periódicos por medio de un procedimiento independiente de la intensidad para medir la temperatura de la llama.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** por que se emplea como procedimiento de recalibración independiente de la intensidad un procedimiento para medir la temperatura de la llama que se basa en una curva característica de caudal de los miembros de ajuste responsables del caudal de combustible.
9. Dispositivo de combustión (10) para la puesta en práctica del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, cuyo dispositivo de combustión (10) comprende una cámara de combustión (11) con varios quemadores (B1,...,Bn) que trabajan en paralelo y que generan cada uno de ellos una llama (F1,...,Fn) que penetra en la cámara de combustión (11), en el que cada uno de los quemadores (B1,...,Bn) está conectado a una alimentación de combustible (16) a través de un sistema distribuidor de combustible (18), cuyo sistema distribuidor de combustible (18) comprende miembros de ajuste (15; V1,...,Vn) para la regulación manual o controlada de la alimentación de combustible y/o la composición de combustible de quemadores individuales (B1,...,Bn) y/o grupos de quemadores (B1,...,B3; Bn-2,...,Bn), **caracterizado** por que los miembros de ajuste (15; V1,...,Vn) son controlados por un controlador (17) de conformidad con una función (F) de las temperaturas de las llamas de los quemadores (B1,...,Bn) en dependencia de las posiciones de los miembros de ajuste (15; V1,...,Vn) del sistema distribuidor de combustible (18), cuya función (F) es una función analítica de la clase $T=F(s,x,y)$, en donde T designa un vector N-dimensional que contiene las temperaturas de las llamas de los distintos quemadores, el vector M-dimensional s contiene las posiciones de los miembros de ajuste, el vector K-dimensional x incluye los valores de medida del equipo de medida

y los valores de regulación del equipo autónomo de regulación de combustible y el vector L-dimensional y contiene desviaciones estimadas.

- 5 10. Dispositivo de combustión según la reivindicación 9, **caracterizado** por que el sistema distribuidor de combustible (18) presenta un equipo de medida de combustible (14) para determinar las propiedades del combustible, tales como temperatura, presión, densidad, caudal, viscosidad, conductividad calorífica y composición, y un equipo de regulación de combustible (15) para la regulación autónoma de las propiedades del combustible, tales como caudal, presión, temperatura o composición, los cuales están unidos con el controlador (17).
- 10 11. Dispositivo de combustión según la reivindicación 9 ó 10, **caracterizado** por que cada uno de los quemadores (B1,...,Bn) lleva asociada como miembro de ajuste una válvula (V1,...,Vn) para ajustar el caudal de combustible enviado al quemador correspondiente, y por que las válvulas (V1,...,Vn) están unidas con el controlador (17).

