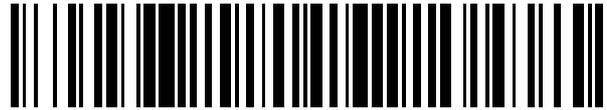


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 417 158**

51 Int. Cl.:

F23R 3/28 (2006.01)

F23R 3/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2009 E 09728642 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2013 EP 2263044**

54 Título: **Ajuste a escala del tamaño de un quemador**

30 Prioridad:

01.04.2008 EP 08006666

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

06.08.2013

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

MILOSAVLJEVIC, VLADIMIR

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 417 158 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

Ajuste a escala del tamaño de un quemador

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a boquillas en un quemador preferiblemente para su uso en motores de turbina de gas, y más particularmente a boquillas en un quemador adaptadas para estabilizar la combustión del motor, y además a un quemador que usa una cámara de combustión piloto para proporcionar productos de combustión para estabilizar la combustión premezclada pobre principal. Se conoce un quemador de turbina de gas que tiene una pluralidad de secciones de boquilla por ejemplo del documento US 5 321 948.

Antecedentes de la técnica

- 10 Se emplean motores de turbina de gas en una variedad de aplicaciones que incluyen la generación de potencia eléctrica, aviación militar y comercial, transmisión por tuberías y transporte marítimo. En un motor de turbina de gas que funciona en modo LPP (*Lean, Premixed, Prevaporized*: pobre, premezclada, prevaporizada), el combustible y el aire se proporcionan a una cámara de quemador en la que se mezclan y encienden por una llama, iniciando así la combustión. Los problemas principales asociados con el proceso de combustión en motores de turbina de gas, además de la eficiencia térmica y el mezclado apropiado del combustible y el aire, están asociados a la estabilización de la llama, la eliminación de pulsaciones y ruido, y el control de emisiones contaminantes, especialmente óxidos de nitrógeno (NO_x), CO, UHC (*Unburned hydrocarbons*: hidrocarburos no quemados), humo y emisiones de partículas.

- 20 En motores de turbina de gas industriales, que funcionan en modo LPP, la temperatura de llama se reduce por una adición de más aire que el requerido para el propio proceso de combustión. El aire en exceso que no reacciona debe calentarse durante la combustión, y como resultado se reduce la temperatura de llama del proceso de combustión (por debajo del punto estequiométrico) desde aproximadamente 2300 K hasta 1800 K y menos. Esta reducción en la temperatura de llama se requiere para reducir significativamente las emisiones de NO_x. Un método que ha mostrado ser el más exitoso para reducir las emisiones de NO_x es hacer el proceso de combustión tan pobre que la temperatura de la llama se reduzca por debajo de la temperatura a la que el nitrógeno y oxígeno diatómicos (N₂ y O₂) se disocian y recombinan para dar NO y NO₂. Comúnmente se usan flujos de combustión con estabilización de remolino en motores de turbina de gas industriales para estabilizar la combustión al desarrollar, tal como se indicó previamente, un flujo de retorno (zona de recirculación inducida por remolino) alrededor de la línea central, por lo que el flujo de retorno devuelve calor y radicales libres de vuelta a la mezcla de combustible y aire no quemada entrante. El calor y los radicales libres del combustible y aire que han reaccionado previamente se requieren para iniciar (pirolizar el combustible e iniciar el proceso de ramificar cadenas) y mantener la combustión estable de la mezcla de combustible y aire sin reaccionar nueva. La combustión estable en los motores de turbina de gas requiere un proceso cíclico de combustión que produce productos de combustión que se transportan de vuelta aguas arriba para iniciar el proceso de combustión. Un frente de llama se estabiliza en una capa de cortadura de la zona de recirculación inducida por remolino. Dentro de la capa de cortadura la "velocidad de llama turbulenta local de la mezcla aire/combustible" tiene que ser mayor que la "velocidad de mezcla aire/combustible local" y puede estabilizarse como resultado del proceso de combustión/frente de llama.

La combustión premezclada pobre es de manera inherente menos estable que la combustión de llama de difusión por las siguientes razones:

- 40 1. La cantidad de aire requerido para reducir la temperatura de llama desde 2300 K hasta 1700-1800 K es aproximadamente el doble de la cantidad de aire requerido para la combustión estequiométrica. Esto hace la relación combustible/aire (Φ) global muy próxima (alrededor o por debajo de 0,5; $\Phi \geq 0,5$) o similar a la relación combustible/aire a la que se produce la extinción pobre de la llama premezclada. Bajo estas condiciones la llama puede extinguirse localmente y encenderse de nuevo de manera periódica.
- 45 2. Cerca del límite de extinción pobre la velocidad de llama de las llamas pobres parcialmente premezcladas es muy sensible a las fluctuaciones de relación de equivalencia. Las fluctuaciones en la velocidad de llama pueden dar como resultado movimientos/fluctuaciones espaciales del frente de llama (zona de recirculación inducida por remolino). Un frente de llama menos estable, sencillo de mover de una llama premezclada da como resultado una tasa de liberación de calor periódica que, a su vez, da como resultado un movimiento de la llama, procesos de dinámica de fluidos no estacionarios y un desarrollo de inestabilidades termoacústicas.
- 50 3. Las fluctuaciones de relación de equivalencia son probablemente el mecanismo de acoplamiento más común para enlazar liberación de calor no estacionaria a oscilaciones de presión no estacionarias.

4. Para hacer la combustión suficientemente pobre, para poder reducir significativamente las emisiones de NOx, casi todo el aire usado en el motor debe atravesar el inyector y tiene que premezclarse con combustible. Por tanto, todo el flujo en los quemadores tiene el potencial de ser reactivo y requiere que se fije el punto en el que se inicia la combustión.
5. Cuando el calor requerido para que se produzcan las reacciones es el factor limitante de estabilidad, fluctuaciones temporales muy pequeñas en las relaciones de equivalencia combustible/aire (que podrían resultar o bien de la fluctuación de flujo de combustible o bien del flujo de aire a través del quemador/inyector) pueden hacer que la llama se extinga parcialmente y se encienda de nuevo.
6. Una razón adicional y muy importante para la disminución de la estabilidad en la llama premezclada es que la pendiente empinada de la mezcla de combustible y aire se elimina del proceso de combustión. Esto hace que se produzca la reacción del combustible de flujo premezclado en cualquier lugar en el que haya una temperatura suficiente. Cuando la llama puede producirse, de manera más sencilla, en posiciones múltiples, se hace más inestable. Los únicos medios para estabilizar una llama premezclada a una posición fija están basados en el gradiente de temperatura producido cuando el combustible premezclado no quemado y el aire se mezclan con los productos de combustión calientes (la llama no puede producirse cuando la temperatura es demasiado baja). Esto deja el gradiente térmico producido por la generación, radiación, difusión y convección de calor como un método para estabilizar la llama premezclada. El calentamiento por radiación del fluido no produce un gradiente agudo; por tanto, la estabilidad debe proceder de la generación, difusión y convección de calor al interior de la zona de reacción previa. La difusión sólo produce un gradiente agudo en el flujo laminar y no flujos turbulentos, dejando que sólo la convección y la generación de energía produzcan los gradientes agudos deseados para la estabilización de llama que en realidad son gradientes de radicales libres y calor. Ambos gradientes de calor y radicales libres, se generan, difunden y sufren una convección por los mismos mecanismos a través de productos de combustión que recirculan dentro de la zona de recirculación inducida por remolino.
7. En flujos premezclados, al igual que los flujos de difusión, la expansión rápida que causa separaciones y flujos de recirculación de remolino se usan ambos comúnmente para producir gradientes de calor y radicales libres al interior del combustible y aire reaccionado previamente.

Un objetivo de la presente invención es presentar una manera de ajustar a escala el tamaño de un quemador.

Sumario de la invención

- Se da a conocer un quemador pobre-rico parcialmente premezclado de bajas emisiones para una cámara de combustión de turbina de gas que proporciona un proceso de combustión y encendido estable en todas las condiciones de carga de motor. Este quemador funciona según el principio de "suministrar" calor y una alta concentración de radicales libres desde un escape de cámara de combustión piloto a una llama principal que arde en un remolino de aire/combustible premezclado pobre, por lo que se apoya una combustión rápida y estable de la llama premezclada pobre principal. La cámara de combustión piloto suministra calor y complementa una alta concentración de radicales libres directamente a un punto de remanso delantero y una capa de cortadura de la zona de recirculación inducida por remolino principal, en la que el flujo premezclado pobre principal se mezcla con gases calientes, productos de combustión proporcionados por la cámara de combustión piloto. Esto permite una mezcla más pobre y temperaturas más bajas de la combustión de remolino de aire/combustible premezclada principal que de otro modo no se mantendría a sí misma en flujos de recirculación con estabilización de remolino durante las condiciones operativas del quemador.

Según un primer aspecto de la invención, en el presente documento se presenta un método para aumentar a escala el tamaño de un quemador caracterizado por las características de la reivindicación independiente 1.

- Según un segundo aspecto de la invención se presenta un quemador aumentado a escala en tamaño según el método de la reivindicación del método independiente.

Aspectos adicionales de la invención se presentan en las reivindicaciones dependientes.

El quemador utiliza:

Un remolino de aire/combustible por encima del índice de turbulencia (Sn) 0,7 (que está por encima del crítico $Sn=0,6$), generado-impartido al interior del flujo por un formador de remolinos radial;

- especies activas - radicales libres de no equilibrio que se liberan cerca del punto de remanso delantero,

tipo particular de la geometría de quemador con un dispositivo de múltiples boquillas, y

división en etapas interior de combustible y aire dentro del quemador para estabilizar el proceso de combustión en todas las condiciones operativas de turbina de gas.

En resumen, el quemador dado a conocer proporciona un proceso de combustión y encendido estable en todas las condiciones de carga de motor. Algunas características importantes relacionadas con el quemador inventivo son:

- 5 la ubicación geométrica de los elementos de quemador;
- la cantidad de combustible y aire dividida en etapas dentro del quemador;
- la cantidad mínima de especies activas - radicales generados y requeridos en condiciones operativas de motor/quemador diferentes; perfil de combustible;
- mezclado de combustible y aire en condiciones operativas de motor diferentes;
- 10 nivel de turbulencia impartido;
- disposición de múltiples boquillas (como mínimo doble boquilla).

15 Para conseguir niveles de emisión lo más bajos posible, un objetivo en este diseño/inención es tener perfiles de mezclado uniformes en la salida de los canales de premezclado pobre. Existen dos zonas de combustión distintas dentro del quemador cubiertas por esta descripción, en las que el combustible se quema simultáneamente en todo momento. Ambas zonas de combustión tienen estabilización de remolino y el combustible y el aire se premezclan antes del proceso de combustión. Un proceso de combustión principal, durante el que se quema más del 90% de combustible, es pobre. Un proceso de combustión de apoyo, que se produce en el interior de la cámara de combustión piloto pequeña, donde se consume hasta el 1% del flujo de combustible total, podría ser pobre, estequiométrico y rico (relación de equivalencia, $\Phi = 1,4$ y mayor).

20 Una diferencia importante entre el quemador dado a conocer y un quemador tal como se presentó en el documento de la técnica anterior es que no se necesita un cuerpo achatado en la cámara de combustión piloto, ya que la presente invención usa un flujo no apagado de radicales dirigido aguas abajo de una zona de combustión de la cámara de combustión piloto a lo largo de una línea central de la cámara de combustión piloto, liberándose dicho flujo de radicales a través del área de apertura total de una garganta de la cámara de combustión piloto en una salida de la cámara de combustión piloto.

30 La razón principal por la que el proceso de combustión de apoyo en la cámara de combustión piloto pequeña podría ser pobre, estequiométrico o rico y proporcionar aún un proceso de combustión y encendido estable en todas las condiciones de carga de motor está relacionada con la eficiencia de combustión. El proceso de combustión, que sucede dentro del piloto de cámara de combustión pequeña, tiene eficiencia baja debido al área superficial alta que da como resultado el apagado de llama sobre las paredes de la cámara de combustión piloto. El proceso de combustión ineficiente, siendo o bien pobre, estequiométrico o bien rico, podría generar una gran acumulación de especies activas - radicales que es necesaria para mejorar la estabilidad de la llama pobre principal y es beneficiosa para un funcionamiento exitoso del presente diseño/inención de quemador (Nota: la llama que se produce en la mezcla de aire/combustible pobre premezclada se denomina llama pobre en el presente documento).

35 Sería muy difícil mantener (pero no encender, porque la cámara de combustión piloto pequeña puede actuar como un inyector de encendido) la combustión en la capa de cortadura de la zona de recirculación principal por debajo de los límites LBO (*Lean Blow Off*, inflamabilidad pobre) de la llama pobre principal (aproximadamente $T > 1350$ K y $\Phi \geq 0,25$). Para el funcionamiento del motor por debajo de los límites LBO de la llama pobre principal, en este diseño de quemador, se usa/proporciona una "división en etapas" adicional de la cámara de combustión pequeña-piloto. El aire que se usa para enfriar las paredes interiores de cámara de combustión piloto pequeña (que se realiza por una combinación de enfriamiento por convección e impacto) y que representa aproximadamente el 5-8% del flujo de aire total a través del quemador, se premezcla con combustible antes del formador de remolinos. Pueden añadirse cantidades de combustible relativamente grandes al aire de enfriamiento de cámara de combustión piloto pequeña que corresponde a relaciones de equivalencia muy ricas ($\Phi > 3$). El aire de enfriamiento arremolinado y el combustible y los productos de combustión calientes desde la cámara de combustión piloto pequeña, pueden mantener de manera muy eficaz la combustión de la llama pobre principal por debajo de, en y por encima de los límites LBO. El proceso de combustión es muy estable y eficiente porque los productos de combustión calientes y el aire de enfriamiento muy caliente (por encima de 750°C), premezclado con combustible, proporcionan calor y especies activas (radicales) al punto de remanso delantero de la zona de recirculación de llama principal. Durante este proceso de combustión, la cámara de combustión piloto pequeña, combinada con aire de enfriamiento muy caliente (por encima de 750°C) premezclado con combustible actúan como un quemador sin llama, en el que los reactivos (oxígeno y combustible) se premezclan con productos de combustión y se establece una llama distribuida en el punto de remanso delantero de la zona de recirculación inducida por remolino.

5 Para permitir una función apropiada y un funcionamiento estable del quemador dado a conocer en la presente solicitud se requiere que el nivel de turbulencia impartido y el índice de turbulencia (ecuación 1) esté por encima del crítico (no menor que 0,6 y no mayor que 0,8) en el que se formará la ruptura de vórtice - zona de recirculación y se situará firmemente dentro de la disposición de múltiples boquillas. El punto de remanso delantero P debe ubicarse dentro de la boquilla y en la salida de la cámara de combustión piloto. Las principales razones para este requisito son:

Si el nivel de turbulencia impartido es bajo y el índice de turbulencia resultante está por debajo de 0,6, para la mayoría de las geometrías de quemador se formará una zona de recirculación débil y puede producirse una combustión inestable.

10 Se requiere una zona de recirculación fuerte para permitir transportar calor y radicales libres desde el combustible y aire quemado previamente, de vuelta aguas arriba hacia el frente de llama. Se requiere una zona de recirculación bien establecida y fuerte para proporcionar una región de capa de cortadura en la que la velocidad de llama turbulenta pueda "coincidir" o ser proporcional a la mezcla de combustible/aire local, y pueda establecerse una llama estable. Este frente de llama establecido en la capa de cortadura de la zona de recirculación principal tiene que ser estacionario y no deben producirse movimientos periódicos o avances del frente de llama. El índice de turbulencia impartido puede ser alto, pero no debe ser mayor que 0,8 porque en, y por encima de este índice de turbulencia se recirculará de vuelta más del 80% de la cantidad total del flujo. Un aumento adicional en el índice de turbulencia no contribuirá más al aumento en la cantidad de la masa recirculada de los productos de combustión, y la llama en la capa de cortadura de la zona de recirculación se someterá a turbulencia y deformación alta lo que puede dar como resultado el apagado y la extinción parcial y el encendido de nuevo de la llama. Puede usarse cualquier tipo de generador de remolinos, radial, axial y axial-radial en el quemador, cubierto por esta descripción. En esta descripción se muestra una configuración de formador de remolinos radial.

25 El quemador utiliza estabilización aerodinámica de la llama y restringe la zona de estabilización de llama, la zona de recirculación, en la disposición de múltiples boquillas. La disposición de múltiples boquillas es una característica importante del diseño del quemador proporcionado por las siguientes razones. La boquilla (o también llamada difusor):

- proporciona un frente de llama (zona de recirculación principal) anclando la llama en una posición definida en el espacio, sin la necesidad de anclar la llama a una superficie sólida/cuerpo achatado, y de esa manera se evitan una alta carga térmica y problemas relacionados con la integridad mecánica del quemador;

30 - la geometría (semiángulo α de boquilla y longitud L) es importante para controlar el tamaño y la forma de la zona de recirculación junto con el índice de turbulencia. La longitud de la zona de recirculación es aproximadamente proporcional a de 2 a 2,5 de la longitud de boquilla;

- la longitud óptima L es del orden de $L/D = 1$ (D es el diámetro de garganta de boquilla). La longitud mínima de la boquilla no debe ser más pequeña que $L/D=0,5$ y no más larga que $L/D=2$;

35 - el semiángulo α de boquilla óptimo no debe ser menor que 20 y mayor que 25 grados, permite un remolino menor antes de una disminución de la estabilidad cuando se compara con un frente de llama menos restringido; y

- tiene la tarea importante de controlar el tamaño y la forma de la zona de recirculación mientras que la expansión de los gases calientes como resultado de la combustión reduce el tiempo de transporte de radicales libres en la zona de recirculación.

40 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una sección transversal simplificada que muestra esquemáticamente el quemador según los aspectos de la invención encerrado en un alojamiento sin ningún detalle que muestre cómo está configurado el quemador dentro de dicho alojamiento.

45 La figura 2 es una sección transversal a través del quemador que muestra esquemáticamente una sección por encima de un eje de simetría, por lo que una rotación alrededor del eje de simetría forma un cuerpo rotacional que muestra un diseño del quemador.

La figura 3 muestra un diagrama de límites de estabilidad de la llama en función del índice de turbulencia, el nivel de turbulencia impartido y la relación de equivalencia.

La figura 4a: muestra un diagrama de aerodinámica de campo cercano de cámara de combustión.

La figura 4b: muestra un diagrama de aerodinámica de campo cercano de cámara de combustión.

La figura 5 muestra un diagrama de intensidad de remolino.

La figura 6 muestra un diagrama de tiempo de relajación en función de la presión de combustión.

La figura 7 ilustra en una vista en perspectiva tubos 15 de combustible en la entrada del formador 3 de remolinos.

5 Realizaciones de la invención

A continuación se describirán varias realizaciones en más detalle con referencia a los dibujos adjuntos.

En la figura 1 el quemador se ilustra teniendo el quemador 1 un alojamiento 2 que encierra los componentes de quemador.

10 La figura 2 muestra por motivos de claridad una vista en sección transversal del quemador por encima de un eje de simetría rotacional. Las partes principales del quemador son el formador 3 de remolinos radial, las múltiples boquillas 4a, 4b, 4c y la cámara 5 de combustión piloto.

15 Tal como se explicó, el quemador funciona según el principio de "suministrar" calor y una alta concentración de radicales libres desde un escape 6 de la cámara 5 de combustión piloto a una llama 7 principal que quema en un remolino de aire/combustible premezclado pobre que sale desde una primera salida 8 de un primer canal 10 de premezclado pobre y desde una segunda salida 9 de un segundo canal 11 de premezclado pobre, por lo que se apoya una combustión rápida y estable de la llama 7 premezclada pobre principal. Dicho primer canal 10 de premezclado pobre está formado por y entre las paredes 4a y 4b de las múltiples boquillas. El segundo canal 11 de premezclado pobre está formado por y entre las paredes 4b y 4c de las múltiples boquillas. La pared 4c con simetría rotacional más externa de las múltiples boquillas está dotada de una extensión 4c1 para proporcionar la longitud
20 óptima de la disposición de múltiples boquillas. Los canales de premezclado pobre primero 10 y segundo 11 están dotados de aletas de formador de remolinos que forman el formador 3 de remolinos para impartir rotación a la mezcla de aire/combustible que pasa a través de los canales.

25 Se proporciona aire 12 a los canales primero 10 y segundo 11 en la entrada 13 de dichos canales primero y segundo. Según la realización mostrada el formador 3 de remolinos está ubicado cerca de la entrada 13 de los canales primero y segundo. Además, se introduce combustible 14 en el remolino de aire/combustible a través de un tubo 15 dotado de orificios 15b de difusor pequeños ubicados en la entrada 13 de aire 12 entre las aletas del formador 3 de remolinos, por lo que el combustible se distribuye al interior del flujo de aire a través de dichos orificios como una pulverización y se mezcla de manera eficaz con el flujo de aire. Puede añadirse combustible adicional a través de un segundo tubo 16 que se adentra en el primer canal 10.

30 Cuando se quema el flujo de aire/combustible premezclado pobre se genera la llama 7 principal. La llama 7 se forma como una capa 18 de cortadura con simetría de rotación cónica alrededor de una zona 20 de recirculación principal (abreviada a continuación a veces como RZ). La llama 7 está encerrada dentro de la extensión 4c1 de la boquilla más externa, en este ejemplo la boquilla 4c.

35 La cámara 5 de combustión piloto suministra calor y complementa una alta concentración de radicales libres directamente a un punto de remanso delantero P y la capa 18 de cortadura de la zona 20 de recirculación inducida por remolino principal, en la que se mezcla el flujo premezclado pobre principal con gases calientes, productos de combustión proporcionados por la cámara 5 de combustión piloto.

40 La cámara 5 de combustión piloto está dotada de paredes 21 que encierran un espacio de combustión para una zona 22 de combustión piloto. Se suministra aire al espacio de combustión a través del canal 23 de combustible y el canal 24 de aire. Alrededor de las paredes 21 de la cámara 5 de combustión piloto hay una placa 25 distribuidora dotada de orificios por la superficie de la placa. Dicha placa 25 distribuidora está separada una cierta distancia de dichas paredes 21 formando una capa 25a de espacio de enfriamiento. Se toma aire 26 de enfriamiento a través de una entrada 27 de enfriamiento y llega al exterior de dicha placa 25 distribuidora, tras lo cual el aire 26 de enfriamiento se distribuye por las paredes 21 de la cámara de combustión piloto para enfriar de manera eficaz
45 dichas paredes 21. Después de dicho enfriamiento se deja salir el aire 26 de enfriamiento a través de un segundo formador 28 de remolinos dispuesto alrededor de una boquilla 29 piloto de la cámara 5 de combustión piloto. Puede añadirse combustible adicional a la combustión en la llama 7 pobre principal suministrando combustible en un conducto 30 dispuesto alrededor y fuera de la capa 25a de espacio de enfriamiento. A continuación se deja salir dicho combustible adicional de, y se introduce en, el segundo formador 28 de remolinos, en el que se premezcla de
50 manera eficaz el aire 26 de enfriamiento ahora caliente y el combustible añadido a través del conducto 30.

Puede añadirse una cantidad relativamente grande de combustible al aire de enfriamiento de la cámara 5 de

5 combustión piloto pequeña que corresponde a relaciones de equivalencia muy ricas ($\Phi > 3$). El aire de enfriamiento arremolinado y el combustible y los productos calientes de combustión de la cámara de combustión piloto pequeña pueden mantener de manera muy eficaz la combustión de la llama 7 pobre principal por debajo de, en y por encima de los límites LBO. El proceso de combustión es muy estable y eficaz porque los productos de combustión calientes y el aire de enfriamiento muy caliente (por encima de 750°C), premezclados con combustible, proporcionan calor y especies activas (radicales) al punto de remanso delantero P de la zona 20 de recirculación de llama principal. Durante este proceso de combustión la cámara 5 de combustión piloto pequeña, combinada con el aire de enfriamiento muy caliente (por encima de 750°C) premezclado con combustible actúan como un quemador sin llama, en el que los reactivos (oxígeno y combustible) se premezclan con productos de combustión y se establece una llama distribuida en el punto de remanso delantero P de la zona 20 de recirculación inducida por el remolino.

15 Para permitir una función apropiada y un funcionamiento estable del quemador 1 dado a conocer en la presente solicitud, se requiere que el nivel de turbulencia impartido y el índice de turbulencia (ecuación 1) esté por encima del crítico (no menor que 0,6 y no mayor que 0,8, véase también la figura 3) en el que se formará la ruptura de vórtice, zona 20 de recirculación, y se situará firmemente dentro de la disposición de múltiples boquillas 4a, 4b, 4c. El punto de remanso delantero P debe ubicarse dentro de la boquilla 4a, 4b, 4c y en la salida 6 de la cámara 5 de combustión piloto. Algunas razones principales para este requisito se mencionaron en el sumario anterior. Una razón adicional es:

20 si el índice de turbulencia es mayor que 0,8, el flujo de remolino se extenderá a la salida de la cámara de combustión, lo que puede dar como resultado un sobrecalentamiento de los álabes de guía posteriores de una turbina.

25 A continuación se presenta un sumario de los requisitos de índice de turbulencia y el nivel de turbulencia impartido. Véanse también las figuras 4a y 4b. El nivel de turbulencia impartido (la relación entre momento tangencial y axial) tiene que ser mayor que el crítico (0,4-0,6), de modo que pueda formarse una zona 20 de recirculación central estable. El índice de turbulencia crítico, SN, también es una función de la geometría de quemador, que es la razón por la que varía entre 0,4 y 0,6. Si el índice de turbulencia impartido es $\leq 0,4$ o en el intervalo de 0,4 a 0,6, la zona 20 de recirculación principal puede no formarse en absoluto o puede formarse y extinguirse periódicamente a frecuencias bajas (por debajo de 150 Hz) y la aerodinámica resultante podría ser muy inestable lo que dará como resultado un proceso de combustión transitorio.

30 En la capa 18 de cortadura de la zona 20 de recirculación estable y estacionaria, con niveles de turbulencia y gradiente de velocidad intensos, puede producirse una estabilización de llama si:

$$\text{velocidad de llama turbulenta (ST)} > \text{velocidad local de la mezcla de aire combustible (UF/A)}$$

35 Los productos de recirculación que son: fuente de calor y especies activas (simbolizado por medio de flechas 1a y 1b), situados dentro de la zona 20 de recirculación, tienen que ser estacionarios en el espacio y tiempo aguas abajo de la sección de mezclado del quemador 1 para permitir la pirólisis de la mezcla entrante de combustible y aire. Si no prevalece un proceso de combustión estacionario, se producirán inestabilidades termoacústicas.

Las llamas con estabilización de remolino son hasta cinco veces más cortas y tienen límites de inflamabilidad significativamente más pobres que las llamas vivas.

Un remolino de combustión de difusión turbulenta o premezclado proporciona una manera eficaz de premezclar combustible y aire.

40 El arrastre de la mezcla de combustible/aire a la capa de cortadura de la zona 20 de recirculación es proporcional a la resistencia de la zona de recirculación, el índice de turbulencia y la velocidad de zona de recirculación característica URZ.

La velocidad de zona de recirculación característica, URZ, puede expresarse como:

$$URZ = UF/A \cdot f(MR, dF/A, \text{cent} / dF/A, SN)$$

45 donde:

$$MR = r_{\text{cent}} (UF/A, \text{cent})^2 / rF/A (UF/A)^2$$

Experimentos (Driscoll1990, Whitelaw1991) han mostrado que

$$\text{Resistencia RZ} = (MR) \exp^{-1/2} (dF/A / dF/A, \text{cent}) (URZ / UF/A) (b / dF/A),$$

y

MR debe ser < 1 .

($dF/A / dF/A,cent$), sólo es importante para llamas de difusión turbulentas.

El tamaño/longitud de las zonas de recirculación son "fijos" y proporcionales a $2-2,5 dF/A$.

- 5 No más de aproximadamente el 80% de la masa recircula de vuelta por encima de $SN = 0,8$ independientemente de cuánto se aumenta adicionalmente SN

La adición de paredes divergentes de boquilla aguas abajo de la garganta del quemador mejora la recirculación (Batchelor 67, Hallet 87, Lauckel 70, Whitelaw 90); y Lauckel 70 ha encontrado que los parámetros geométricos óptimos eran: $\alpha = 20^\circ - 25^\circ$; $L / dF/A, min = 1$ y mayor.

- 10 Esto sugiere que $dboquilla / dF/A = 2 - 3$, aunque la estabilidad de la llama sugiere que se consiguieron límites de inflamabilidad pobres más pobres para valores próximos a 2 (Whitelaw 90).

Experimentos y la experiencia práctica sugieren también que UF/A debe estar por encima de 30-50 m/s para llamas premezcladas debido a los riesgos de retorno de la llama (Proctor 85).

- 15 Si se realiza una etapa de refrentado en la salida de boquilla, entonces se forma la RZ externa. La longitud de la RZ, LERZ externa es habitualmente $2/3 hERZ$.

000

Especies activas - radicales

- 20 En la combustión con estabilización de remolino, el proceso se inicia y estabiliza por medio del transporte de calor y radicales 31 libres desde el combustible y aire previamente quemados, de vuelta aguas arriba hacia el frente 7 de llama. Si el proceso de combustión es muy pobre, como en el caso de los sistemas de combustión premezclada parcialmente pobres, y como resultado la temperatura de combustión es baja, los niveles de equilibrio de los radicales libres también son muy bajos. Además, a altas presiones de motor los radicales libres producidos por el proceso de combustión se relajan rápidamente, véase la figura 6, hasta el nivel de equilibrio que corresponde a la temperatura de los productos de combustión. Esto se debe al hecho de que la tasa de esta relajación de los radicales libres hasta el equilibrio aumenta exponencialmente con el aumento de presión, mientras que por otro lado el nivel de equilibrio de los radicales libres disminuye exponencialmente con una disminución de temperatura. Cuanto mayor es el nivel de radicales libres disponibles para el inicio de la combustión más rápido y estable tenderá a ser el proceso de combustión. A mayores presiones, a las que los quemadores en los motores de turbina de gas modernos funcionan en modo de premezclado parcial pobre, el tiempo de relajación de los radicales libres puede ser corto en comparación con el tiempo de "transporte" requerido para que los radicales libres (simbolizado por las flechas 31) sufran una convección aguas abajo, desde el punto en el que se produjeron en la capa 18 de cortadura de la zona 20 de recirculación principal, de vuelta aguas arriba, hacia el frente 7 de llama y el punto de remanso delantero P de la zona 20 de recirculación principal. Como consecuencia, en el momento en el que el flujo de circulación inversa de los radicales 31 dentro de la zona 20 de recirculación principal ha transportado los radicales 31 libres de vuelta hacia el frente 7 de llama, y cuando empiezan a mezclarse con la mezcla de combustible y aire pobre premezclada "nueva" entrante desde los canales primero 10 y segundo 11 en el punto de remanso delantero P para iniciar/mantener el proceso de combustión, los radicales 31 libres podrían haber alcanzado niveles de equilibrio bajos.

- 40 Esta invención utiliza niveles de no equilibrio altos de radicales 32 libres para estabilizar la combustión 7 pobre principal. En esta invención, la escala de la cámara 5 de combustión piloto pequeña se mantiene pequeña y la mayor parte de la combustión de combustible se produce en la cámara de combustión principal premezclada pobre (en 7 y 18), y no en la cámara 5 de combustión piloto pequeña. La cámara 5 de combustión piloto pequeña puede mantenerse pequeña porque los radicales 32 libres se liberan cerca del punto de remanso delantero P de la zona 20 de recirculación principal. Esta es generalmente la ubicación más eficiente para suministrar adicionalmente calor y radicales libres a la combustión (7) con estabilización de remolino. Como la salida 6 de la cámara 5 de combustión piloto pequeña está ubicada en el punto de remanso delantero P del flujo 20 de recirculación pobre principal, la escala de tiempo entre el apagado y la utilización de radicales 32 libres es muy corta no permitiendo que los radicales 32 libres se relajen hasta niveles de equilibrio bajos. El punto de remanso delantero P de la zona 20 de recirculación pobre principal se mantiene y estabiliza aerodinámicamente en la boquilla (4a), en la salida 6 de la cámara 5 de combustión piloto pequeña. Para garantizar que la distancia y el tiempo desde la combustión pobre, estequiométrica o rica (zona 22), dentro de la cámara 5 de combustión piloto pequeña, sean lo más cortos y directos posible, la salida de la cámara 5 de combustión piloto pequeña está situada en la línea central y en la garganta 33

5 de la cámara 5 de combustión piloto pequeña. En la línea central, en la garganta 33 de la cámara 5 de combustión piloto pequeña, y dentro de la boquilla 4a, los radicales 32 libres se mezclan con los productos de la combustión 31 pobre, mezcla altamente precalentada de combustible y aire, desde el conducto 30 y el espacio 25a, y posteriormente con el combustible 14 y aire 12 premezclados en la capa 18 de cortadura de la zona 20 de recirculación principal pobre. Esto es muy ventajoso para motores de turbina de gas de alta presión que de manera inherente muestran las inestabilidades termoacústicas más graves. Además, como los radicales libres y el calor producidos por la cámara 5 de combustión piloto pequeña se usan de manera eficiente, su tamaño puede ser pequeño y no se requiere el proceso de apagado. La posibilidad de mantener el tamaño de la cámara 5 de combustión piloto pequeño también tiene un efecto beneficioso sobre las emisiones.

10 Geometría de quemador con disposiciones de múltiples boquillas

15 El quemador utiliza la estabilización aerodinámica de la llama y restringe la zona de estabilización de llama - zona de recirculación (5), en la disposición (4a, 4b y 4c) de múltiples boquillas. La disposición de múltiples boquillas (el término múltiples boquillas se usa a veces en el presente documento para múltiples secciones de boquilla que definen la boquilla completada del quemador) es una característica importante del diseño de quemador dado a conocer por las razones enumeradas a continuación. La boquilla (o a veces denominada difusor):

- proporciona un frente 7 de llama (la zona 20 de recirculación principal está anclada sin la necesidad de anclar la llama a una superficie sólida/cuerpo achatado y de este modo se evita una alta carga térmica y problemas relacionados con la integridad mecánica del quemador,
- 20 • la geometría (semiángulo α de boquilla y longitud L) es importante para controlar el tamaño y la forma de la zona 20 de recirculación junto con el índice de turbulencia. La longitud de la zona 20 de recirculación es aproximadamente proporcional a de 2 a 2,5 de la longitud L de boquilla,
- la longitud óptima es del orden de $L/D = 1$ (D es el diámetro de garganta de boquilla). La longitud mínima de la boquilla no debe ser más pequeña que 0,5 y no más larga que 2 (Ref1: *The influence of Burner Geometry and Flow Rates on the Stability and Symmetry of Swirl-Stabilized Nonpremixed Flames*; V. Milsavljevic et al; Combustion and Flame 80, páginas 196-208, 1990),
- 25 • el semiángulo α de boquilla óptimo (Ref1), no debe ser menor que 20 y mayor que 25 grados,
- permite un índice de turbulencia menor antes de una disminución en la estabilidad, cuando se compara con un frente de llama menos restringido,
- 30 • es importante controlar el tamaño y la forma de la zona de recirculación debido a la expansión como resultado de la combustión y reduce el tiempo de transporte de radicales libres en la zona de recirculación.

Ajuste a escala del quemador

La boquilla (o difusor) y el remolino impartido proporcionan la posibilidad de un ajuste a escala simple de la geometría de quemador dada a conocer para diferentes potencias de quemador.

Para reducir a escala el tamaño del quemador (ejemplo):

- 35 • Debe retirarse el canal 11 y por tanto la envolvente que forma la sección 4c de boquilla debe sustituir la envolvente que previamente formaba la sección 4b de boquilla, que se elimina; la geometría de la sección 4c de boquilla debe ser igual que la geometría de la sección 4b de boquilla previamente existente.
- El índice de turbulencia en el canal 10 debe ser el mismo.
- Todas las demás partes de quemador deben ser iguales; la división en etapas del combustible dentro del quemador debe ser igual o similar.
- 40

Para aumentar a escala el tamaño del quemador:

- Los canales 10 y 11 deben quedarse como están.
- La sección 4c de boquilla debe diseñarse igual que la sección 4b de boquilla (formada como placa de separación delgada).
- 45 • Un tercer canal nuevo (en el presente documento denominado de manera ficticia 11b y que no se da a conocer)

debe disponerse fuera de, y rodeando, el segundo canal 11 y una nueva sección 4d de boquilla (sólo mostrada en el dibujo de boquilla esquemático de la figura 8) fuera de, y rodeando, el segundo canal 11, formando así una pared externa del tercer canal; la forma de la nueva sección 4d de boquilla debe ser de una forma similar a la forma de la sección 4c de boquilla más externa anterior.

- 5 • El índice de turbulencia en los canales debe ser $S_{N,10} > S_{N, 11} > S_{N, 11b}$, pero deben estar todos por encima de $S_N=0,6$ y no ser mayores que 0,8
- Todas las demás partes de quemador deben ser iguales.
- El funcionamiento del quemador y la división en etapas del combustible dentro del quemador deben quedarse iguales o similares.

10 División en etapas del combustible y funcionamiento del quemador

15 Cuando el encendedor 34, como en los quemadores de la técnica anterior, se sitúa en la zona de recirculación externa, que se ilustra en la figura 4b, la mezcla de combustible/aire que entra en esta región debe enriquecerse a menudo para hacer que la temperatura de la llama sea lo suficientemente caliente para mantener la combustión estable en esta región. Entonces a menudo la llama no puede propagarse hacia la recirculación principal hasta que el flujo de combustible y aire premezclado principal se enriquece y calienta lo suficiente y tiene una acumulación suficiente de radicales libres que se produce a tasas de flujo de combustibles mayores. Cuando la llama no puede propagarse desde la zona de recirculación externa hasta la zona de recirculación principal interna poco después del encendido, debe propagarse a una presión mayor después de que empiece a aumentar la velocidad del motor. Esta transferencia de la iniciación de la llama principal desde el piloto de zona de recirculación externa sólo después de que la presión de la cámara de combustión empiece a aumentar da como resultado una relajación más rápida de los radicales libres hasta niveles de equilibrio bajos, que es una característica no deseada que es contraproducente para el encendido de la llama en el punto de remanso delantero de la zona de recirculación principal. El encendido de la recirculación principal puede no producirse hasta que el piloto aumente suficientemente la temperatura media hasta un nivel en el que los niveles de equilibrio de los radicales libres arrastrados en la zona de recirculación principal y la producción de radicales libres de adición en la mezcla de combustible y aire principal premezclada sean suficientes para encender la zona de recirculación principal. En el proceso de conseguir que la llama se propague desde el exterior hacia la zona de recirculación principal, cantidades significativa de combustible salen del motor sin quemarse desde la mezcla de combustible y aire premezclada principal encendida. Se produce un problema si la llama pasa a la zona de recirculación principal en algún quemador antes que otras en el mismo motor, porque los quemadores en los que las llamas se estabilizan en el interior se queman con más calor puesto que se quema todo el combustible. Esto lleva a una variación de temperatura de un quemador a otro que puede dañar los componentes del motor.

35 La presente invención también permite que el encendido de la combustión 7 principal se produzca en el punto de remanso delantero P de la zona 20 de recirculación principal. La mayor parte de los motores de turbina de gas deben usar una zona de recirculación externa, véase la figura 4b, como la ubicación en la que la chispa, o el inyector de encendido, enciende el motor. El encendido sólo puede producirse si también puede producirse una combustión estable; de otro modo la llama sólo se apagará inmediatamente tras el encendido. La zona 22 de recirculación principal o interna, como en la presente invención, tiene generalmente más éxito a la hora de estabilizar la llama, porque el gas 31 recirculado se transporta de vuelta y el calor desde los productos de combustión del gas 31 recirculado se centra en una región pequeña en el punto de remanso delantero P de la zona 20 de recirculación principal. El frente 7 de llama de combustión también se expande hacia fuera de forma cónica desde este punto de remanso delantero P, tal como se ilustra en la figura 2. Esta expansión cónica aguas abajo permite que el calor y los radicales 32 libres generados aguas arriba apoyen la combustión aguas abajo permitiendo que el frente 7 de llama se ensanche a medida que se mueve aguas abajo. La boquilla (4a, 4b, 4c), ilustrada en la figura 2, en comparación con la combustión con estabilización de remolino sin la boquilla, muestra cómo la boquilla conforma la llama para que sea de naturaleza más cónica y menos hemisférica. Un frente de llama más cónico permite que una fuente puntual de calor inicie la combustión de todo el campo de flujo de manera eficaz.

50 En la presente invención el proceso de combustión dentro del quemador 1 está dividido en etapas. En la primera etapa, la etapa de encendido, se inicia la llama 35 pobre en la cámara 5 de combustión piloto pequeña añadiendo combustible 23 mezclado con aire 24 y encendiendo la mezcla utilizando el encendedor 34. Después de que la relación de equivalencia de encendido de la llama 35 en la cámara 5 de combustión piloto pequeña se ajuste a condiciones o bien pobres (por debajo de la relación de equivalencia 1, y en aproximadamente la relación de equivalencia de 0,8) o ricas (por encima de la relación de equivalencia 1, y en aproximadamente la relación de equivalencia entre 1,4 y 1,6). La razón por la que la relación de equivalencia dentro de la cámara 5 de combustión piloto pequeña está en condiciones ricas en el intervalo entre 1,4 y 1,6 son los niveles de emisión. Es posible funcionar y mantener la llama en el piloto 5 de cámara de combustión pequeño en condiciones estequiométricas (relación de equivalencia de 1), aunque esta opción no se recomienda porque puede dar como resultado niveles de emisión altos y una carga térmica mayor de las paredes 21. El beneficio de funcionar y mantener la llama 35 en la

5 cámara de combustión piloto pequeña en condiciones o bien pobres o bien ricas es que las emisiones y la carga térmica generadas de las paredes 21 son bajas. En la etapa siguiente, una segunda etapa de carga baja, se añade combustible a través del conducto 30 al aire 27 de enfriamiento y se imparte un movimiento de remolino en el formador 28 de remolinos. De este modo la combustión de la llama 7 pobre principal, por debajo de, en y por encima de los límites LBO se mantiene de manera muy eficaz. La cantidad de combustible que puede añadirse al aire de enfriamiento caliente (precalentado a temperaturas muy por encima de 750°C), puede corresponder a relaciones de equivalencia >3.

En la siguiente etapa del funcionamiento del quemador, una tercera parte y etapa de carga de combustible se añade combustible 15a gradualmente al aire 12, que es el flujo de aire principal a la llama 7 principal.

10

REIVINDICACIONES

1. Método para aumentar a escala el tamaño de un quemador (1) de un motor de turbina de gas que comprende un alojamiento (2) de quemador, en el que dicho quemador tiene:
- partes de extremo aguas arriba y aguas abajo axialmente opuestas;
- 5
- en un extremo aguas arriba de dicho quemador (1) combustible (14) y aire (12) proporcionados como una mezcla de aire y combustible desde una salida (8) de un canal (10) de premezclado para mantener una llama (7) principal en el extremo aguas abajo de dicho quemador (1);
- 10
- estando definido dicho canal (10) de premezclado en su salida (8) por una pared interna circular formada por una sección (4a) de boquilla interna y una pared externa circular formada por una sección (4b) de boquilla externa;
- estando el método caracterizado porque comprende las etapas de:
 - aumentar el tamaño del quemador (1) añadiendo una sección (4c) de boquilla por fuera y que rodea dicha sección (4b) de boquilla previamente más externa formando así en un espacio anular entre la sección (4c) de boquilla añadida y la sección (4b) de boquilla externa existente un canal (11) de premezclado añadido definido en su salida (9) por una pared interna circular formada por dicha sección (4b) de boquilla previamente más externa y una pared externa circular formada por la sección (4c) de boquilla añadida;
- 15
- definiendo dichas secciones (4a, 4b, 4c) de boquilla un espacio de combustión para alojar dicha llama (7) principal de dicho quemador (1), teniendo una sección (4c, 4b) de boquilla externa un diámetro mayor que una sección (4b, 4a) de boquilla interna adyacente y extendiéndose por una distancia mayor aguas abajo que la sección (4b, 4a) de boquilla interna adyacente, teniendo cada sección (4a, 4b, 4c) de boquilla la configuración de la envolvente cónica de un cono truncado y distribuyéndose consecutivamente una detrás de otra en el sentido aguas abajo del quemador (1), rodeando una parte lo más estrecha de la envolvente de una sección (4b) de boquilla aguas abajo la parte más ancha de la envolvente de la sección (4a) de boquilla aguas arriba más próxima.
- 20
- 25 2. Método según la reivindicación 1, que incluye además las etapas de:
- aumentar el tamaño del quemador (1) añadiendo una sección (4d) de boquilla por fuera y que rodea dicha sección (4c) de boquilla previamente más externa formando así en un espacio anular entre la sección (4d) de boquilla añadida y la sección (4c) de boquilla externa existente un canal (11b) de premezclado añadido definido en su salida por una pared interna circular formada por dicha sección (4c) de boquilla previamente más externa y una pared externa circular formada por la sección (4d) de boquilla añadida;
- 30
- definiendo dichas secciones (4a, 4b, 4c, 4d) de boquilla un espacio de combustión para alojar dicha llama (7) principal de dicho quemador (1), teniendo una sección (4d, 4c, 4b) de boquilla externa un diámetro mayor que una sección (4c, 4b, 4a) de boquilla interna adyacente y extendiéndose por una distancia mayor aguas abajo que su sección (4c, 4b, 4a) de boquilla interna adyacente.
- 35 3. Método según la reivindicación 2, que incluye además la etapa de:
- disponer los índices de turbulencia de la mezcla de aire/combustible proporcionada a dichos canales (10, 11, 11b) para mantener índices de turbulencia según: $S_N, 10 > S_N, 11 > S_N, 11b$, aunque los índices de turbulencia deben estar todos por encima de $S_N=0,6$ y no ser mayores que $S_N=0, 8$.
- 40 4. Boquilla ajustable a escala en un quemador (1) para un motor de turbina de gas,
- el quemador (1) tiene partes de extremo aguas arriba y aguas abajo axialmente opuestas;
 - el combustible y el aire se mezclan y proporcionan al quemador (1), tras lo cual el combustible se quema en una llama (7) principal del quemador (1),
 - se dispone una boquilla (4a, 4b, 4c) para alojar dicha llama (7) principal,
- caracterizada porque
- 45 - dicha boquilla ajustable a escala se forma de una pluralidad de secciones (4a, 4b, 4c) de boquilla,

ES 2 417 158 T3

- se dispone un canal (10, 11) anular para aire y combustible premezclados entre dos secciones (4a, 4b) de boquilla consecutivas,

- disponiéndose dicha boquilla de modo que pueden añadirse secciones (4c, 4d) de boquilla adicionales a un número existente de al menos dos secciones (4a, 4b) de boquilla, y

5 - disponiéndose dicha boquilla de modo que la sección (4d, 4c) de boquilla añadida puede eliminarse hasta que quedan un mínimo de dos secciones (4a, 4b) de boquilla.

2

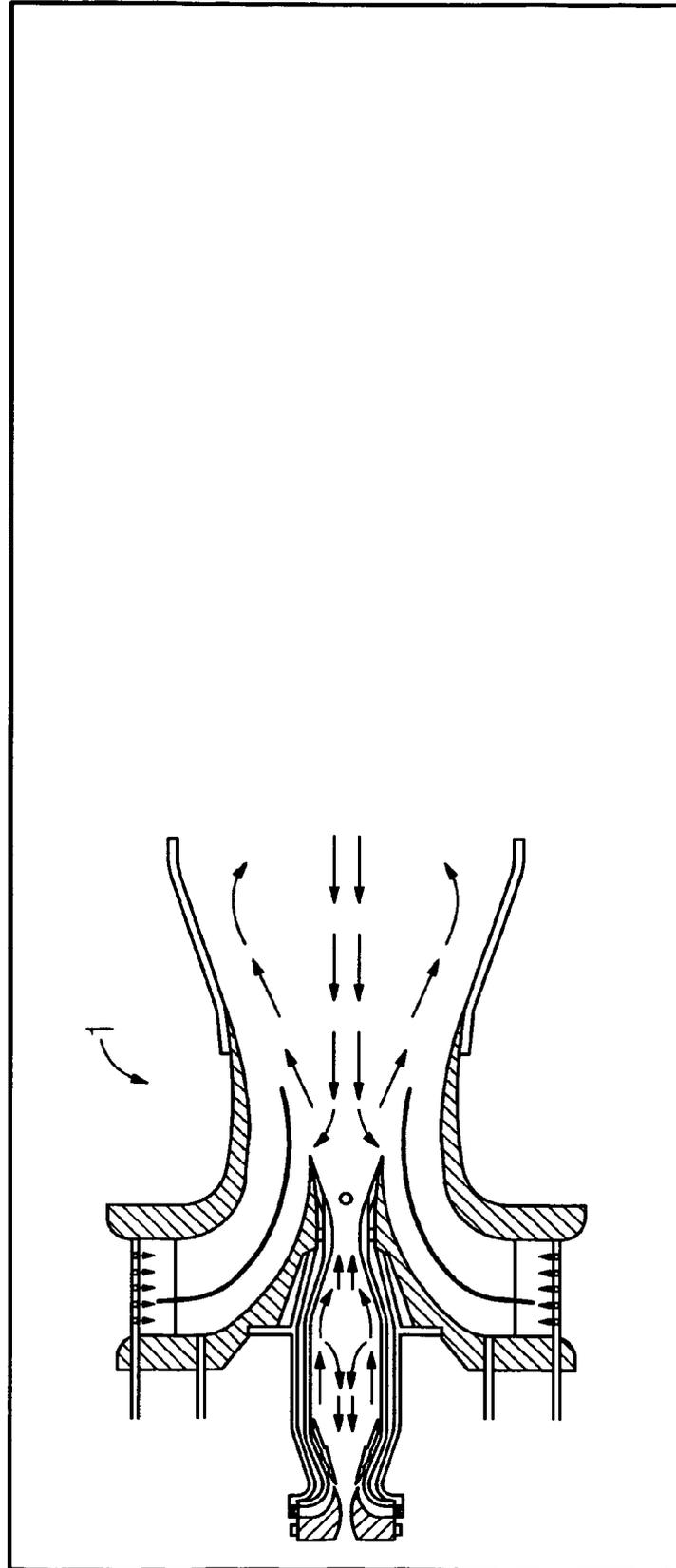


FIG 1

FIG 2

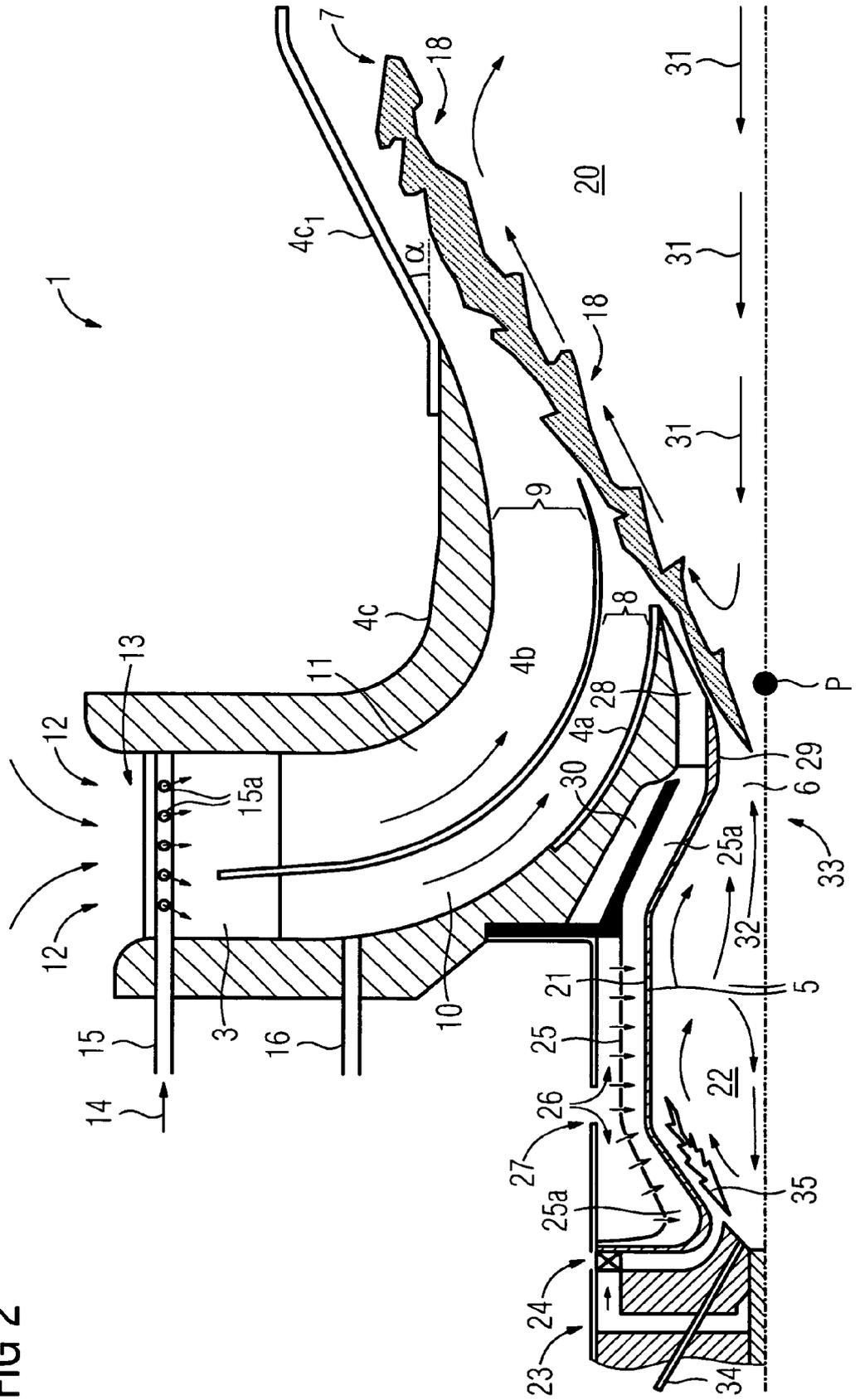


FIG 3

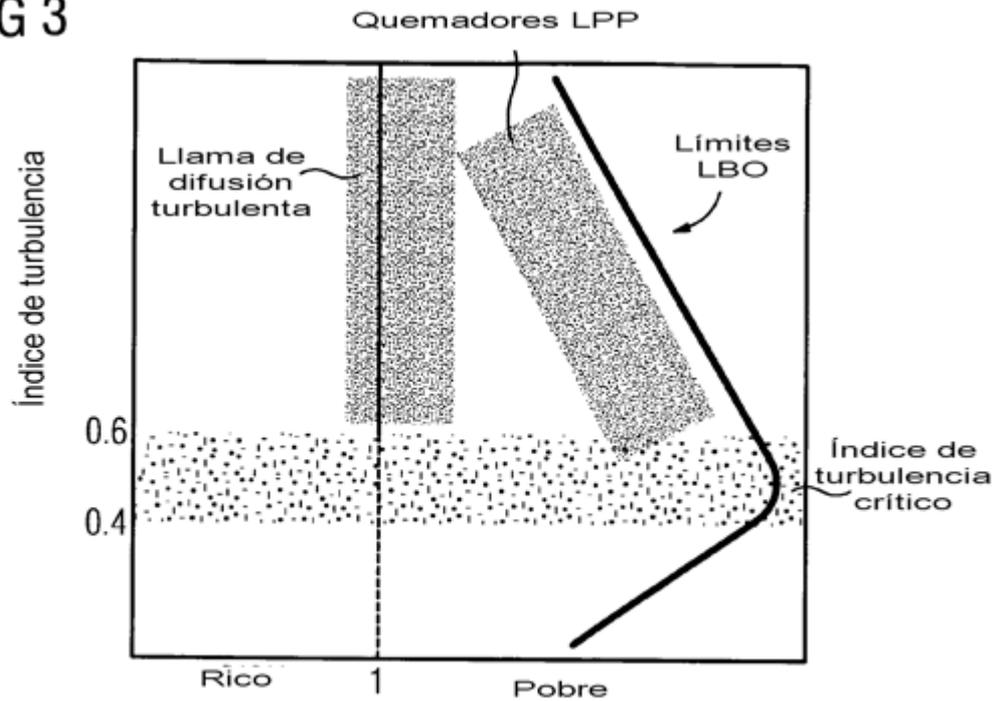


FIG 4a

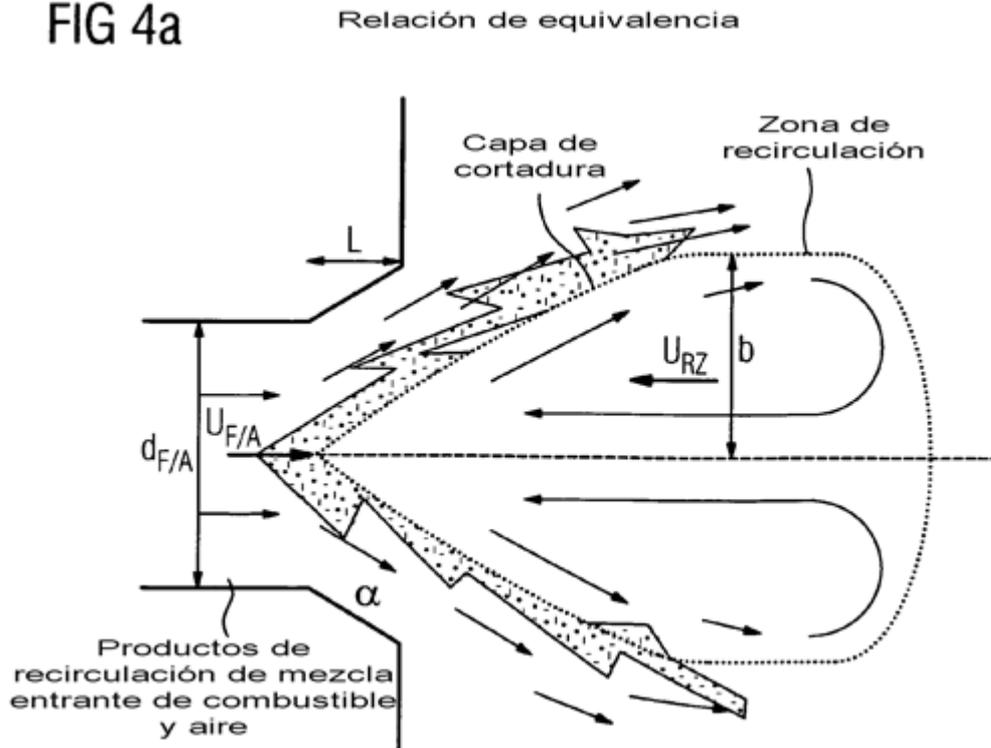


FIG 4b

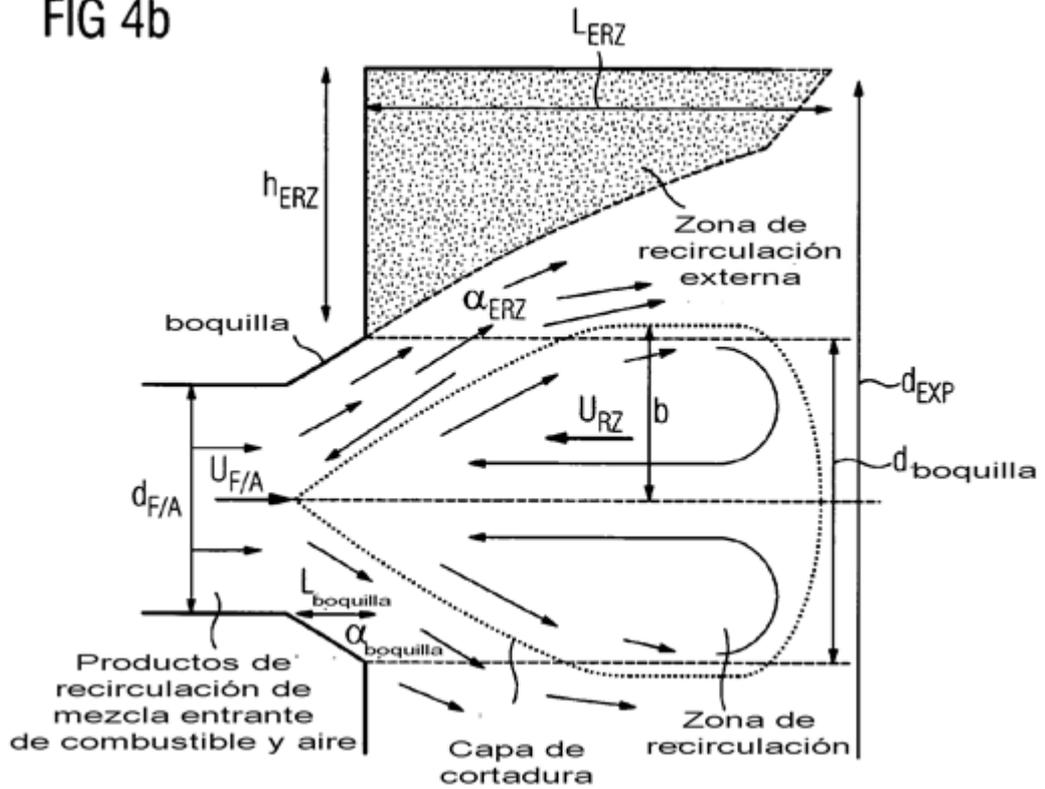


FIG 5

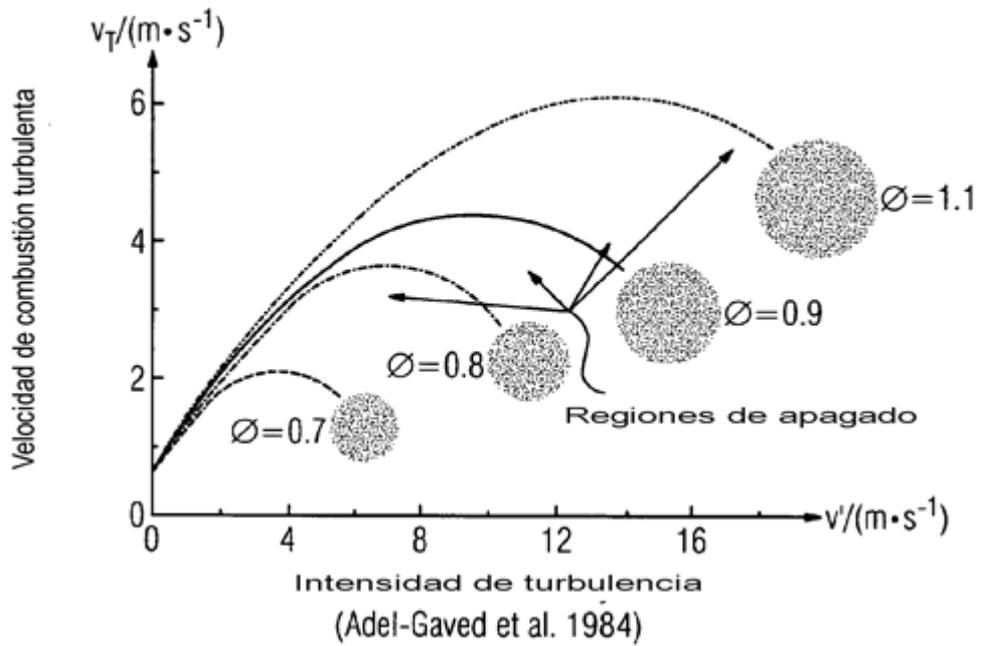


FIG 6

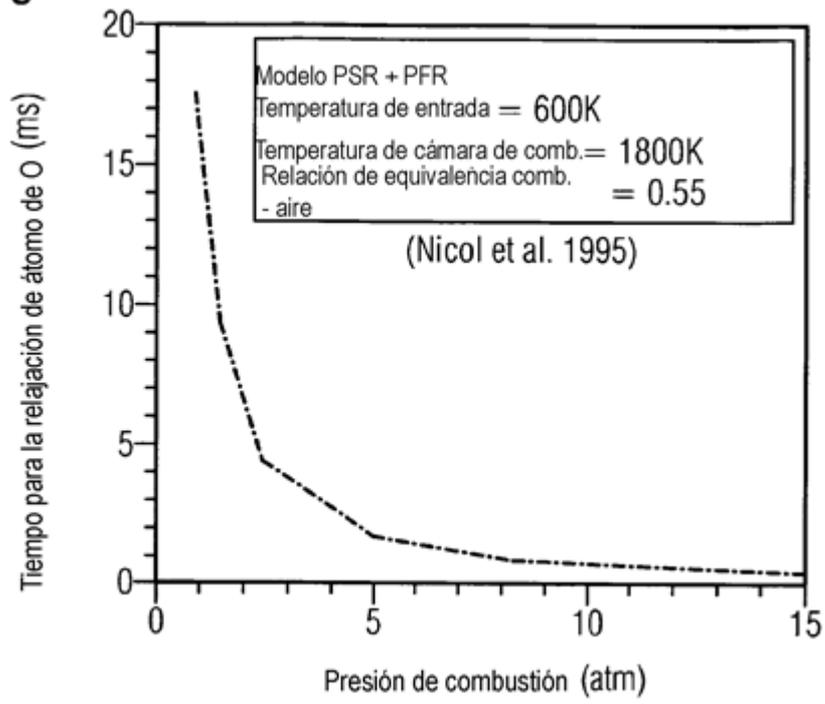


FIG 7

