

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 809 462**

51 Int. Cl.:

F23C 6/04 (2006.01)

F23D 14/70 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.03.2016** E 16159997 (2)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020** EP 3217094

54 Título: **Aparato quemador y método de combustión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.03.2021

73 Titular/es:

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (50.0%)
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, PA 18195-1501, US y
TECHNIP BENELUX B.V. (50.0%)

72 Inventor/es:

RISSEEUW, IZAAK JACOBUS;
KLOOSTERMAN, JEFFREY WILLIAM;
LI, XIANMING JIMMY;
WOLF, ROBERT GREGORY;
HENDERSHOT, REED JACOB y
JEUNINK, FRANCISCUS ARNOLDUS MARIA

74 Agente/Representante:

FERNÁNDEZ POU, Felipe

ES 2 809 462 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

Aparato quemador y método de combustión

5 Generalmente se reconoce que los quemadores de combustible por etapas producen menos emisiones de NOx que los quemadores premezclados, de aire por etapas o sin etapas. La reducción de NOx aumenta con la división en etapas del combustible. La distribución espacial del combustible reduce la intensidad de la combustión y permite un mayor arrastre del gas del horno, ambos de los cuales pueden contribuir a una menor producción de NOx. La cantidad de puntos donde se inyecta combustible y la distancia desde la línea central también tienen un efecto. Sin embargo, mientras que más combustible se divide en etapas y se divide en etapas más lejos de la línea central del quemador, la llama se puede volver más inestable, lo que requiere un piloto o alguna forma de dispositivo de estabilización de llama. Esto es especialmente cierto en condiciones de inicio, donde el ambiente en el cual reside el quemador está frío con relación a las condiciones de operación normales. Es posible que se requieran pilotos internos o externos para estabilizar la llama hasta que el ambiente en el cual se propaga la llama tenga una temperatura suficientemente alta para mantener todas las puntas de combustible encendidas. Además, cuando se somete a ignición el combustible, la llama se debe propagar y encender las puntas de combustible por etapa restantes. Este fenómeno de encender una ubicación de inyección de combustible desde una ubicación de inyección de combustible ya sometida a ignición se conoce como el encendido cruzado. La llama estabilizada y el combustible dividido en etapas deben operar en encendido cruzado para mantener la operación segura y estable del quemador.

20 El encendido cruzado se hace más difícil a medida que la distancia de las puntas de combustible de llama a llama aumenta y a medida que la intensidad de la combustión de cada punta individual disminuye. Una solución que ha intentado abordar el problema del encendido cruzado es el uso de un piloto continuo. Sin embargo, un piloto continuo está diseñado para tener una mayor intensidad de la combustión para asegurar que el combustible dividido en etapas permanezca encendido. Se puede requerir combustible para el piloto, del orden del 5-20 % de la liberación de calor total, para mantener la estabilidad de la llama. Las llamas del quemador piloto generan NOx significativos, lo que puede requerir un equipo reductor aguas abajo para cumplir con las regulaciones ambientales. Una forma de disminuir este efecto es solo hacer funcionar un piloto solo durante el inicio hasta que el horno alcance condiciones que promuevan una combustión más estable, por ejemplo, por encima de la temperatura de autoignición del combustible. Este tipo de piloto se puede denominar lanza de inicio o modo de inicio. Es probable que una lanza o modo de inicio tenga una mayor capacidad que un piloto continuo para acelerar el proceso de calentamiento inicial, de esta manera genera más NOx, pero solo durante un período de tiempo finito. Funcionalmente, esto requiere componentes adicionales para lograr el encendido cruzado deseado para la estabilidad de la llama, lo que aumenta de esta manera el costo del quemador. Operativamente, esto también requiere la intervención humana, controles automatizados y equipos asociados, o ambos, para completar la tarea. Esto aumenta el riesgo de una situación insegura durante el inicio, ya que los errores son una función de la cantidad de etapas en un procedimiento.

40 Eliminar o reducir el piloto, ya sea continuo o de duración finita, puede reducir significativamente la producción de NOx. Además, mantener la estabilidad que imparte el piloto es primordial. Por lo tanto, los quemadores del estado de la técnica equilibran estos dos elementos. Los ejemplos de quemadores que utilizan un dispositivo de estabilización de llama de vórtice a gran escala (LSV) para estabilizar un diseño de quemador de etapa de combustible, se describen en la Patente de Estados Unidos No. 6,773,256 y la Patente de Estados Unidos No. 6,752,620. El estabilizador de llama LSV proporciona una llama extremadamente estable bajo condiciones de operación con alto contenido de oxígeno y pobre en combustible y el quemador LSV puede producir significativamente menos NOx que las tecnologías convencionales sin etapas o con aire por etapas. El estabilizador de llama LSV también produce menos NOx con relación a otros medios de estabilización de llama, por ejemplo, el quemador piloto. Durante el inicio se puede preferir el uso de una lanza de inicio para calentar el horno. Si se desea una lanza de inicio, la fuente de combustible se debe desviar desde las puntas de combustible por etapa externas hacia la lanza de inicio. La lanza de inicio genera significativamente más NOx que el estabilizador de llama LSV o las puntas de combustible por etapa. Es deseable limitar o eliminar la lanza de inicio para minimizar las emisiones de NOx. La válvula de 3 vías se debe girar después del inicio para pasar del modo de inicio inicial al modo de bajo NOx. La válvula y las tuberías asociadas agregan costos al quemador, así como también las etapas adicionales que el personal operativo debe asumir al encender los quemadores. Esto puede ser tolerable para un solo quemador, pero se puede necesitar realizar la transición de varios a más de cien quemadores en un corto período de tiempo en aplicaciones de proceso.

55 Como se describe en la Patente de Estados Unidos No. 2,052,869, un fenómeno de fluido conocido como el efecto Coanda incluye un efecto de desequilibrio en el flujo de un fluido circundante inducido por una lámina o corriente de fluido que se descarga en él. El efecto permite una desviación de la corriente de fluido que penetra a gran velocidad en otro fluido.

60 El documento CN1038153A, la Patente de Estados Unidos No. 3,419,339 y la Patente de Estados Unidos No. 3,695,820 describen la aplicación del efecto Coanda para premezclar combustible y aire, antes de que la mezcla encuentre un estabilizador de llama aguas abajo de la superficie de Coanda. La llama se estabiliza en una superficie física aguas abajo del punto de mezcla.

65

La Patente de Estados Unidos No. 7,878,798 y sus divisionales, la Patente de Estados Unidos No. 8,337,197, la Patente de Estados Unidos No. 8,529,247 y la Patente de Estados Unidos No. 8,568,134, describen varias formas de arrastrar el gas del horno al bloque quemador para reducir el NOx.

5 La Publicación de la Solicitud de Patente de Estados Unidos No. 2010/021853 utiliza el efecto Coanda para propagar la llama para operar en encendido cruzado las puntas de combustible por etapa para la reducción de NOx. La boca del quemador sobresale en el horno y la superficie de Coanda se encuentra dentro del bloque quemador. El quemador utiliza una llama piloto, la cual se extiende más allá de un cuerpo de farol y se curva mediante el uso del efecto Coanda para operar en encendido cruzado las puntas de combustible divididas por etapas que residen dentro del horno. La llama se propaga a lo largo de un canal dentro del bloque. El piloto de premezcla es convencional, con un estabilizador de llama aguas abajo del piloto. El estabilizador ayuda a anclar la llama dentro de la boca extendida. Ambos elementos carecen de un quemador LSV, ya que el LSV no está contenido por un bloque refractario ni estabilizado por una superficie física. En cambio, es autosuficiente en un LSV por las diferencias de velocidad, lo cual confina la combustión en una llama en forma de rosquilla en el centro del quemador, lejos de la boca refractaria. De hecho, un pasaje grande que permite que el aire fluya a través del quemador existe entre el LSV y las lanzas de combustible por etapas. El aire, en el documento U.S. 2010/021853, se dirige a través del centro de la boca y se desvía hacia los pasajes donde se propagan las llamas, así como también viajan directamente fuera la garganta del quemador.

20 La presente invención se refiere a un sistema de quemador LSV con al menos una superficie de Coanda para dirigir el flujo para operar en encendido cruzado al menos una punta de etapa de combustible.

25 De acuerdo con la invención, el aparato quemador incluye un estabilizador de llama basado en fluidos para descargar una llama estabilizada de este, una boca del quemador y una pluralidad de lanzas de combustible asociada con la boca del quemador. La boca del quemador define un pasaje de flujo principal en ella. El pasaje de flujo principal definido por la boca del quemador tiene un extremo de entrada, un extremo de descarga y una pared que conecta el extremo de entrada con el extremo de descarga y que rodea el pasaje de flujo principal. El estabilizador de llama basado en fluidos está dispuesto operativamente para dirigir la llama estabilizada al pasaje de flujo principal de la boca del quemador. Cada una de la pluralidad de lanzas de combustible tiene una boquilla de descarga. Las boquillas de descarga de la pluralidad de lanzas de combustible se colocan cerca del extremo de descarga del pasaje de la boca del quemador y se separan para distribuir un primer combustible gaseoso cerca del extremo de descarga del pasaje de la boca del quemador. Un primer elemento de Coanda tiene una superficie de Coanda que dirige una porción de la llama estabilizada desde el pasaje de flujo principal definido por la boca del quemador en el extremo de descarga del pasaje de flujo principal hacia al menos una primera lanza de combustible de la pluralidad de lanzas de combustible para operar en encendido cruzado la al menos una primera lanza de combustible.

35 De acuerdo con la invención, un método de combustión incluye suministrar un primer combustible gaseoso a una pluralidad de lanzas de combustible de un aparato quemador y someter a ignición y mantener la combustión de un primer combustible gaseoso mediante el encendido cruzado en las boquillas de descarga de las lanzas de combustible mediante el flujo desde el estabilizador de llama basado en fluidos a lo largo de una superficie de Coanda de un elemento de Coanda hacia las boquillas de descarga.

40 Otros elementos y ventajas de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción más detallada la modalidad preferida, tomada junto con los dibujos acompañantes que ilustran, a manera de ejemplo, los principios de la invención.

45 Los artículos "un" y "una", como se usan en la presente descripción, significan uno o más cuando se aplican a cualquier elemento en las modalidades de la presente invención, descritas en la descripción y las reivindicaciones. El uso de "un" y "una" no limita el significado a un solo elemento, a menos que dicho límite se establezca específicamente. Los artículos "el/la/los/las" que preceden sustantivos en singular o plural o frases nominales denotan un elemento específico particular o elementos específicos particulares y pueden tener una connotación singular o plural en dependencia del contexto en el que se usan. El adjetivo "cualquiera" significa uno, algunos o todos indistintamente, en cualquier cantidad.

55 La frase "al menos una porción" significa "una porción o todo".

Como se usa en la presente descripción, "pluralidad" significa al menos dos.

60 Como se usa en la presente descripción, "superficie de Coanda" significa una superficie curvada de manera convexa en una dirección de flujo de fluido, de manera que el fluido que fluye a lo largo de la superficie se desvía de una dirección de flujo lineal y hacia la dirección de la superficie curva. En la presente solicitud, la superficie de Coanda dirige preferentemente una parte del flujo de fluido desde un pasaje hacia al menos una boquilla de descarga de la punta de etapa de combustible.

65 Como se usa en la presente descripción, "elemento de Coanda" significa cualquier estructura que tenga una superficie de Coanda.

Como se usa en la presente descripción, "estabilizador de llama basado en fluidos" es cualquier dispositivo en donde uno o más fluidos se introducen en un ducto a través de al menos dos boquillas a diferentes velocidades de los fluidos y se forma un vórtice de flujo (eddy) dentro del ducto debido a la diferencia en las velocidades de los fluidos. En algunas modalidades el estabilizador de llama basado en fluidos es un dispositivo de estabilización de llama de vórtice a gran escala (LSV). Un estabilizador de llama LSV ilustrativo se describe en la Patente de Estados Unidos No. 6,773,256. En otras modalidades, se pueden usar otros métodos y dispositivos de estabilización de llama, que incluyen, pero no se limitan a, la premezcla de combustible y oxidante, una mezcla inductora del cuerpo de farol y una superficie caliente que inicia y propaga una llama.

Como se usa en la presente descripción, un ducto es cualquier tubería, tubo, conducto o canal que sea capaz de transportar un gas.

Con fines de simplicidad y claridad, se omiten descripciones detalladas de dispositivos, circuitos y métodos bien conocidos para no oscurecer la descripción de la presente invención con detalles innecesarios.

La presente invención proporciona un sistema y método de quemador LSV que mejora la estabilidad para una combustión extremadamente pobre en combustible, elimina la necesidad de un modo de inicio que incluye una lanza de inicio o una válvula de 3 vías, mejora la confiabilidad mediante la eliminación de una válvula de 3 vías, elimina la necesidad de un dispositivo físico de retención de llama o un cuerpo de farol para estabilizar la llama, permite el uso de materiales de construcción económicos (por ejemplo, acero al carbono, acero al carbono aluminizado, acero inoxidable o aleaciones de acero de alta temperatura más caras), simplifica la fabricación, permite la separación de las puntas de combustible más lejos del pasaje central, permite más o etapas más profundas del combustible, reduce el contenido de Btu/hr del piloto central necesario para operar en encendido cruzado las puntas del quemador, reduce la posibilidad de daños y un desempeño degradado del quemador, mejora la estabilidad al aumentar el flujo de aire, reduce las temperaturas de las llamas máximas, reduce las emisiones de NOx o sus combinaciones.

La presente invención se refiere a un quemador LSV con al menos un elemento de Coanda que tiene una superficie de Coanda. El quemador LSV puede funcionar como un quemador independiente o como un componente en un quemador de combustión por etapas o un sistema de quemador.

Las modalidades preferidas de la presente invención se describirán ahora con referencia a los dibujos, en los cuales: la Figura 1 es una vista en sección transversal esquemática de un sistema de quemador LSV simétrico en una modalidad de la presente descripción; la Figura 2 es una vista posterior esquemática de un sistema de quemador LSV simétrico en una modalidad de la presente descripción; la Figura 3 es una vista en sección transversal esquemática de un sistema de quemador LSV asimétrico en una modalidad de la presente descripción; la Figura 4 es una vista en sección transversal esquemática de un quemador LSV con una llama en una modalidad de la presente descripción; y la Figura 5 es una vista en sección transversal esquemática de un elemento de Coanda en una modalidad de la presente descripción.

Con referencia ahora a los dibujos, se muestra en la Figura 1 un dispositivo para la estabilización de una llama en un aparato de combustión (o quemador) 10 de acuerdo con la primera modalidad preferida de la presente invención. Aquí, el dispositivo (o aparato) 10 incluye una tubería del oxidante secundario 12 empotrada dentro de una tubería de combustible 14, la cual se empotra adicionalmente dentro de una tubería del oxidante principal externa 16. Un extremo delantero 17 de la tubería del oxidante principal se extiende más allá de un extremo delantero 15 de la tubería de combustible, la cual, a su vez, se extiende más allá de un extremo delantero de la tubería del oxidante secundario 13. Un oxidante principal (como el aire) se introduce axialmente, a una velocidad y caudal relativamente altos a través de un conducto de flujo del oxidante principal hueco 18 que se forma entre la superficie interior 20 de la tubería del oxidante principal 16 y la superficie exterior 22 de la tubería de combustible 14. Un oxidante secundario (como el aire, el cual puede ser el mismo oxidante que el oxidante principal o un oxidante diferente) se dirige a través de la tubería del oxidante secundario 12 (es decir, a través de un conducto del oxidante secundario interior 24) a una velocidad y caudal más bajos. El combustible se dirige a través de un conducto de flujo de combustible hueco 26 formado entre la superficie exterior 28 de la tubería del oxidante secundario y la superficie interior 30 de la tubería de combustible.

Una estructura estabilizadora incluye un pasaje de flujo principal 32 rodeado por un elemento de Coanda 34 que tiene una superficie de Coanda interior 36. El pasaje de flujo principal 32 es un pasaje singular en el cual una llama estabilizada es capaz de ser soportada. En sistemas que tienen múltiples pasajes de flujo, el pasaje de flujo principal 32 es el pasaje que tiene la mayor sección transversal o que soporta el mayor volumen de llama. En una modalidad, el aparato de combustión 10 incluye solo un pasaje singular unitario para soportar la llama estabilizada, el pasaje singular unitario que es el pasaje de flujo principal 32. En otra modalidad el aparato de combustión 10 carece y no incluye pasajes separados o secundarios para redirigir la llama estabilizada. El elemento de Coanda 34 dirige una porción del flujo de fluido desde el pasaje de flujo principal 32 hacia al menos una boquilla de descarga 40 de la punta de etapa de combustible de una lanza de combustible 42 en una boca del quemador 44 dispuesta de manera anular alrededor del extremo de descarga 46 del aparato de combustión 10. El elemento de Coanda 34 se puede extender

como un anillo alrededor de todo el extremo de descarga 46 del aparato de combustión 10 o, alternativamente, se puede extender solo alrededor de una porción del extremo de descarga 46 del aparato de combustión 10, donde el aparato de combustión puede incluir uno o más elementos de Coanda 34 adicionales, como se muestra en la Figura 2.

La vista final de la Figura 2 muestra más claramente los elementos de Coanda 34 y las boquillas de descarga 40 de la punta de etapa de combustible en la boca del quemador 44. El aparato de combustión 10 incluye diez boquillas de descarga 40 y cinco elementos de Coanda 34 separados entre los pares de boquillas de descarga 40 para dirigir el flujo a las boquillas de descarga 40 por medio de las superficies de Coanda 36 para operar en encendido cruzado las boquillas de descarga 40. La tubería del oxidante secundario 12, la tubería de combustible 14, el conducto de flujo del oxidante principal 18, el conducto del oxidante secundario 24 y el conducto de flujo de combustible 26 también son visibles en la vista posterior del aparato de combustión 10. Aunque una cantidad específica y una configuración de los elementos de Coanda 34 y las boquillas de descarga 40 se muestran en la Figura 2, cualquier cantidad y cualquier configuración de los elementos de Coanda 34 y las boquillas de descarga 40 se pueden usar en la presente invención. En algunas modalidades los elementos de Coanda 34 se pueden alinear con las boquillas de descarga 40 en lugar de estar desplazados entre ellas como en la Figura 2. En una modalidad, el aparato de combustión 10 carece y no incluye un cuerpo de farol en o adyacente al extremo de descarga 46 del pasaje de flujo principal 32. Además, en otra modalidad, el aparato de combustión 10 carece y no incluye un cuerpo de farol en o adyacente a los elementos de Coanda 34.

A continuación, se muestra en la Figura 3 un dispositivo para estabilizar una llama en un dispositivo de combustión 50 de acuerdo con la segunda modalidad preferida de la presente invención. El dispositivo para la estabilización 50 incluye un tubería de combustible 52 a través del cual fluye el combustible de una fuente de combustible, empotrado dentro de una tubería más grande, es decir, la tubería del oxidante 54, en la cual se introduce un oxidante (como el aire) de una fuente de oxidante a través de una tubería de alimentación del oxidante 56 en un ángulo que es preferentemente perpendicular al flujo de combustible a través de la tubería de combustible 52. La tubería del oxidante 54 tiene un extremo delantero de la tubería del oxidante 55 y la tubería de combustible 52 tiene un extremo delantero de la tubería de combustible 53. El extremo delantero de la tubería del oxidante 55 se extiende más allá del extremo delantero de la tubería de combustible 53. El flujo de oxidante se segrega naturalmente en un conducto de flujo del oxidante 58, es decir, un anillo cilíndrico hueco formado entre la superficie exterior 60 de la tubería de combustible y la superficie interior 62 de la tubería del oxidante. El flujo se segrega en un flujo de alta velocidad que es opuesto a la entrada de la tubería de alimentación del oxidante 64 al conducto de flujo del oxidante 58 y en un flujo de baja velocidad adyacente a la entrada de la tubería de alimentación del oxidante 64. Por lo tanto, se satisface el requisito de una corriente de oxidante principal de alta velocidad y una corriente de oxidante secundario de menor velocidad.

Como se muestra en la Figura 1, la estructura estabilizadora incluye un pasaje de flujo principal 32 rodeado por una elemento de Coanda 34 que tiene una superficie de Coanda interior 36. El elemento de Coanda 34 dirige una porción del flujo de fluido desde el pasaje de flujo principal 32 hacia al menos una boquilla de descarga 40 de la punta de etapa de combustible de una lanza de combustible 42 en una boca del quemador 44 dispuesta de manera anular alrededor del extremo de descarga 46 del aparato de combustión 50. El elemento de Coanda 34 se puede extender como un anillo alrededor de todo el extremo de descarga 46 del aparato de combustión 10 o, alternativamente, se puede extender solo alrededor de una porción del extremo de descarga 46 del aparato de combustión 10, donde el aparato de combustión puede incluir uno o más elementos de Coanda 34 adicionales.

El diseño simétrico del dispositivo de la primera modalidad 10 proporciona una caída de presión menor que la segunda modalidad asimétrica 50 y elimina el impacto directo de la llama en un quemador y el calentamiento desigual del horno inherente al diseño asimétrico. Las temperaturas relativamente bajas experimentadas por cualquiera de las modalidades de la presente invención permiten la construcción mediante el uso de materiales comunes y económicos.

Como se muestra en la Figura 4, la división en etapas del combustible de un sistema de quemador 70 se realiza mediante el uso de una configuración de división en etapas circular con múltiples lanzas divergentes 72 instaladas alrededor del dispositivo LSV 74 o el exterior de la boca del quemador 76. Los elementos de Coanda 34 dirigen el fluido hacia las boquillas de descarga 40 para operar en encendido cruzado la etapa de combustible. La llama principal 78 y las llamas de etapa de combustible 80 también se muestran en la Figura 4.

Aunque de la Figura 1 a la Figura 4 se muestra un perfil para una superficie de Coanda interior 36, se pueden usar muchos perfiles de superficie diferentes para lograr el flujo de encendido cruzado en la presente invención. La Figura 5 muestra un perfil alternativo de una superficie de Coanda interior 36 de un elemento de Coanda 34 con un aumento más gradual en el extremo aguas arriba. La elemento de Coanda 34 se extiende desde la boca del quemador 44 para dirigir el flujo hacia la boquilla de descarga 40 de la lanza de combustible 42 para operar en encendido cruzado la etapa de combustible.

La superficie de Coanda 36 se puede formar y ubicar de cualquier manera, de manera que esta dirija al menos una porción de la llama estabilizada desde el pasaje de flujo principal 32 definido por la boca del quemador en el extremo de descarga del pasaje de flujo principal 32 hacia al menos uno de las lanzas de combustible para operar en encendido cruzado esa lanza de combustible. En algunas modalidades, el elemento de Coanda 34 es una parte integral de la

boca del quemador. En otras modalidades, el elemento de Coanda 34 está unido a la boca del quemador. En otras modalidades adicionales, la elemento de Coanda 34 se proporciona como parte de un inserto que se extiende dentro del pasaje de flujo principal 32, de manera que el elemento de Coanda 34 se encuentra adyacente a la boca del quemador o en contacto con la boca del quemador, pero puede o no estar unida físicamente a la boca del quemador.

5 La llama del LSV se mantiene preferentemente pobre en combustible (por ejemplo, $\phi = 0,05$, o 20 veces la cantidad de aire requerida para la combustión estequiométrica, donde ϕ es la relación estequiométrica de combustible-aire) y está anclada en la tubería de combustible LSV. Esta llama se vuelve más estable a medida que aumenta el flujo de aire principal a través del anillo del oxidante externo relativamente estrecho. La llama del LSV tiene una temperatura de llama máxima muy baja, preferentemente menos de $1093\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sim 2000\text{ }^{\circ}\text{F}$) y produce muy bajas emisiones de NO_x . Esto se debe a la excelente mezcla, la prevención de zonas ricas en combustible para la pronta formación de NO_x (como se observa en los soportes de llama tradicionales) y la terminación de la combustión general en condiciones extremadamente pobres en combustible.

15 En este método de división en etapas del combustible, la combustión resultante (por encima de la temperatura de autoignición) se controla mediante la cinética química y mediante la mezcla de chorro de combustible con los gases del horno y el oxidante. El carbono contenido en la molécula de combustible se extrae para completar la oxidación con la corriente de oxidante diluido en lugar de las reacciones pirolíticas de formación de hollín de un flujo de llama tradicional. Aquí se supone que la combustión tiene lugar en dos etapas. En la primera etapa, el combustible se convierte en CO y H_2 en condiciones diluidas y ricas en combustible. Aquí, la dilución suprime las temperaturas de llama máximas y la formación de especies de hollín, las cuales producirían una llama luminosa de cualquier otra manera. En la segunda etapa el CO y el H_2 reaccionan con el oxidante diluido aguas abajo para completar la combustión y formar CO_2 y H_2O . Esta dilución basada en el espacio y la combustión por etapas conducen a un proceso de llenado del espacio donde se utiliza un espacio mucho más grande alrededor de la llama para completar el proceso de combustión general.

Preferentemente, el oxidante es el aire y el gas natural es el combustible. Sin embargo, se puede usar cualquier oxidante apropiado en combinación con cualquier combustible apropiado, como se conoce en la técnica.

30 En el quemador LSV, la llama estabilizada propiamente del LSV se extiende ligeramente fuera del quemador hacia el horno. El aire fluye sobre la superficie de Coanda interior 36, lo que genera una presión más baja con el flujo de la llama que hace que la llama se propague para operar en encendido cruzado las puntas por etapa de combustible. Por lo tanto, el elemento de Coanda 34 propaga la llama. Las lanzas de inicio se pueden eliminar como resultado de la presencia del elemento de Coanda 34. El elemento de Coanda 34 preferentemente no interrumpe de manera activa el flujo de aire dentro del pasaje de flujo principal 32.

35 Para el caso específico de un oxidante como el aire y el gas natural como combustible, varios intervalos óptimos para el flujo (por ejemplo, $V_f = 60,96\text{-}182,88\text{ cm/seg}$ (2-6 pies/seg); $V_{pa} = 914,40\text{-}2743,20\text{ cm/seg}$ (30-90 pies/seg); $V_{sa} = 457,2\text{-}1371,6\text{ cm/seg}$ (15-45 pies/seg - V_f es la velocidad del combustible, V_{pa} es la velocidad del aire principal y la V_{sa} es la velocidad del aire secundario) y los parámetros geométricos (por ejemplo, longitud/diámetro) no dimensionales se han determinado para un diseño cilíndrico de los dispositivos quemadores. Se debe señalar que, aunque el uso de tuberías cilíndricas funciona correctamente de acuerdo con la presente invención, muchas otras formas de tuberías también funcionan correctamente siempre que se suministren las velocidades relativas del combustible y los oxidantes de acuerdo con la presente invención.

45 Una o más superficies curvas del elemento de Coanda 34 proporcionan un flujo exterior para que la llama del LSV interna se propague desde cerca de la línea central del quemador a través de un pasaje de aire y hasta las puntas por etapa de combustible situadas a cierta distancia de la línea central. El pasaje de aire no contiene combustible y, por lo tanto, la llama debe unir el combustible entre el LSV central y las puntas de combustible por etapa para que sea efectivo. La incorporación del elemento de Coanda 34 elimina la necesidad de una lanza de inicio y reduce el requerimiento de combustible del LSV para lograr la misma llama estable, incluso en un ambiente de horno frío.

50 La superficie del elemento de Coanda 34 preferentemente solo tiene una ligera curvatura, lo que induce una presión más baja en la superficie, que provoca que la llama permanezca en la superficie y se propague hacia afuera. Si la curvatura es demasiado grande, el combustible y la llama se separan de la superficie y ya no realiza su función. La superficie crea una llama en forma de cascada que parece fluir hacia fuera hacia las lanzas de combustible por etapas. En algunas modalidades la superficie de Coanda 36 tiene la sección transversal convexa de al menos una porción de un círculo o la forma convexa de al menos una porción de un cilindro. En otras modalidades la superficie de Coanda 36 tiene una forma de sección transversal elíptica convexa. En algunas modalidades, la elemento de Coanda 34 tiene un ancho de aproximadamente 10,16 cm (4 pulgadas).

60 Se puede usar una elemento de Coanda 34 para promover el encendido cruzado de una a todas las lanzas por etapa de combustible en dependencia de la configuración del quemador. Se pueden usar múltiples elementos de Coanda 34 alternativamente para garantizar que el encendido cruzado se realice rápidamente, lo que reduce el riesgo de que entre combustible sin quemar en el horno. La separación y el tamaño de los elementos de Coanda 34 pueden incluir anchos medidos perpendiculares al flujo de fluido que proporcionan el encendido cruzado de las lanzas por etapa de

combustible. Por ejemplo, el ancho del elemento de Coanda 34 puede ser de aproximadamente 5,08 cm (2 pulgadas) a aproximadamente 10,16 cm (4 pulgadas). Igualmente, la separación o la colocación de los elementos de Coanda 34 a lo largo de la superficie del pasaje de flujo principal 32 puede variar. Por ejemplo, la colocación puede estar alineada con las lanzas por etapa de combustible en el pasaje de flujo principal 32 o se puede colocar intermedia a las lanzas por etapas de combustible en el pasaje de flujo principal 32 a distancias suficientes para proporcionar el encendido cruzado de las lanzas por etapas de combustible.

Las superficies de Coanda 36 tienen preferentemente una curvatura suficiente para mantener el flujo de fluido y redirigir el flujo de la llama a la punta del quemador, pero no se curva más allá del límite en el cual el flujo de la llama se separa de la superficie curva. Una curvatura preferida mantiene un flujo laminar de la llama mientras que evita las condiciones que se considera que producirían un "bloqueo" aerodinámico. Una curvatura óptima puede depender de la velocidad de flujo de la llama, las dimensiones del quemador y la cantidad deseada de desviación de la llama. En una modalidad se obtienen resultados particularmente buenos del encendido cruzado y la propagación de llamas para una elemento de Coanda que tiene superficies de Coanda que tienen dimensiones:

longitud igual a la distancia de la boca del quemador 76 exterior al dispositivo LSV 74 y ancho igual a la distancia de la boca del quemador al dispositivo LSV (74).

La mayoría de las aplicaciones de una superficie de Coanda con relación a una llama en la técnica se ve en los quemadores para promover la premezcla de combustible sin quemar y aire antes del punto de ignición.

Tal uso generalmente requiere un soporte de llama u otra estabilización de llama aguas abajo de la superficie. Además, cuando se usa para propagar una llama, la superficie de Coanda se ha restringido al interior de la estructura del bloque quemador en sí y no está expuesta al entorno del horno como un elemento exterior del quemador. El elemento de Coanda 34, descrita en la presente descripción en un quemador LSV, reduce el NOx producido por el quemador al reducir el requerimiento de combustible del LSV. El dispositivo también elimina el capital y las preocupaciones operativas de la lanza de inicio.

Se realizaron experimentos de laboratorio como prueba de concepto y se usó el análisis de la dinámica de fluidos computacional (CFD) para visualizar el efecto de la superficie en los patrones de llama y flujo. Los resultados de ese trabajo se presentan en la siguiente sección.

Ejemplos

La prueba de dos superficies de Coanda en un quemador LSV con solo un 10 % de combustible para el estabilizador de llama LSV en una gama de combustibles confirmó que la superficie aumentó el encendido cruzado, así como también el encendido en un horno frío. Las pruebas se realizaron con gas natural como combustible y con propano como combustible. La inspección visual indicó claramente el efecto de la superficie de Coanda que curva la llama hacia las puntas de combustible por etapa. El encendido cruzado de las puntas se confirmó con las laminillas estabilizadas a menos de 5,08 cm (2 pulgadas) de las puntas de combustible por etapa. Se descubrió que el dispositivo es muy efectivo en un ambiente de horno frío y proporciona una operación de bajo NOx.

En esta prueba inicial, el elemento de Coanda se proporcionó como parte de un dispositivo de paletas de acero al carbono insertado en el pasaje de aire del quemador para formar la superficie usada para estabilizar la llama. Se monitoreó un conjunto de puntos de prueba dentro del quemador con una indicación de que todos eran estables. El quemador LSV probado fue estable en modo de bajo NOx hasta una velocidad de combustión de 2 megavatios (MW) para el propano y el gas natural en una cámara de combustión fría. El encendido y apagado del quemador se probaron a una velocidad de combustión de 200 kilovatios (kW) para el propano y el gas natural en una cámara de combustión fría con un caudal de la corriente de aire de combustión de 124,5 Pa (Columna de agua (wc) de 0,5 pulgadas). Con un caudal de la corriente de aire de combustión más elevado de 249,1 Pa (1 pulgada wc), la velocidad de combustión mínima fue de aproximadamente 700 kW para el propano y el gas natural.

El modelado de la dinámica de fluidos con ordenador confirmó el efecto del ángulo de la superficie de Coanda en su capacidad para dirigir el flujo hasta un ángulo máximo de 90 grados. Los resultados mostraron claramente un aumento en la flexión de las líneas de la corriente a medida que el ángulo se redujo por debajo de los 90 grados.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a ciertos aspectos y modalidades, se entenderá por los expertos en la técnica que se pueden hacer varios cambios y pueden substituirse equivalentes por elementos de esta sin apartarse del alcance de la invención. Además, se pueden hacer muchas modificaciones para adaptar las enseñanzas de la invención sin apartarse de su alcance esencial. Por lo tanto, se pretende que la invención no se limite a la modalidad particular descrita como el mejor modo contemplado para llevar a cabo esta invención, sino que la invención incluirá todas las modalidades que caen dentro del alcance de las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato quemador (10, 50, 70) que comprende:
 un estabilizador de llama basado en fluidos para descargar una llama estabilizada a partir él, en donde el estabilizador de llama es un dispositivo en donde uno o más fluidos se introducen en un ducto a través de al menos dos boquillas a diferentes velocidades de los fluidos y se forma un vórtice de flujo dentro del ducto debido a la diferencia en las velocidades de los fluidos;
 una boca del quemador (44, 76) que define un pasaje de flujo principal (32) en ella, el pasaje de flujo principal (32) que tiene un extremo de entrada, un extremo de descarga (46) y una pared que conecta el extremo de entrada al extremo de descarga (46) y que rodea el pasaje de flujo principal (32), en donde el estabilizador de llama basado en fluidos está dispuesto operativamente para dirigir la llama estabilizada hacia el pasaje de flujo principal (32) de la boca del quemador (44, 76); y
 una pluralidad de lanzas de combustible (42,72) asociadas con la boca del quemador (44, 76), cada una de la pluralidad de lanzas de combustible (42, 72) que tiene una boquilla de descarga (40), las boquillas de descarga (40) de la pluralidad de lanzas de combustible (42, 72) que se posicionan cerca del extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32) de la boca del quemador (44, 76) y separadas para distribuir un primer combustible gaseoso cerca del extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32) de la boca del quemador (44, 76);
 caracterizado porque un primer elemento de Coanda (34) que tiene una superficie de Coanda (36) se configura para dirigir una porción de la llama estabilizada desde el pasaje de flujo principal (32) definido por la boca del quemador (44, 76) en el extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32) hacia al menos una primera lanza de combustible de la pluralidad de lanzas de combustible (42, 72) para operar en encendido cruzado la al menos una primera lanza de combustible, en donde dicha superficie de Coanda se curva de manera convexa en una dirección del flujo de fluido, de manera que el fluido que fluye a lo largo de la superficie se desvía de una dirección de flujo lineal y hacia la dirección de dicha superficie curva.
2. Un aparato quemador de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las boquillas de descarga (40) están ubicadas dentro de los 10 cm (3,94 pulgadas) del extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32) de la boca del quemador (44, 76).
3. Un aparato quemador de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el estabilizador de llama basado en fluidos comprende:
 un primer ducto que tiene un extremo de entrada, un extremo de descarga y una pared que se extiende desde el extremo de entrada del primer ducto hasta el extremo de descarga del primer ducto, la pared que define de esta manera un primer pasaje para pasar un primer gas que contiene oxígeno a través de él;
 un segundo ducto que tiene un extremo de entrada, un extremo de descarga y una pared que se extiende desde el extremo de entrada del segundo ducto hasta el extremo de descarga del segundo ducto, el primer ducto dispuesto parcialmente dentro del segundo ducto, lo que define de esta manera un segundo pasaje entre la superficie exterior del primer ducto y la superficie interior del segundo ducto para pasar un segundo combustible gaseoso a través de él, en donde el extremo de descarga del primer ducto está rebajado del extremo de descarga del segundo ducto; y
 un tercer ducto que tiene un extremo de entrada, un extremo de descarga y una pared que se extiende desde el extremo de entrada del tercer ducto hasta el extremo de descarga del tercer ducto, el segundo ducto dispuesto parcialmente dentro del tercer ducto, lo que define de esta manera un tercer pasaje entre la superficie exterior del segundo ducto y la superficie interior del tercer ducto para pasar un segundo gas que contiene oxígeno a través de él, en donde el extremo de descarga del segundo ducto está rebajado del extremo de descarga del tercer ducto.
4. Un aparato quemador de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el primer combustible gaseoso y el segundo combustible gaseoso tienen la misma composición.
5. Un aparato quemador de acuerdo con la reivindicación 3 o la reivindicación 4, en donde el primer gas que contiene oxígeno y el segundo gas que contiene oxígeno tienen la misma composición.
6. Un aparato quemador de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende además una fuente de gas que contiene oxígeno dispuesta operativamente para dirigir el gas que contiene oxígeno al primer ducto y al tercer ducto.
7. Un aparato quemador de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una fuente de combustible conectada operativamente a la pluralidad de lanzas de combustible (42, 72).
8. Un aparato quemador de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la pluralidad de lanzas de combustible (42,72) pasa a través de la boca del quemador (44, 76).

9. Un aparato quemador de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32) de la boca del quemador (44, 76) tiene una sección transversal circular.
- 5 10. Un aparato quemador de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un segundo elemento de Coanda que se extiende desde la boca del quemador (44, 76), el segundo elemento de Coanda que tiene una superficie de Coanda que se extiende hacia el pasaje de flujo principal (32) de la boca del quemador (44, 76) en el extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32) adyacente a una segunda lanza de combustible de la pluralidad de lanzas de combustible (42, 72) para desviar una porción de la llama estabilizada hacia la boquilla de descarga (40) de la segunda de la pluralidad de lanzas de combustible (42, 72).
- 10 11. Un aparato quemador de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la o cada superficie de Coanda (36) se extiende dentro del pasaje de flujo principal (32) alrededor de solo una porción del perímetro del extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32).
- 15 12. Un aparato quemador de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho aparato carece de pasajes separados o secundarios para redirigir la llama estabilizada.
- 20 13. Un método de combustión que comprende:
 suministrar un primer combustible gaseoso a una pluralidad de lanzas de combustible (42, 72) de un aparato quemador (10, 50, 70), el aparato quemador que comprende:
 un estabilizador de llama basado en fluidos para descargar una llama estabilizada a través de él, en donde dicho estabilizador de fluidos es un dispositivo en donde uno o más fluidos se introducen en un ducto a través de al menos dos boquillas a diferentes velocidades de los fluidos y se forma un vórtice de flujo dentro de dicho ducto debido a la diferencia en las velocidades de los fluidos.
 una boca del quemador (44, 76) que define un pasaje de flujo principal (32) en ella, el pasaje de flujo principal (32) que tiene un extremo de entrada, un extremo de descarga (46) y una pared que conecta el extremo de entrada al extremo de descarga (46) y que rodea el pasaje de flujo principal (32), en donde el estabilizador de llama basado en fluidos está dispuesto operativamente para dirigir la llama estabilizada hacia el pasaje de flujo principal (32) de la boca del quemador (44, 76); y
 la pluralidad de lanzas de combustible (42, 72) asociadas con la boca del quemador (44, 76), cada una de la pluralidad de lanzas de combustible (42,72) que tiene una boquilla de descarga (40), las boquillas de descarga (40) de la pluralidad de lanzas de combustible (42, 72) que se posicionan cerca del extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32) de la boca del quemador y se separan para distribuir el primer combustible gaseoso cerca del extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32) de la boca del quemador (44, 76);
 caracterizado porque un primer elemento de Coanda (34) que tiene una superficie de Coanda (36) dirige una porción de la llama estabilizada desde el pasaje de flujo principal (32) definido por la boca del quemador (44, 76) en el extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32) hacia al menos una primera lanza de combustible de la pluralidad de lanzas de combustible (42, 72) para operar en encendido cruzado al menos una primera lanza de combustible, en donde dicha superficie de Coanda se curva de manera convexa en una dirección del flujo de fluido de manera que el fluido que fluye a lo largo de la superficie se desvía de una dirección de flujo lineal y hacia la dirección de la superficie curva; y caracterizado por someter a ignición y mantener la combustión del primer combustible gaseoso mediante el encendido cruzado en las boquillas de descarga (40) mediante el flujo desde el estabilizador de llama basado en fluidos a lo largo de la superficie de Coanda (36) hacia las boquillas de descarga (40).
- 25 30 35 40 45
- 50 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 13, en donde las boquillas de descarga (40) están ubicadas dentro de los 10 cm (3,94 pulgadas) del extremo de descarga (46) del pasaje de flujo principal (32) de la boca del quemador (44, 76).
- 55 15. Un método de acuerdo con la reivindicación 13 o la reivindicación 14, en donde el estabilizador de llama basado en fluidos comprende:
 un primer ducto que tiene un extremo de entrada, un extremo de descarga y una pared que se extiende desde el extremo de entrada del primer ducto hasta el extremo de descarga del primer ducto, la pared que define de esta manera un primer pasaje para pasar un primer gas que contiene oxígeno a través de él;
 un segundo ducto que tiene un extremo de entrada, un extremo de descarga y una pared que se extiende desde el extremo de entrada del segundo ducto hasta el extremo de descarga del segundo ducto, el primer ducto dispuesto parcialmente dentro del segundo ducto, lo que define de esta manera un segundo pasaje entre la superficie exterior del primer ducto y la superficie interior del segundo ducto para pasar un segundo combustible gaseoso a través de él, en donde el extremo de descarga del primer ducto está rebajado del extremo de descarga del segundo ducto; y
 un tercer ducto que tiene un extremo de entrada, un extremo de descarga y una pared que se extiende desde el extremo de entrada del tercer ducto hasta el extremo de descarga del tercer ducto, el segundo ducto dispuesto parcialmente dentro del tercer ducto, lo que define de esta manera un tercer pasaje entre la superficie
- 60 65

exterior del segundo ducto y la superficie interior del tercer ducto para pasar un segundo gas que contiene oxígeno a través de él, en donde el extremo de descarga del segundo ducto está rebajado del extremo de descarga del tercer ducto.

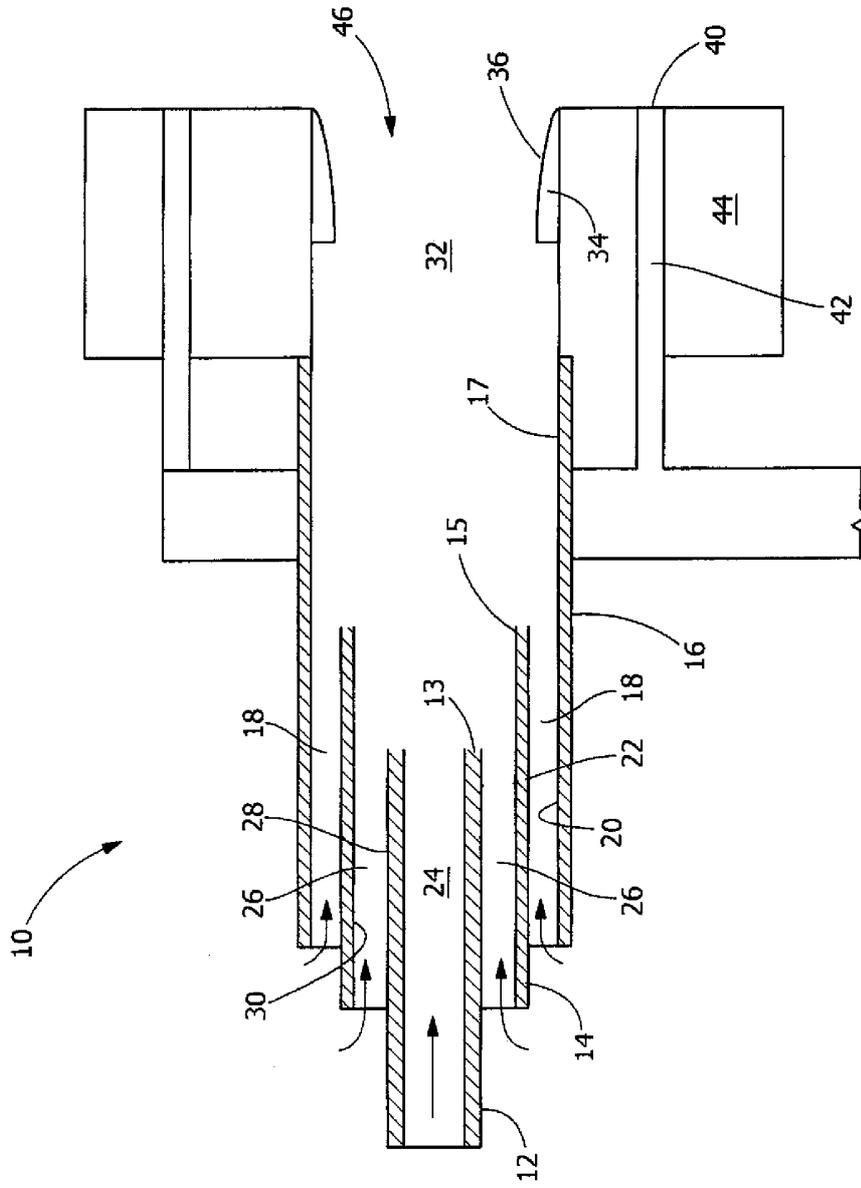


Figure 1

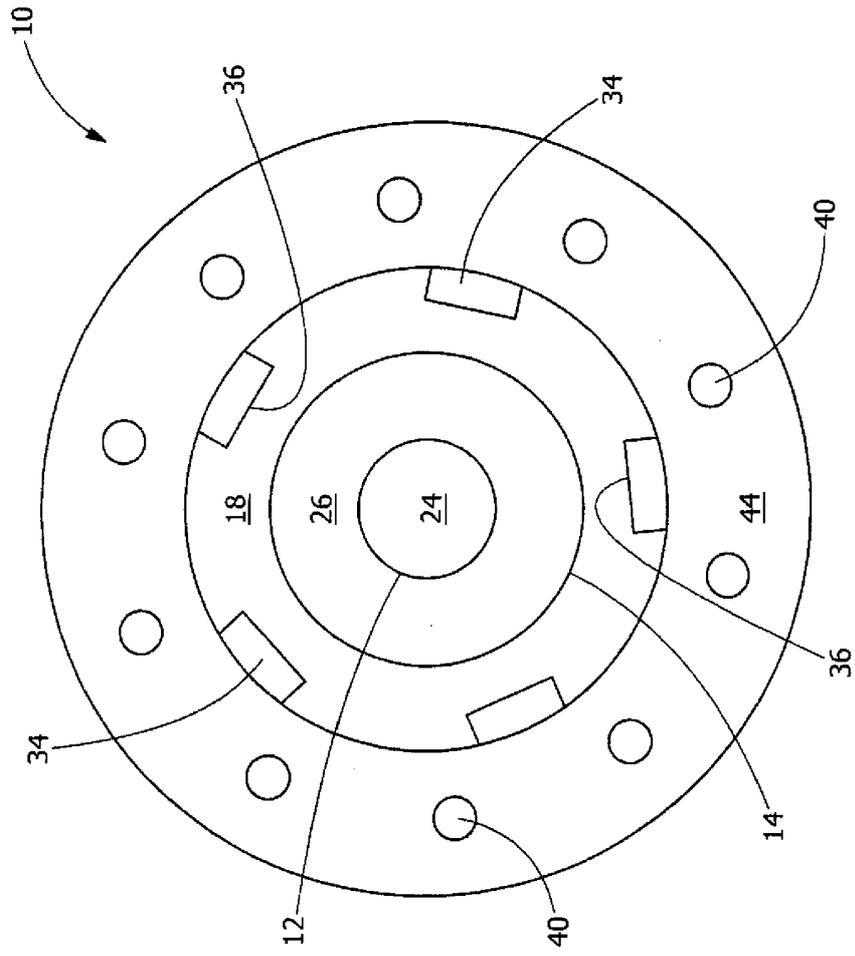


Figura 2

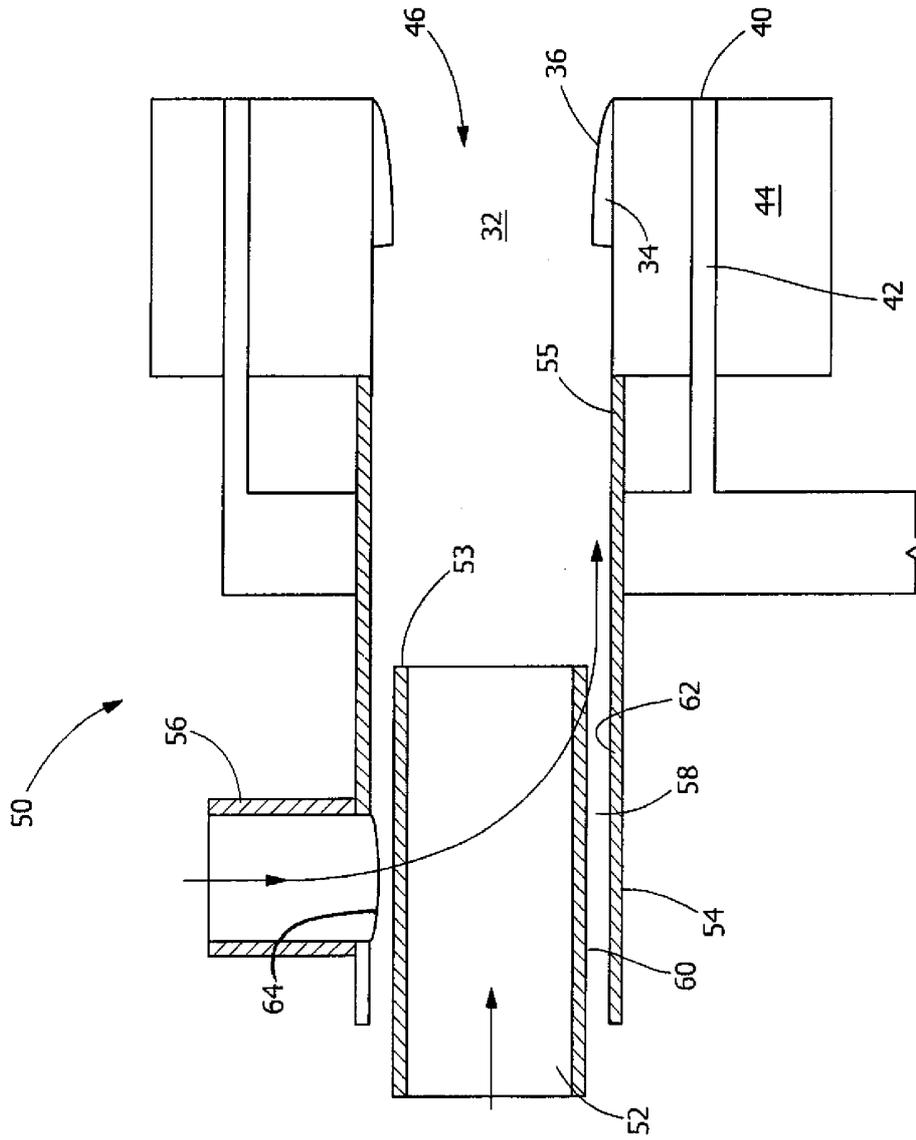


Figura 3

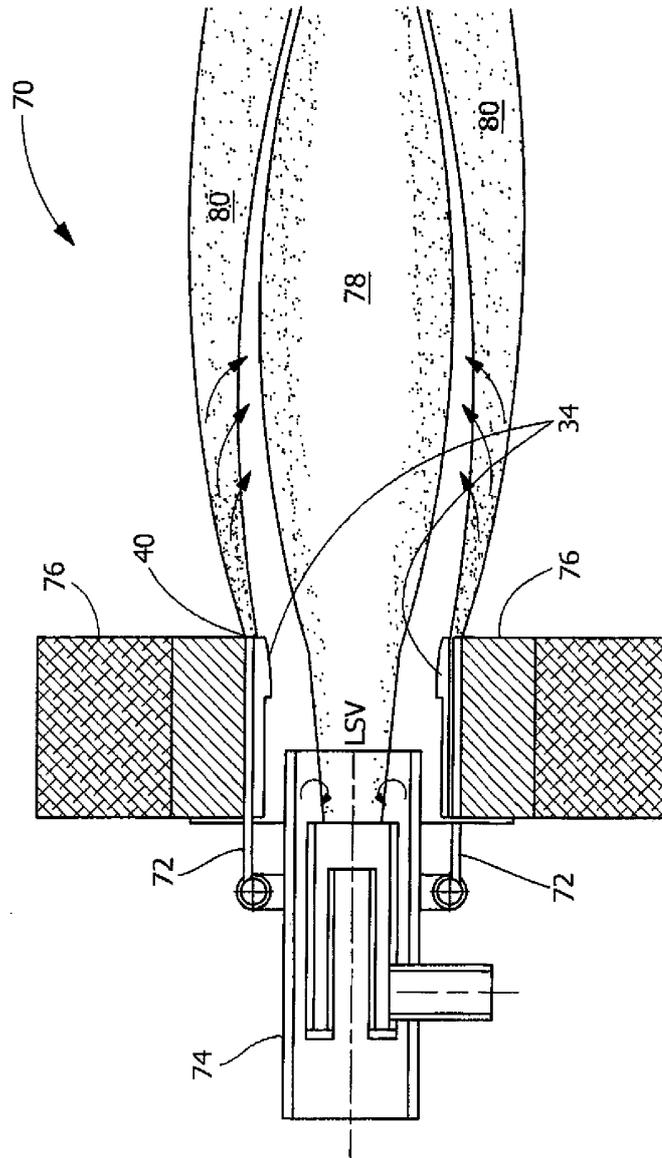


Figura 4

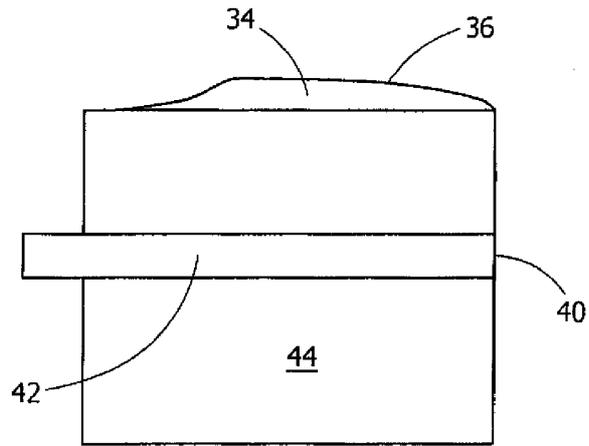


Figura 5