

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 633 240**

51 Int. Cl.:

C03B 5/235 (2006.01)

F23D 14/32 (2006.01)

F23D 14/56 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.08.2005 E 08016800 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017 EP 2017233**

54 Título: **Quemador y procedimiento para la combustión de combustibles**

30 Prioridad:

16.08.2004 US 919940

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

20.09.2017

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 HAMILTON BOULEVARD
ALLENTOWN, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:

D'AGOSTINI, MARK DANIEL

74 Agente/Representante:

DURÁN MOYA, Luis Alfonso

ES 2 633 240 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

Quemador y procedimiento para la combustión de combustibles

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a quemadores de combustible y a procedimientos para la combustión de combustibles gaseosos con oxidantes, tales como oxígeno o aire enriquecido con oxígeno y en particular a dichos quemadores y a procedimientos para la producción de temperaturas elevadas en hornos de fusión industriales para vidrio, materiales cerámicos, metales, etc.

Aunque la presente invención se describe dentro del contexto de quemadores oxi-gas y de procedimientos de combustión para la fusión de vidrio, la invención no está limitada a la utilización con hornos de fusión de vidrio o con hornos de fusión industriales. Los expertos en la materia reconocerán que el quemador y el procedimiento de la presente invención se pueden utilizar en muchas otras aplicaciones de calentamiento con procedimientos de combustión.

La patente de Estados Unidos No. 5.360.171 (Yap) da a conocer un quemador para la combustión de un combustible en un oxidante que tiene una tobera para el combustible intercalada entre unas toberas superior e inferior para el oxidante, que se encuentran separadas e individualizadas unas de otras. El quemador produce chorros de combustible y de oxidante en una configuración divergente dirigida hacia afuera, en forma de abanico, para proporcionar una llama ancha. Los chorros de oxidante tienen una velocidad más baja que los chorros de combustible de forma que el oxidante se ve aspirado hacia el interior del combustible. Se pueden disponer toberas secundarias superiores e inferiores para el oxidante, para llevar a cabo una combustión escalonada.

La patente de Estados Unidos No. 5.545.031 (Joshi y otros) da a conocer un procedimiento y un aparato para la descarga de combustible y oxidante desde una tobera de una manera que se forma una llama con forma de cola de pez o en forma de abanico. En una realización preferente, se coloca un colector de combustible en el interior de un colector de oxidante. Tanto el colector de combustible como el colector de oxidante, preferentemente, tienen una sección transversal rectangular en el plano de salida. En una realización preferente, ambos colectores tienen una sección transversal, en general, cuadrada en una ubicación situada más arriba, que converge en una dirección, en general, vertical y diverge en una dirección, en general, horizontal para formar la sección transversal, en general, rectangular en el plano de salida. El efecto convergente y divergente combinado produce una transferencia neta de impulso del fluido desde un plano, en general, vertical hasta un plano, en general, horizontal de forma que el combustible y el oxidante se descargan desde la tobera de una forma relativamente ancha que produce la configuración de llama con forma de cola de pez o con forma de abanico.

La patente de Estados Unidos No. 5.611.682 (Slavejkov y otros) da a conocer un quemador escalonado de oxígeno combustible para la producción de una llama, en general, plana, rica en combustible, que se superpone sobre una llama altamente radiante pobre en combustible. El quemador tiene un conducto para el combustible que termina en una tobera, una cubierta que rodea al conducto de combustible con un espacio entre la cubierta y el conducto de combustible, espacio que forma un conducto para el oxidante. Cuando se introduce el combustible en el interior del conducto de combustible y se introduce un oxidante en el interior del conducto del oxidante, se produce una llama, en general, plana rica en combustible en el extremo de la tobera del conducto de combustible. También se da a conocer una tobera de graduación del suministro para la introducción de una parte del oxidante por debajo de la llama rica en combustible, que se ve arrastrado hacia el interior de la parte inferior de la llama rica en combustible para producir una llama altamente radiante pobre en combustible.

La patente de Estados Unidos No. 5.575.637 (Slavejkov y otros) da a conocer un quemador de oxígeno combustible similar al mostrado en la patente de Estados Unidos No. 5.611.682 (Slavejkov y otros), excepto que este quemador no incluye un conducto para un oxidante de graduación y no utiliza graduación.

La patente de Estados Unidos No. 4.690.635 (Coppin) da a conocer un conjunto de quemador de alta temperatura que tiene un cuerpo de una tobera que contiene oxígeno que tiene una inserción de conducto de gas allí dispuesta. La inserción de conducto de gas incluye una boquilla de inserción de conducto de gas que tiene una cara exterior de la boquilla sustancialmente plana con una prominencia con forma troncocónica dispuesta encima y que sobresale desde la cara de la boquilla. La boquilla de inserción de conducto de gas incluye un conducto de gas dispuesto de forma central que termina en el extremo proximal de la prominencia con forma troncocónica para formar un filo de cuchillo. Se dispone un orificio de expulsión de oxígeno de forma concéntrica alrededor de la prominencia con forma troncocónica para dirigir el oxígeno procedente de allí para mezclar el combustible gaseoso para la combustión en el interior de un bloque refractario de quemador.

El documento US 5.390.857 se dirige a una tobera de inyector de gas. El diseño mejorado de esta tobera se basa en proporcionar a la tobera una pared exterior que tiene una forma curva de forma continua con un radio de curvatura óptimo que se estrecha hacia el final de la tobera.

En el documento US 3.255.966 se da a conocer un quemador de tipo anillo para la producción de gas de síntesis. Las boquillas resistentes al calor son conos huecos truncados que terminan en un plano común para presentar una superficie expuesta mínima a la reacción en el generador de gas y para proporcionar un ángulo de descarga constante.

5 El documento DE 698 406 da a conocer un quemador para la combustión de un combustible, según el preámbulo de la reivindicación 1. El combustible gaseoso fluye a través de un canal central de la boquilla del quemador formando un segundo borde alargado. La superficie exterior de la boquilla del quemador forma un primer borde alargado a lo largo del cual se induce el aire para que fluya debido a la eyección a una velocidad elevada del gas que fluye a través del canal central.

A pesar de los avances hechos por medio de los distintos diseños de los quemadores de la técnica anterior, aún existen muchos problemas, que incluyen pero sin limitación a los mismos:

- 15 - falta de uniformidad del flujo de reactivo, que conduce a una falta de uniformidad en las propiedades de la llama;
 - altos niveles de turbulencia en las corrientes de reactivo, que conducen a velocidades de mezcla y de combustión más altas de las deseadas;
 - acumulación y crecimiento de carbono sólido sobre la boquilla de la tobera de combustible, que conducen a la distorsión de la llama.

20 Estos problemas relacionados con el rendimiento conducen con frecuencia a problemas relacionados con el quemador y con el procedimiento, tales como:

- Llamas más calientes, más cortas, que dan como resultado una mala distribución de la transmisión de calor y de la temperatura en el interior del horno de proceso. En general dichos efectos acortan la vida del material refractario del horno y reducen el rendimiento de producto.
 25 - Limitaciones en el porcentaje de oxidante que se puede desviar (graduar) de la mezcla primaria de combustible/oxidante. Esta limitación tiene lugar en quemadores que descargan una parte del combustible y del oxidante dentro de un bloque refractario de quemador (algunas veces conocido como precámara de combustión) que separa el conjunto del quemador del horno de proceso. Las principales consecuencias de esta limitación son velocidades de transmisión de calor por radiación más bajas, rendimiento del combustible más bajo y mayores emisiones de NOx.
 30 - Fallo prematuro a alta temperatura de los componentes del quemador.
 - Intervalo limitado de régimen de combustión del quemador (caudal de combustible).

35 A la vista de estos y de muchos otros problemas relacionados con los quemadores y con los procedimientos de combustión de la técnica anterior, es deseable tener un quemador y un procedimiento de combustión que superen las dificultades, problemas, limitaciones, desventajas y deficiencias de la técnica anterior para proporcionar unos resultados mejores y más ventajosos.

40 Además se desea tener un quemador y un procedimiento de combustión más eficaces para la combustión de un combustible con un oxidante.

Aún se desea, además, reducir la falta de uniformidad de las velocidades en las corrientes de combustible y de oxidante en el punto de mezcla inicial.

45 Aún se desea, además, minimizar la acumulación de carbono en las toberas de combustible.

Aún se desea, además, alcanzar un flujo laminar con un alto grado de uniformidad en la velocidad y bajos niveles de turbulencias.

50 Aún se desea, además, minimizar la diferencia de velocidad media entre la corriente de combustible y la corriente de oxidante en el punto de mezcla inicial.

Aún se desea, además, reducir la falta de uniformidad en la distribución del caudal de reactivo en la tobera del quemador, mientras que también se reducen la presión de entrada del gas y la turbulencia.

55 Aún se desea, además, mejorar el rendimiento del horno por medio del funcionamiento de quemadores con un impulso más alto y con más graduación del suministro, lo que conducirá a llamas ricas en combustible más largas, más estables, con emisiones más bajas de óxidos de nitrógeno (NO_x).

60 Aún se desea, además, mejorar el rendimiento del horno con llamas más largas, más estables, que transmitan velocidades totales de transmisión de calor más altas a las cargas del horno.

65 Aún se desea, además, mejorar de forma adicional el rendimiento de los hornos para vidrio proporcionando velocidades de transmisión de calor más altas entre la llama y el vidrio, aumentando de ese modo las temperaturas del vidrio presente en la parte inferior del horno, mejorando la recirculación del vidrio desde el refinador hasta el tanque y reduciendo los defectos del vidrio (aumentando la producción).

También se desea ampliar el intervalo de regímenes de combustión del quemador.

CARACTERÍSTICAS DE LA INVENCION

5 La presente invención consiste en un quemador, según la reivindicación 1, y un procedimiento para la combustión de un combustible con un oxidante, según la reivindicación 3.

10 Otro aspecto de la presente invención es un proceso para la fusión de vidrio, proceso que incluye un procedimiento para la combustión de un combustible con un oxidante, tal como en la reivindicación 3.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LOS DIBUJOS

15 A continuación, se describirá la presente invención a modo de ejemplo haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una representación esquemática de una vista lateral de una realización de la presente invención;

20 la figura 2 es una representación esquemática de una vista lateral de una boquilla de quemador de una realización de la presente invención;

la figura 3 es una representación esquemática de una vista frontal de una boquilla de quemador para una realización de la presente invención;

25 la figura 4 es una representación esquemática de una vista de un extremo de un quemador para una realización de la presente invención que ilustra una entrada de oxidante con forma de Y;

30 la figura 5 es una representación esquemática de una vista en planta de una parte de la tobera de combustible para una realización de la presente invención que ilustra la utilización de aletas de guía en la sección de transición de la tobera de combustible;

la figura 6 es una representación esquemática de una vista lateral de una parte del quemador para una realización de la presente invención que ilustra una forma preferente de la cámara de oxidante;

35 la figura 7 es una representación esquemática de una vista lateral de otra realización de la invención que ilustra una forma alternativa de la cámara de oxidante;

40 la figura 8 es una representación esquemática de una vista transversal de una realización del quemador de la presente invención utilizada junto con un bloque refractario de quemador;

la figura 9 es un gráfico que compara la radiación relativa de la llama de un quemador de la presente invención con la de un quemador de la técnica anterior a diferentes longitudes de onda;

45 la figura 10 es una representación esquemática que ilustra los mecanismos de transmisión de calor por radiación desde una llama generada dentro de un horno para vidrio por un quemador y un procedimiento de la presente invención;

50 la figura 11 es un gráfico que ilustra la radiación normalizada de llama tal como se midió anteriormente y por debajo de una llama generada mediante un quemador y un procedimiento de la presente invención;

la figura 12 es una representación esquemática que ilustra un diseño de boquilla de quemador con el extremo cuadrado;

55 la figura 13 es una representación esquemática que ilustra un diseño de boquilla de quemador con extremo redondeado;

la figura 14 es una representación esquemática que ilustra un diseño de boquilla de quemador con un solo ángulo, flujo separado, con forma de filo de cuchillo;

60 la figura 15 es una representación esquemática que ilustra un diseño de boquilla de quemador con un solo ángulo, flujo acoplado, con forma de filo de cuchillo;

65 la figura 16 es una representación esquemática que ilustra una realización de una boquilla de tobera de la presente invención;

la figura 17 es una representación esquemática que ilustra los patrones de flujo de reactivo para una realización de una boquilla de tobera de la presente invención;

la figura 18 es una fotografía que ilustra la acumulación de carbono que tiene lugar en la boquilla de un quemador de la técnica anterior y

la figura 19 es una representación esquemática que ilustra un diseño de un horno para vidrio.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención consiste en un quemador y un procedimiento para la combustión de un combustible con un oxidante. Aunque en el presente documento la invención se describe en el contexto de un quemador de oxígeno/gas (oxi-gas) para aplicaciones de fusión de vidrio, no está limitada a dichos quemadores y aplicaciones. Los expertos en la materia reconocerán que el quemador y el procedimiento se pueden utilizar en muchas otras aplicaciones de calentamiento con procedimientos de combustión, que incluyen pero sin limitarse a los mismos, hornos para la producción de cemento, hornos de fusión de metales ferrosos/no ferrosos y generadores de vapor.

Cuando se utiliza en aplicaciones de fusión de vidrio, el quemador de oxi-gas produce una llama ancha, de alta temperatura, con una relación ampliada del máximo estado de carga respecto al mínimo estado de carga y con capacidad para el suministro graduado o ajustado (es decir, con retraso de la introducción) de un alto porcentaje de oxígeno por debajo de la llama para obtener una emisión por radiación mejorada, menores emisiones de NO_x y mejor control de la longitud y del impulso de la llama que los que se podían lograr anteriormente con los quemadores de la técnica anterior. Este funcionamiento mejorado es el resultado del nuevo diseño y disposición de los componentes del quemador. En las aplicaciones de fusión de vidrio, en general, el quemador se utiliza junto con un bloque refractario de quemador situado entre el quemador y el espacio de combustión del horno.

Tal como se utiliza en el presente documento, el término "combustible" se refiere a cualquier combustible gaseoso adecuado para propósitos de combustión. Aunque uno de los combustibles preferentes es el gas natural, se pueden utilizar distintos gases combustibles, tales como hidrógeno, etano, propano, butano, acetileno y otros combustibles gaseosos y combinaciones de los mismos.

Tal como se utiliza en el presente documento, el término "oxidante" se refiere a oxígeno, aire enriquecido con oxígeno o a cualquier otro oxidante adecuado con una concentración de oxígeno mayor de aproximadamente el 21% en volumen. Un oxidante preferente es oxígeno puro comercial generado por medio de una planta criogénica de separación de aire o mediante un proceso de adsorción. La concentración de oxígeno de dicho oxidante es típicamente mayor del 90% en volumen. La combinación de oxígeno puro comercial y de gas natural se utiliza con frecuencia en hornos de alta temperatura, tales como los hornos de fusión para vidrio.

La figura 1 muestra una vista lateral de una realización del quemador -10- de la presente invención. Un combustible -12-, tal como gas natural, entra en la entrada -14- de combustible de la sección de entrada -16- de combustible. El combustible fluye a través de la sección de entrada de combustible, de la sección de transición -18- de combustible y de la sección de salida -20- de combustible, saliendo en una salida -22- de combustible. En la realización ilustrada en la figura 1, la sección de entrada de combustible es un tubo redondo, la sección de transición de combustible es una sección de transición que cambia de redonda a plana y la sección de salida de combustible es una pieza transversal plana. Preferentemente, las tres secciones son un montaje de tobera de combustible soldado previamente, con tres secciones y en una sola pieza.

Aún en referencia a la figura 1, se alimenta un oxidante -24-, tal como oxígeno, hasta un colector -26- de entrada de oxidante, tal como la entrada de oxidante de flujo laminar con forma de Y mostrada en la figura 4. Finalmente, el oxidante fluye hasta una cámara impelente -28- de oxidante y se transmite hasta una sección de salida -30- de oxidante. Una placa -32- situada entre la cámara de oxidante y la sección de salida de oxidante tiene una abertura -34- a través de la que fluye el oxidante, tal como se muestra en la figura 2. La figura 6 ilustra de forma adicional esta realización. Los expertos en la materia reconocerán que son posibles realizaciones alternativas, tales como la realización alternativa mostrada en la figura 7.

Tal como se muestra en la figura 1, las clavijas de posición -36- situadas para obtener flujo laminar proporcionan apoyo entre la sección de salida -20- de combustible y la sección de salida -30- de oxidante. Se puede proporcionar un difusor -33- de oxidante más arriba de la cámara impelente -28- de oxidante. La finalidad de este difusor es ayudar en la distribución del caudal de oxidante que entra en la cámara impelente de oxidante. Aún en referencia a la figura 1, otro conducto -40- de oxidante (cámara impelente de suministro graduado o ajustado de oxígeno) adyacente a la cámara impelente -28- de oxidante proporciona la capacidad de suministro graduado o ajustado. El flujo de oxidante desde la cámara impelente de oxidante hasta la cámara impelente de suministro graduado o ajustado de oxidante o hasta el conducto de oxidante se puede regular mediante una válvula graduada o ajustada -42- o mediante otro medio de regulación.

La figura 2 ilustra la sección de salida del quemador formada mediante la sección de salida -20- de combustible y la sección de salida -30- de oxidante. La figura 3 muestra una vista frontal de la sección de salida del quemador para una realización del quemador. No obstante, los expertos en la materia reconocerán que la sección de salida del quemador puede tener una o varias formas distintas de la que se muestra en la figura 3.

La figura 8 muestra una vista esquemática transversal en corte del quemador -10- de la presente invención acoplado a un bloque refractario -150- de quemador. Dentro de la cámara superior -152- del bloque de quemador se forma una llama -151- de alta temperatura. El oxidante -153- procedente de la sección de salida -30- de oxidante del quemador rodea a la llama, lo que alimenta de forma simultánea el oxidante hacia el interior de la llama y proporciona un enfriamiento por convección de la superficie refractaria -154- adyacente a la llama. El oxidante -155- suministrado de forma graduada pasa a través de la cámara inferior -156- del bloque de quemador.

Los resultados mejorados de la presente invención en relación con los de la técnica anterior se deben a la disposición y estructura únicas de los distintos componentes del quemador -10-. Algunos de los aspectos más importantes de la estructura y de la disposición se describen a continuación.

Por ejemplo, tal como se muestra en las figuras 1 y 2, el área de flujo transversal de la sección de salida -30- de oxidante debe ser menor o igual que el área de flujo transversal de la cámara impelente -28- de oxidante y es sustancialmente uniforme a lo largo de la sección de salida de oxidante. (Las clavijas de posición -36- situadas para obtener flujo laminar reducen el área de flujo transversal de la sección de salida de oxidante en aproximadamente un 3% localmente, aunque están diseñadas de forma que no se generen remolinos turbulentos ni se altere de forma importante la distribución de velocidad de oxidante en la conexión de salida de la sección de salida). La finalidad de reducir el área de flujo transversal es permitir que se reduzca la presión estática del flujo de oxidante en la dirección del flujo, ya que dicho gradiente de presión "favorable" ayuda a eliminar la falta de uniformidad en la velocidad.

El área de flujo transversal de la sección de transición -18- de combustible varía desde un área de flujo transversal inicial en la entrada de combustible de la sección de transición de combustible, hasta un área de flujo transversal distinta en la conexión de salida de combustible de la sección de transición de combustible. El área de flujo transversal de la sección de salida -20- de combustible es sustancialmente uniforme de principio a fin. En una realización, el área de flujo transversal en la conexión de entrada de la sección de transición de combustible es mayor o igual que el área de flujo transversal en la conexión de salida de la sección de transición de combustible, dado que esto crea un gradiente de presión favorable, con los beneficios indicados anteriormente. (En el caso de tener áreas de entrada y de salida iguales se crea un gradiente de presión neutro que no afecta de forma negativa a la distribución de la velocidad del flujo).

En otra realización, el área de flujo transversal en la conexión de entrada de la sección de transición -18- de combustible es menor que el área de flujo transversal en la conexión de salida de la sección de transición de combustible. Dicha realización favorece la generación de un gradiente de presión "adverso" (la presión aumenta en la dirección del flujo) que, sin intervención, conduciría a aumentos en la falta de uniformidad de la velocidad y potencialmente a la formación de regiones de flujo invertido y a altos niveles de turbulencia. A efectos de evitar estas consecuencias perjudiciales, esta realización requiere la inserción de una o más aletas de guía -50-, tal como se muestra en la figura 5.

En una realización, el área de flujo transversal en la conexión de salida de combustible de la sección de transición -18- de combustible es sustancialmente no circular y el área de flujo transversal de la sección de salida -20- de combustible es sustancialmente no circular. En otra realización, la sección de salida de combustible tiene una relación de dimensiones (anchura:altura) mayor de aproximadamente 2:1 en la salida -22- de combustible y la sección de transición de combustible tiene una relación de dimensiones mayor de aproximadamente 2:1 en la conexión de salida de combustible. Aún en otra realización, una proporción del área de flujo transversal en la conexión de salida de la sección de salida -30- de oxidante con respecto al área de flujo transversal en la salida de combustible de la sección de salida -20- de combustible es menor que la proporción molar de oxidante con respecto a combustible requerida para la combustión estequiométrica. (La combustión estequiométrica es teóricamente la combustión completa del combustible sin exceso de oxidante. Para la combustión de metano con oxígeno, la proporción de área citada anteriormente sería, por lo tanto, menor de 2:1 en esta realización).

Este aspecto de la presente invención establece una proporción de velocidades medias de flujo en la sección de salida -20- de combustible y en la sección de salida -30- de oxidante que es igual a 1,0 solo cuando hay menos oxidante fluyendo a través de la sección de salida de oxidante que la cantidad estequiométrica. El efecto alcanzado de este modo consiste en minimizar la diferencia entre las velocidades medias de flujo de las corrientes de combustible y de oxidante y, por lo tanto, en minimizar el esfuerzo de cizalladura y la velocidad de mezcla entre las corrientes de reactivo, cuando se encuentra fluyendo menos oxidante del estequiométrico a través de la sección de salida de oxidante. El beneficio resultante es que se permiten altos porcentajes de graduación del suministro de oxidante sin peligro de producir daños debidos a temperaturas elevadas en el quemador -10- o en el bloque refractario -150- de quemador. Niveles más altos de graduación del suministro producen llamas más largas y más luminosas que producen un mayor rendimiento energético y emisiones reducidas de NO_x .

Los resultados mejorados logrados por los aspectos de la presente invención descritos hasta este punto se verificaron por medio de ensayos de laboratorio y de campo comparando el funcionamiento del quemador de la presente invención con el quemador de la técnica anterior que se da a conocer en la patente de Estados Unidos No. 5.611.682 (Slavejkov y otros). Algunos de los resultados de estos ensayos y de las comparaciones se describen a continuación.

Se hicieron mediciones de las distribuciones de velocidad en las salidas de combustible y de oxidante de los dos quemadores. La falta de uniformidad en la velocidad se cuantificó mediante la utilización de un solo parámetro que representa la desviación típica de la velocidad local respecto de la velocidad media en una sección transversal de flujo en particular. Los resultados de las mediciones y de los cálculos posteriores indican que la falta de uniformidad en la velocidad del quemador de la presente invención es, por término medio, un tercio de la magnitud de la de los quemadores de la técnica anterior. La distribución de flujo lograda en la tobera con el quemador de la presente invención se traduce en un mejor control de los procedimientos de mezclado entre el oxígeno y el gas natural. De forma específica, una mejor uniformidad significa velocidades de cizalla más bajas y menos probabilidad de reducción localizada de oxígeno. Por lo tanto, hay una mayor capacidad de graduación del suministro y menos riesgo de sobrecalentamiento en el interior de la precámara de combustión o del bloque de quemador. Por otra parte, la mejor uniformidad del flujo de reactivo da como resultado una mejor uniformidad de las propiedades de la llama y, en particular, una reducción en las temperaturas máximas de llama que conducen a un sobrecalentamiento del material refractario del horno y a mayores emisiones de NO_x .

Una comparación de los requisitos de presión estática de entrada de combustible de los dos quemadores mostró una reducción sustancial en el requisito de presión de entrada de combustible en relación con el quemador de la técnica anterior. En particular, las mediciones mostraron una reducción mayor del 80% en la presión de entrada de combustible en el quemador de la presente invención. La reducción de presión se debe principalmente al requisito de que el área de flujo transversal de la sección de salida -20- de combustible es sustancialmente uniforme de principio a fin. Por lo tanto, en la sección de salida no existen dispositivos de mezcla estáticos (tales como placas deflectoras). Estos dispositivos de mezcla estáticos se utilizan de forma convencional para mejorar la uniformidad de la velocidad mediante la creación de una gran caída de presión (que disipa energía en forma de remolinos turbulentos) y mediante la promoción de mezcla turbulenta. El quemador de la presente invención evita la necesidad de instalar dispositivos de mezcla estáticos y así consigue obtener el "suavizado" del perfil de velocidad en el interior de la sección de transición -18- de combustible con una pérdida de presión mínima y con una generación de turbulencia despreciable.

Las mediciones muestran que la presión de entrada de combustible del quemador -10- de la presente invención es la más baja para la realización que utiliza aletas de guía -50- en la sección de transición -18- de combustible, dado que las aletas de guía convierten de forma eficaz una parte de la energía cinética en la conexión de entrada hasta la sección de transición en energía de presión en la conexión de salida de la sección de transición, al mismo tiempo que aún se consigue el suavizado de velocidad requerido.

El quemador -10- de la presente invención también requiere una presión de entrada de oxígeno sustancialmente más baja que la del quemador de la técnica anterior para dos modos de operación: 1) válvula de graduación del suministro -42- cerrada y 2) válvula de graduación del suministro totalmente abierta. De forma similar a la presión de entrada de combustible, la razón principal de esto es que el área de flujo transversal de la sección de salida -30- de oxidante es sustancialmente uniforme a lo largo de toda la sección de salida de oxidante y, por lo tanto, se encuentra libre de los efectos que desestabilizan el flujo y de los efectos generadores de turbulencia de los dispositivos de mezcla estáticos. El suavizado de la distribución de velocidad de oxígeno tiene lugar entre la cámara impelente -28- de oxígeno y la conexión de entrada a la sección de salida -30- de oxígeno a través de la reducción en el área de flujo transversal que tiene lugar entre estas dos secciones.

Como la mayoría de las instalaciones de quemadores tienen presiones de suministro de oxígeno y/o combustible limitadas, una ventaja principal de las reducciones sustanciales en los requisitos de presión de combustible y de oxígeno logrados con la presente invención, es la capacidad de llevar a cabo la combustión en los quemadores con un caudal mayor. En algunos casos las presiones más bajas también pueden dar como resultado un consumo más bajo de potencia para una planta de separación de aire que suministra oxígeno como oxidante. Además, el nivel de turbulencia más bajo generado en el quemador de la presente invención da como resultado la capacidad de hacer funcionar el quemador con un caudal mayor con un riesgo menor de sobrecalentamiento del quemador o de una mala distribución de temperatura en el horno causados por la generación de una llama corta, excesivamente turbulenta.

También se hicieron mediciones de radiación espectral de las llamas de los dos quemadores durante la combustión al aire libre. En la figura 9 se presenta una comparación de las emisiones espectrales de llama con un régimen de combustión de 15 MMBtu/h, con niveles de graduación del suministro de oxidante ajustados a sus respectivos niveles máximos de diseño. El nivel máximo de diseño de graduación del suministro para estos quemadores se encuentra determinado por la capacidad del oxidante que se emite a través de la sección de salida -30- de oxidante para proporcionar un enfriamiento adecuado de la precámara de combustión durante todo el intervalo de régimen de combustión del quemador. El nivel máximo de graduación del suministro de oxígeno que se puede alcanzar en la

práctica para el quemador de la presente invención es, como mínimo, el 70% del oxígeno total de combustión, mientras que el nivel máximo de graduación del suministro para el quemador de la técnica anterior se encuentra en general en el intervalo del 40%, dependiendo del régimen de combustión.

5 Los límites de graduación del suministro para el quemador de la presente invención se aumentan en relación con los de la técnica anterior porque la distribución de flujo mejorada de la tobera y los niveles más bajos de turbulencia reducen la velocidad de mezcla entre las corrientes de combustible y de oxígeno en el interior de la precámara de combustión y también minimizan la aparición de deficiencias locales en el flujo de oxígeno. Estas características de flujo mejoradas aseguran un enfriamiento adecuado de la precámara de combustión para el quemador de la presente invención, incluso durante el funcionamiento con niveles de graduación del suministro y regímenes de combustión extremadamente altos.

15 Tal como se muestra, hay una radiación sustancialmente mayor emitida desde el quemador de la presente invención (mayor de un incremento global del 25%). La principal mejora en la radiación tiene lugar en la banda de longitud de onda situada por debajo de 1.800 nm, lo que significa un aumento en la emisión de cuerpo negro, la causa de lo cual es la llama principal más rica en combustible para el quemador (debido a mayores niveles de graduación del suministro de oxígeno) y, en consecuencia, una formación y un crecimiento más abundantes de partículas de hollín. La transmisión de calor por radiación a través de este intervalo del espectro electromagnético es ideal en los tanques de fusión de vidrio porque el intervalo espectral cae dentro de la región de transmisión óptica más elevada del vidrio fundido. Por lo tanto, la energía transferida desde la llama es capaz de penetrar en profundidad dentro del vidrio fundido, lo que proporciona un calentamiento más uniforme y una utilización más eficaz de la energía existente en el combustible.

25 La figura 10 muestra una vista lateral del funcionamiento del quemador de la presente invención en un horno para vidrio -80- típico. El combustible -82- y el oxígeno -84- se queman en el quemador para crear una llama principal -86- rica en combustible bajo la que se transmite el oxidante -88- suministrado de forma graduada. La llama principal rica en combustible tiene una concentración de hollín alta. La radiación ascendente -90- se transmite hacia la bóveda -92- del horno. La reacción del oxidante suministrado de forma graduada crea una llama -94- estequiométrica relativamente caliente en la parte inferior de la llama principal desde la que se transmite la radiación descendente -96- hasta la materia prima -98- o carga. Un efecto principal de la graduación del suministro por debajo de la llama es que ésta produce radiación de cuerpo negro que se dirige preferentemente de arriba hacia abajo hacia la materia prima -98- o carga. Los mecanismos principales que conducen este efecto son la formación mejorada de hollín de la llama principal -86- rica en combustible acompañada de la llama -94- de alta temperatura, alta luminosidad, situada en la parte inferior, creada mediante la reacción entre el oxidante -88- suministrado de forma graduada y la llama principal. Si bien la radiación -96- que procede de la parte inferior de la llama tiene una trayectoria prácticamente despejada hacia abajo en la dirección de la materia prima (por ejemplo, vidrio fundido), la llama principal opaca, "ópticamente gruesa", obstruye de forma parcial la transmisión de la radiación hacia arriba. El efecto polarizante producido de este modo es claramente beneficioso para el procedimiento de fusión de vidrio, dado que este efecto maximiza el calentamiento de la superficie del vidrio por la llama al tiempo que minimiza el calentamiento directo por radiación de la bóveda -92- del horno.

45 Haciendo referencia a la figura 11, se llevaron a cabo mediciones de laboratorio de la radiación térmica que se emanaba hacia abajo y hacia arriba desde el quemador de la presente invención sobre el ancho de banda comprendido entre 600 y 1.800 nm. Los resultados se presentan como radiación de llama normalizada frente a una proporción de equivalencia de llama principal. La radiación de llama normalizada es la radiación de la llama, integrada sobre el ancho de banda indicado, dividida entre la radiación de llama integrada en una proporción de equivalencia de llama principal de 1,0 (que se corresponde con la combustión estequiométrica sin graduación del suministro). La proporción de equivalencia de llama principal es la proporción real de combustible con respecto a oxidante (primario) dividido entre la proporción de combustible con respecto a oxidante para la combustión estequiométrica. Por lo tanto, las proporciones de equivalencia más altas se corresponden con llamas principales más ricas en combustible. Los resultados indican con claridad una diferencia que aumenta de forma progresiva (polarización) en la radiación direccional con el aumento de la proporción de equivalencia. Cuanto más rica es la llama principal en combustible, mayor es el porcentaje de la radiación total de cuerpo negro que se dirige hacia abajo. Así, la capacidad para funcionar con niveles más altos de graduación del suministro de oxidante proporcionada por el quemador de la presente invención no solo produce una llama más radiante, sino que dirige un mayor porcentaje de esa radiación hacia la materia prima -98-, al tiempo que protege a la bóveda -92- de una radiación excesiva.

60 Las figuras 12 a 17 y la descripción que sigue a continuación están relacionadas con la boquilla avanzada de la tobera del quemador de la presente invención, que hace posible una duración mejorada del quemador y un mantenimiento reducido del quemador. El diseño de la boquilla, tal como se utiliza en este contexto, se refiere al contorno de la superficie que separa las corrientes de oxidante y de combustible justo más arriba del punto en el que se descargan los reactivos desde la tobera del quemador. Cuatro variantes comunes de los diseños de la boquilla de la técnica anterior mostrados en las figuras 12 a 15 son:

65 figura 12 - borde cuadrado
 figura 13 - borde redondeado

figura 14 - un solo ángulo, flujo separado, forma de filo de cuchillo
 figura 15 - un solo ángulo, flujo acoplado, forma de filo de cuchillo.

5 Cada uno de estos diseños de la técnica anterior tiene, como mínimo, una deficiencia inherente, tal como se describe a continuación.

10 El extremo cuadrado de la boquilla -100- del quemador mostrado en la figura 12 da como resultado un flujo separado del oxidante -102- y del combustible -104- en la boquilla. Dependiendo de la proporción de las velocidades del oxidante y del combustible, esto puede producir torbellinos -106- simétricos de recirculación, de una escala relativamente grande, cuyos segmentos serán ricos en combustible, lo que promueve el crecimiento de carbono sólido en la boquilla.

15 El extremo redondeado de la boquilla -110- del quemador mostrado en la figura 13 también da como resultado un flujo separado del oxidante -112- y del combustible -114- en la boquilla. Dependiendo de la proporción de las velocidades del oxidante y del combustible, esto también puede producir torbellinos -116- simétricos de recirculación, más pequeños (comparados con el extremo cuadrado) aunque de un tamaño aún sustancial, cuyos segmentos serán ricos en combustible, lo que promueve el crecimiento de carbono sólido en la boquilla.

20 La boquilla -120- de quemador con un solo ángulo, flujo separado, con forma de filo de cuchillo mostrado en la figura 14 también da como resultado el flujo separado del oxidante -122- y del combustible -124- en la boquilla. Dependiendo de la proporción de las velocidades del oxidante y del combustible, esto también produce dos torbellinos -126- asimétricos de recirculación, de una escala relativamente grande, cuyos segmentos serán ricos en combustible, lo que promueve el crecimiento de carbono sólido en la boquilla. El borde afilado -128- en la parte inferior derecha de la boquilla de la tobera también puede limitar la conducción de calor hacia afuera de la boquilla, lo que da como resultado una distorsión de la boquilla inducida térmicamente. Nominalmente el ángulo crítico (α_{crit}) para que tenga lugar la separación de flujo es menor de 15 grados.

25 La boquilla -130- del quemador con un solo ángulo, flujo acoplado, con forma de filo de cuchillo mostrada en la figura 15 es una mejora sobre los diseños mostrados en las figuras 12 a 14. Como el ángulo de divergencia de la superficie de oxidante es menor que el ángulo crítico (α_{crit}) para la separación de flujo, los flujos de oxidante -132- y de combustible -134- permanecen acoplados a la boquilla de la tobera y se evita la acumulación de carbono en la boquilla. Sin embargo, el borde -138- delgado, afilado, es mecánicamente inestable e incluso más propenso a la deformación de la boquilla inducida térmicamente que el diseño con un solo ángulo, flujo separado, con diseño en forma de filo de cuchillo. Una vez que ha tenido lugar la deformación, el funcionamiento del quemador se ve afectado de forma negativa.

30 Tal como se muestra, cada uno de los diseños de boquilla mostrados en las figuras 12 a 15 tiene, como mínimo, una deficiencia inherente: flujo separado de uno o más de los reactivos, o bien una falta inadecuada de robustez mecánica. Se sabe que estas deficiencias conducen a problemas de funcionamiento y de mantenimiento de acumulación de carbono y distorsión de la boquilla, precursores de la distorsión de la llama y de un mal funcionamiento del quemador y/o de fallo prematuro.

35 La boquilla avanzada -140- de la tobera de la presente invención incluye tres parámetros de diseño mostrados en la figura 16. El ángulo principal (α) de la boquilla es lo bastante pequeño como para asegurar que la curvatura inicial de las líneas de flujo del oxidante tiene lugar sin la inducción de separación de flujo. El radio (R) facilita una transición suave de la corriente de oxidante entre la sección recta afilada -147- y el cabezal -148-. Este radio, comparado con un punto afilado, retrasa de forma sustancial la separación de flujo en esta región de transición. Finalmente, el ángulo secundario agudo (β) proporciona una terminación de la tobera que limita de forma sustancial la migración del gas de combustible hacia atrás hacia el lado de oxidante de la tobera.

40 La figura 17 ilustra los beneficios de funcionamiento de la boquilla avanzada -140- de la tobera de la presente invención. El cabezal ancho -148- evita la deformación térmica proporcionando un camino suficientemente amplio para disipar afuera el calor de la boquilla a través de conducción, el ángulo agudo (β) de la boquilla limita la recirculación del gas de combustible y, dependiendo de la proporción de las velocidades del oxidante y del combustible, hay una separación mínima, o no hay ninguna, de flujo de oxidante o de combustible en la boquilla. De este modo, se evita la acumulación de carbono en la boquilla.

45 En la presente invención, los intervalos de los parámetros de diseño de la boquilla son:
 - ángulo principal de la boquilla, α : $0 < \alpha < 15^\circ$
 - radio de giro, R: no es absolutamente esencial, pero se recomienda un $R > 1/64$ pulgadas.
 - ángulo secundario, β : $\beta < 90^\circ$

50 Como un ejemplo de la mejora proporcionada por el diseño de boquilla de quemador mejorada, la figura 18 ilustra la cantidad de acumulación de carbono -160- que tiene lugar en una boquilla con un diseño similar al ilustrado en la figura 13 durante un periodo de funcionamiento de aproximadamente dos semanas en un horno industrial para

vidrio. El diseño de boquilla de quemador mejorada de la presente invención no mostró una acumulación de carbono detectable en la misma posición de quemador con los mismos parámetros de funcionamiento de quemador durante un periodo de tiempo sustancialmente superior a dos semanas.

5 La figura 19 ilustra el diseño de un horno típico -60- para vidrio que tiene un lado izquierdo -62- y un lado derecho -64-. Los quemadores, tales como los de la presente invención, se sitúan a ambos lados y generan en el horno llamas -66- de alta temperatura. Los gases de combustión procedentes de la combustión del combustible y el oxidante salen a través de las salidas -68- de humos situadas en los lados izquierdo y derecho del horno. Los lotes de cargas -70- entran en el horno y se funden mediante el calor generado por las llamas de alta temperatura. El
10 producto fundido -72- se retira del horno y se transporta por medio de medios de transporte (no mostrados) hasta un refinador (no mostrado).

El funcionamiento del horno se mejora de varias formas como resultado del funcionamiento mejorado del quemador y del procedimiento de la presente invención. La capacidad para hacer funcionar los quemadores con un impulso más alto y con más graduación del suministro (comparados con los de los quemadores de la técnica anterior) conduce a la generación de llamas ricas en combustible, más largas, más estables, con emisiones más bajas de NO_x. Las llamas más largas, más estables producen mayores velocidades globales de transmisión de calor a la carga. Además, la combinación de la mejor uniformidad de las propiedades de la llama y el funcionamiento con una elevada graduación del suministro minimiza la temperatura/radiación máxima, lo que ayuda de esta forma a reducir la formación de espumas. Las mayores velocidades de transmisión de calor desde la llama hasta el vidrio aumentan las temperaturas del vidrio presente en la parte inferior del horno, lo que mejora la recirculación del vidrio desde el refinador hasta el tanque, lo que reduce de este modo los defectos del vidrio (aumentando la producción). Finalmente, la eliminación de la acumulación de carbono en las boquillas del quemador evita la distorsión de la llama, mejora la duración del quemador y reduce los requisitos de mantenimiento del quemador.

25 La ratificación de los beneficios en el funcionamiento del horno procedentes de la utilización del quemador de la presente invención se consiguió mediante la realización de un ensayo completo en un horno en el que los quemadores de la presente invención sustituyeron a los quemadores de la técnica anterior, tales como los que se dan a conocer en la patente de Estados Unidos No. 5.611.682 (Slavejkov y otros). El horno industrial utilizado para este ensayo es similar al que se representa en la figura 8, que tiene cuatro posiciones de combustión (pares de quemadores situados a la izquierda y a la derecha) y cuatro salidas de humos. La composición de las materias primas, velocidad de salida del horno (velocidad de retirada del producto del horno) y los caudales de gas natural y oxígeno del quemador se mantuvieron todos esencialmente iguales antes y después de la instalación de los quemadores de la presente invención. Los parámetros clave de funcionamiento y los resultados obtenidos a partir del ensayo completo en el horno se presentan en la tabla 1.

Tabla 1

Parámetro	Cambio en el parámetro durante el ensayo completo en el horno de los quemadores de la presente invención
Impulso promedio de la llama (calculado)	Aumento del 100%
Nivel promedio de graduación del suministro de oxígeno (% de flujo total de oxígeno)	Aumento desde 5% hasta 70%
Temperatura promedio de la parte inferior del horno	Aumento de 8,89°C (16°F)
Rendimiento de producto	Aumento del 5% (absoluto)
Emisiones de NO _x	Reducción del 14%

40 Aunque lo ilustrado y descrito en el presente documento es en relación con ciertas realizaciones específicas, no se pretende que la presente invención, sin embargo, esté limitada a los detalles mostrados.

REIVINDICACIONES

1. Quemador para la combustión de un combustible, teniendo el quemador un eje longitudinal e incluyendo una boquilla de quemador que tiene
- 5 un primer borde alargado adyacente a un flujo de combustible, y un segundo borde alargado adyacente a un flujo de un oxidante y que forma un ángulo de boquilla principal (α) desde una línea paralela al eje longitudinal y que se cruza con una superficie situada más arriba paralela al eje longitudinal, comprendiendo el segundo borde alargado una sección inicial afilada que forma el ángulo de la boquilla principal (α), y una sección curvada que termina en el primer borde alargado,
- 10 formando el primer borde alargado y el segundo borde alargado un ángulo de boquilla secundario (β) mayor que el ángulo de boquilla principal (α) e inferior a 90° desde una línea tangente al primer borde alargado y que se extiende desde el mismo en la dirección del flujo del combustible,
- caracterizado por que**
- 15 el ángulo de boquilla principal (α) es inferior a 15° .
2. Quemador, según la reivindicación 1, en el que la sección curvada tiene un radio de giro, $R > 0,40$ mm (1/64 pulgadas).
3. Procedimiento para la combustión de un combustible con un oxidante, que comprende las etapas de:
- 20 proporcionar una fuente del combustible;
proporcionar una fuente del oxidante;
proporcionar un quemador, según la reivindicación 1, y
combustión, como mínimo, de una parte del combustible, como mínimo, con una parte del oxidante en una ubicación adyacente a la boquilla del quemador.
- 25
4. Proceso para la fusión de vidrio, incluyendo el proceso un procedimiento para la combustión de un combustible con un oxidante, según la reivindicación 3.

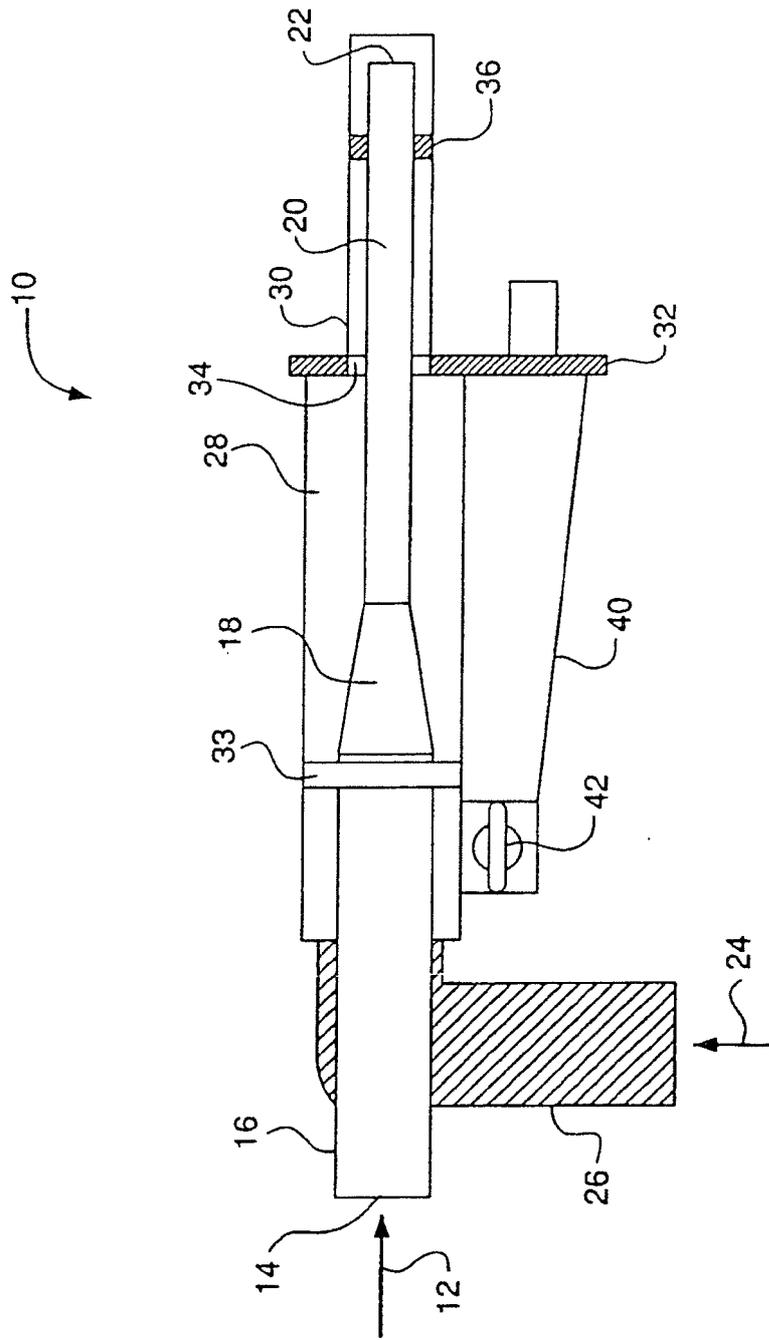


Figure 1

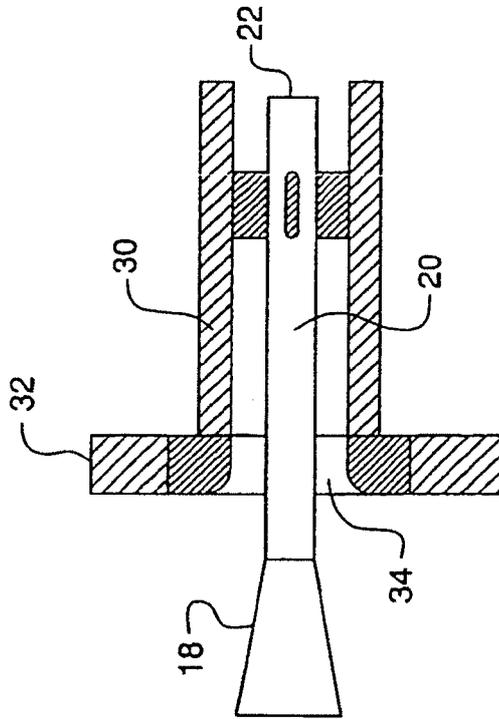


Figura 2

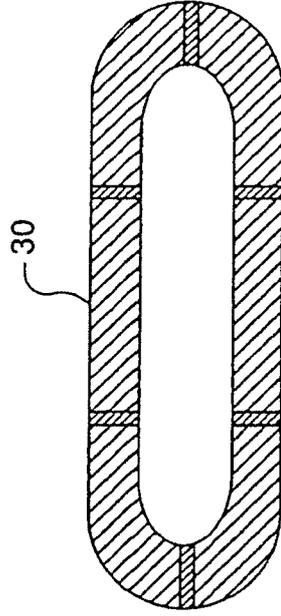


Figura 3

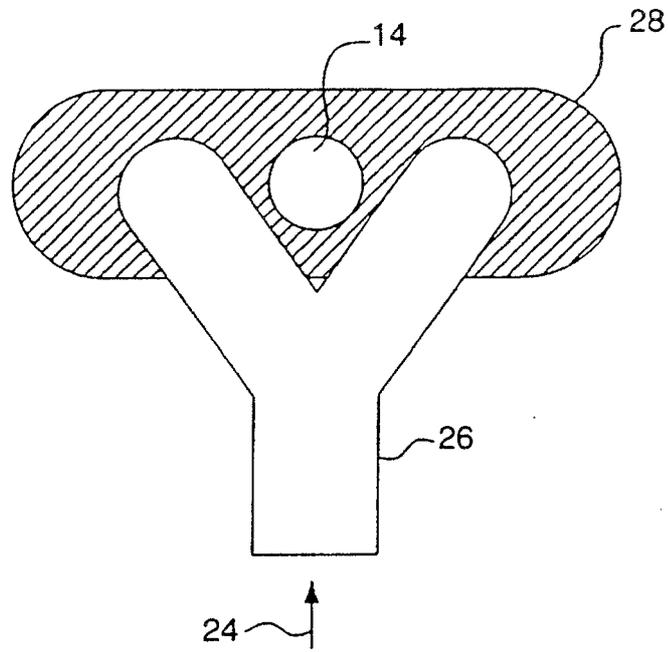


Figura 4

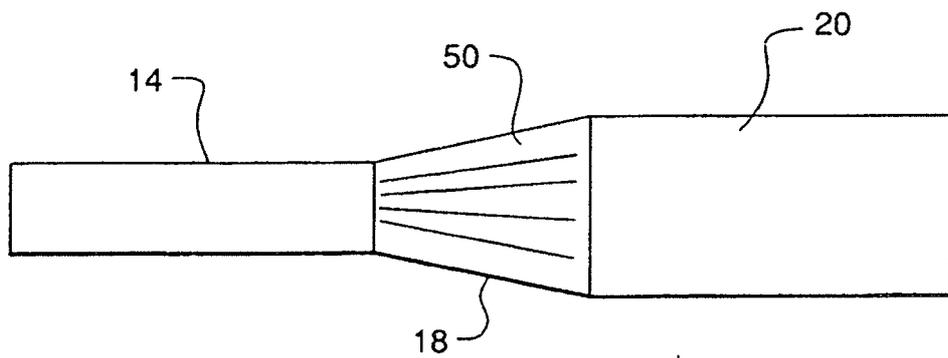


Figura 5

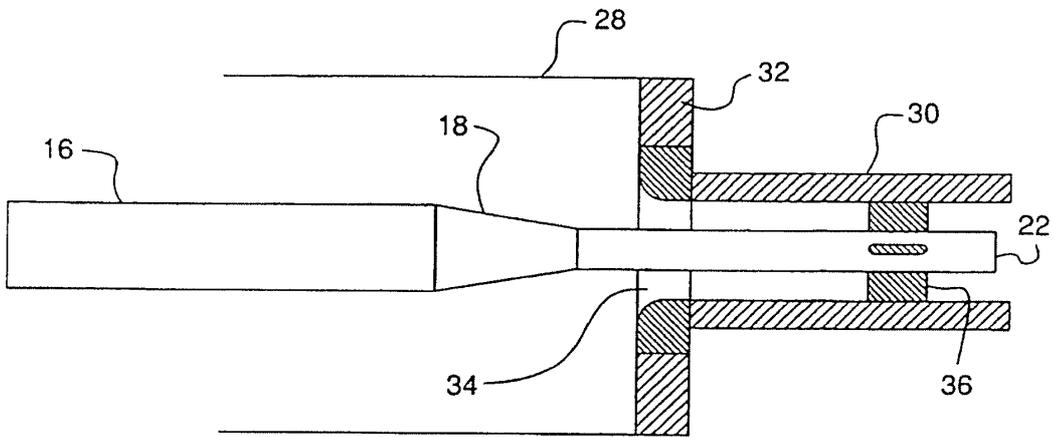


Figura 6

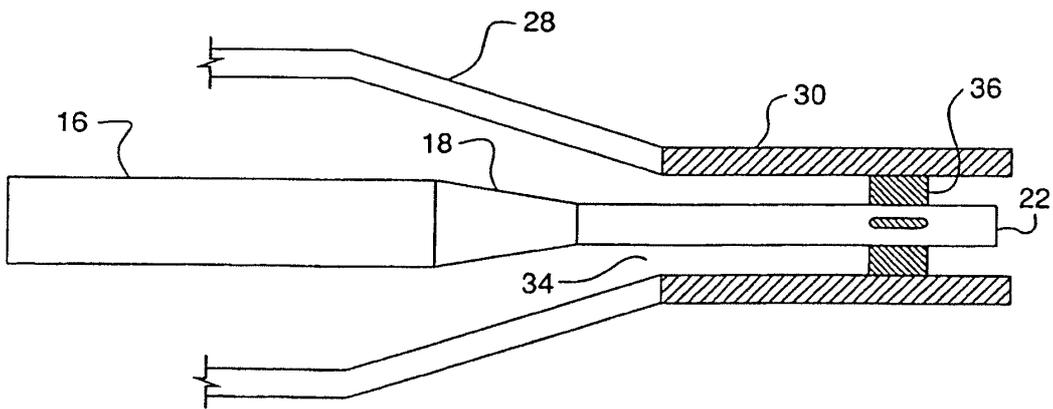


Figura 7

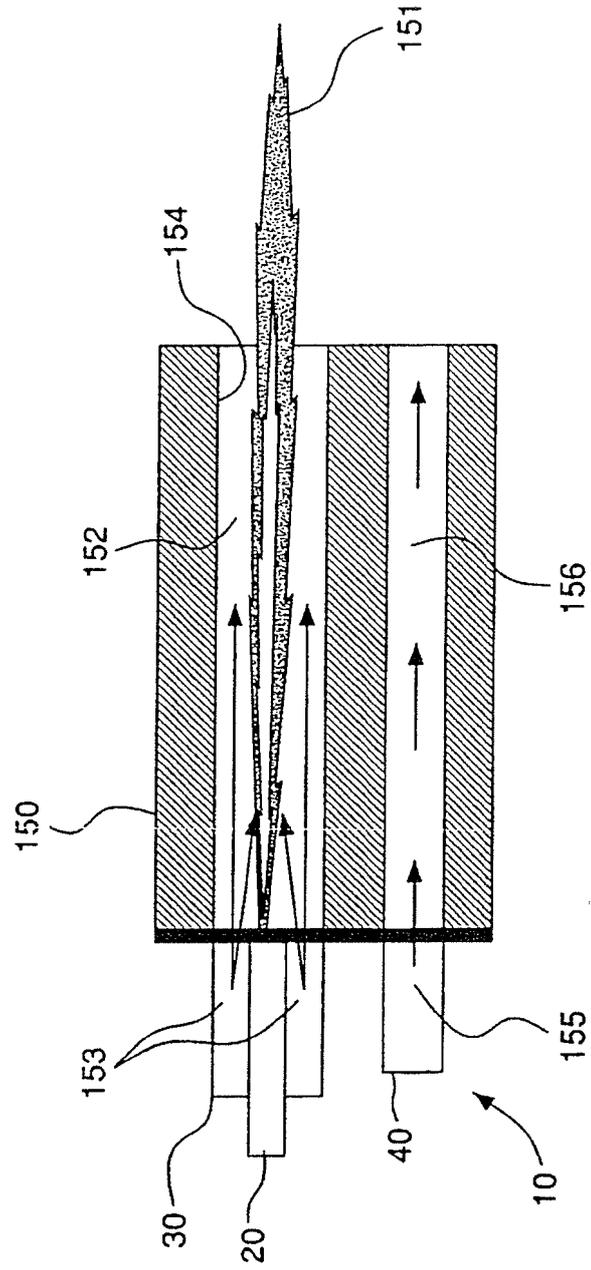
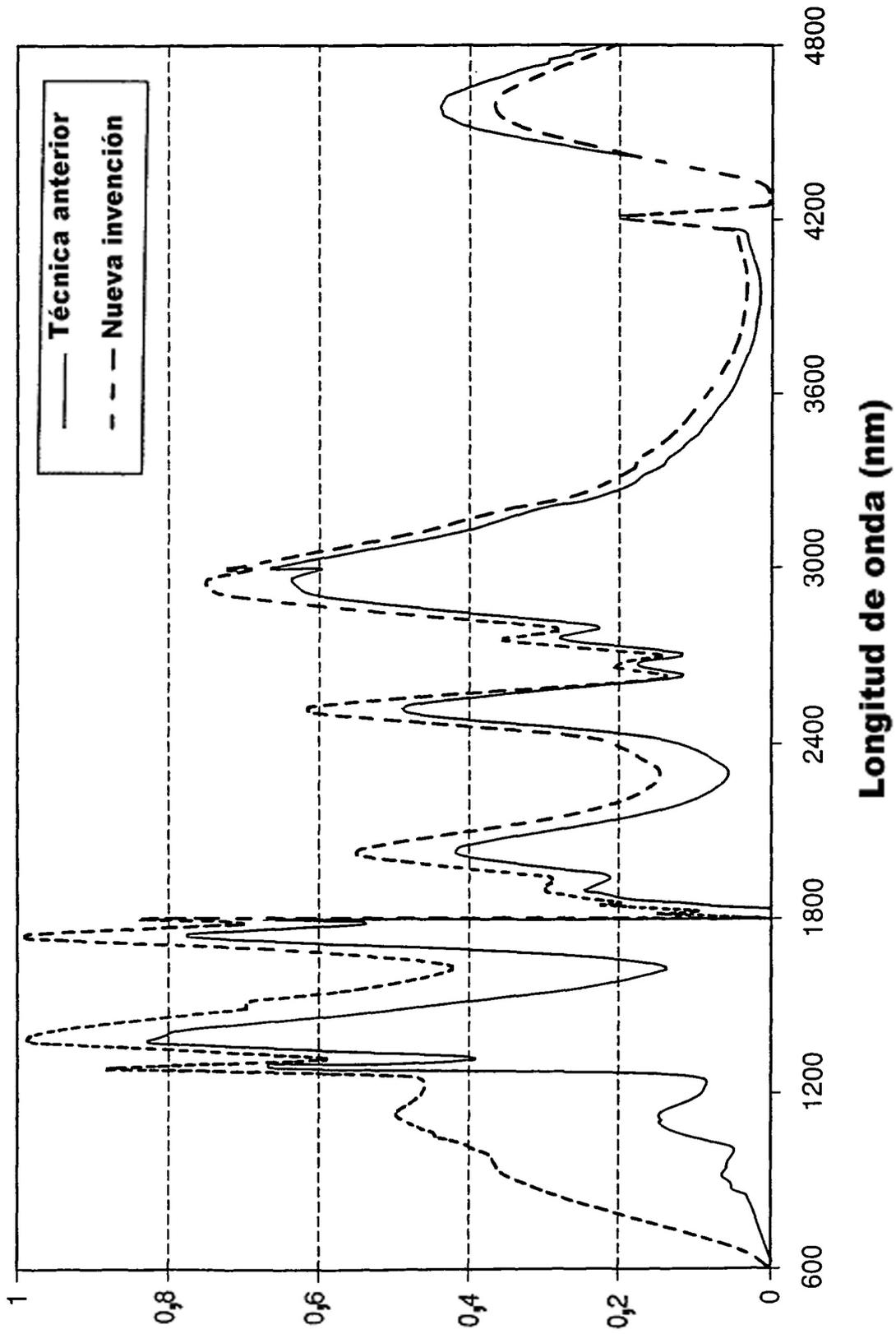


Figura 8



Longitud de onda (nm)
Figura 9

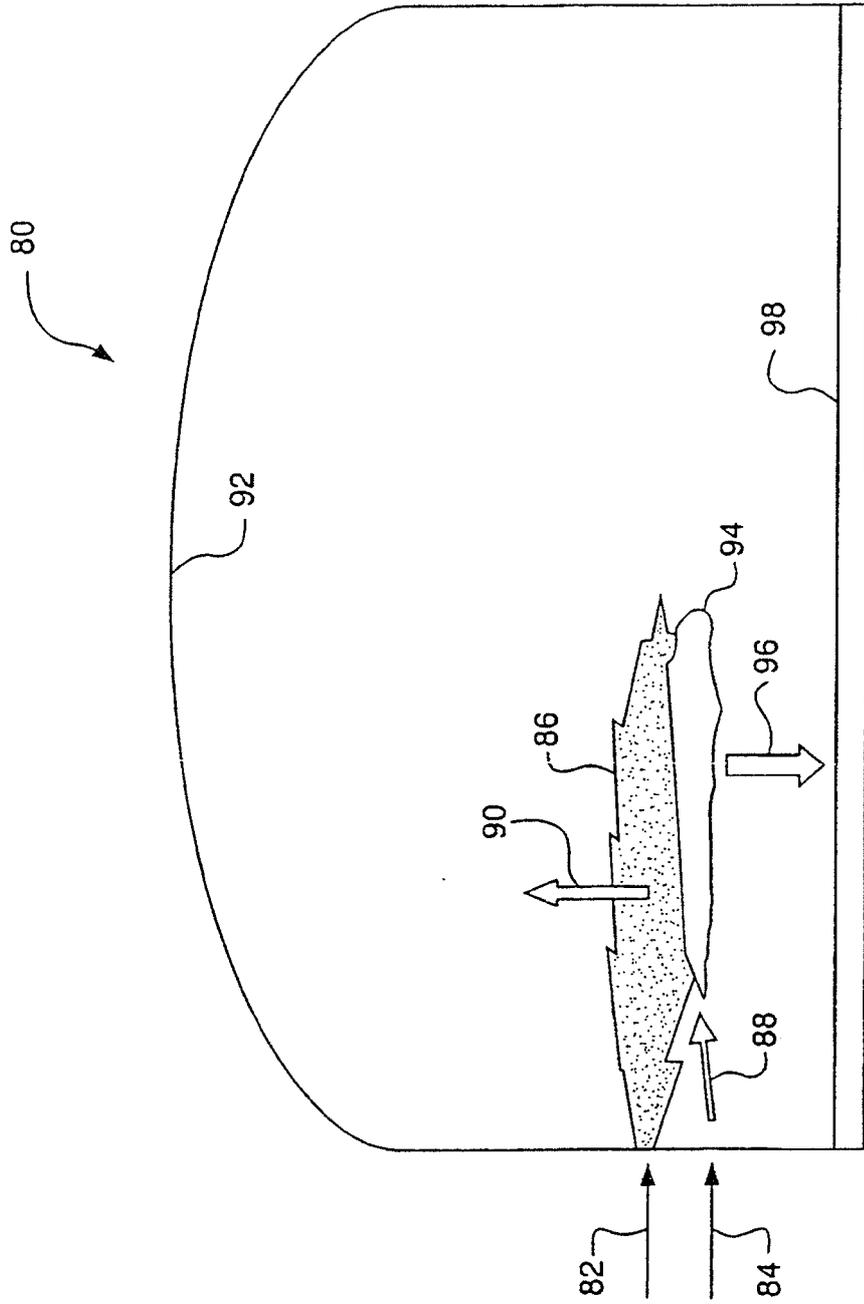


Figure 10

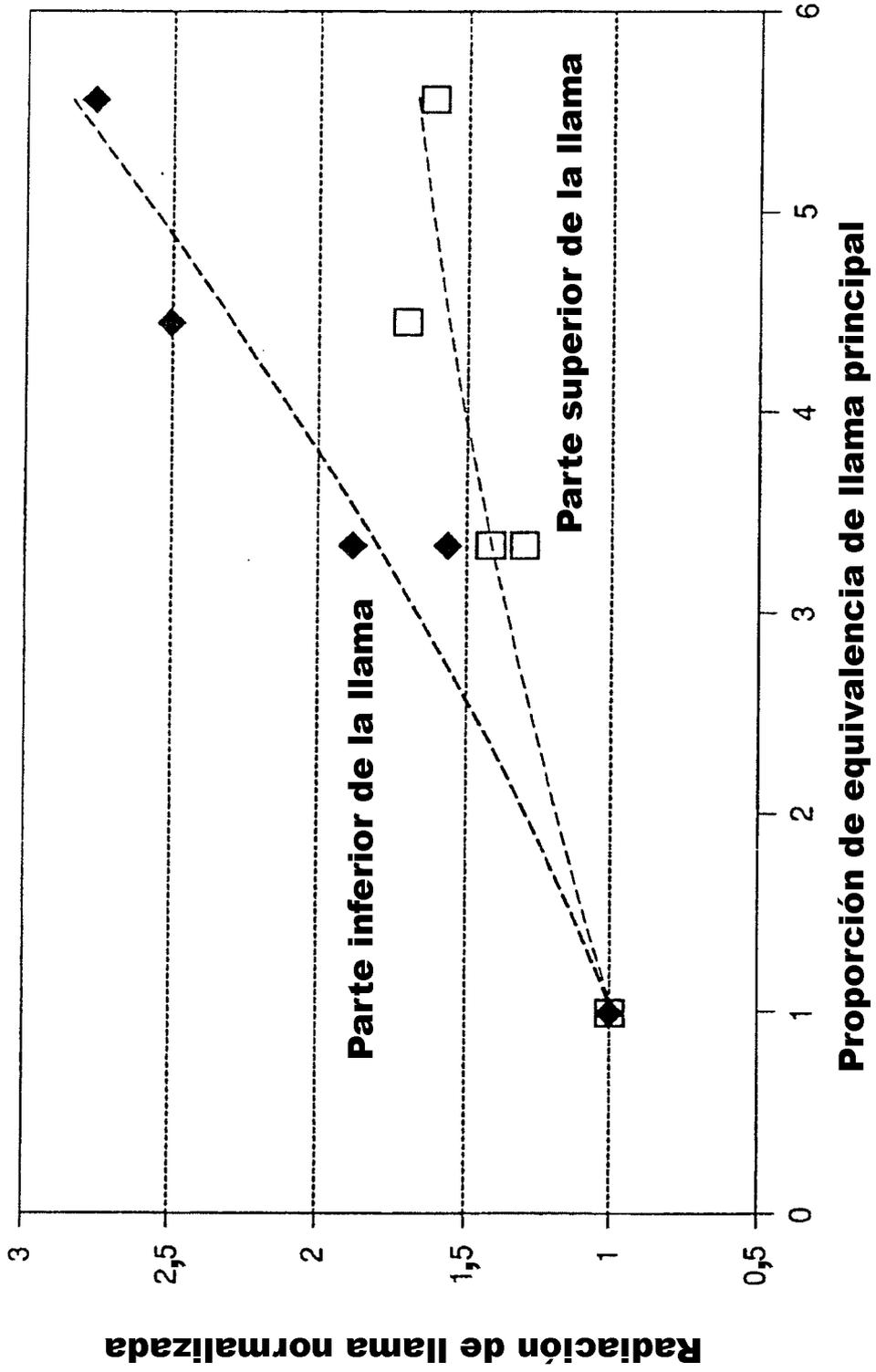


Figura 11

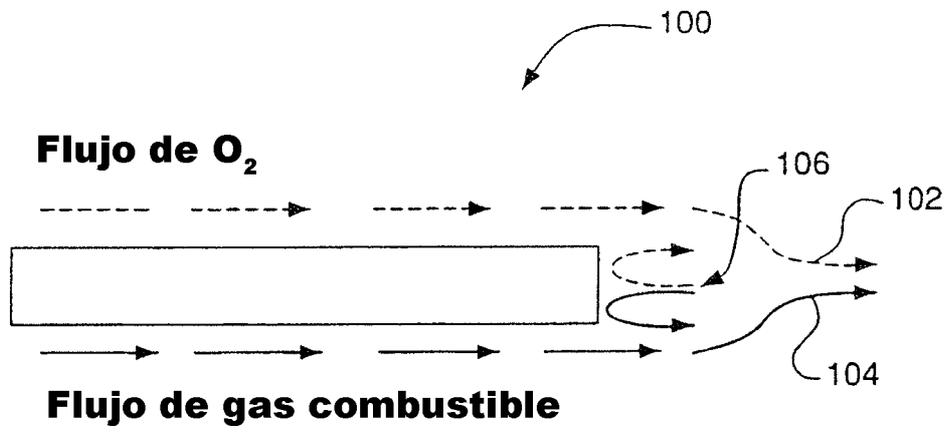


Figura 12
(técnica anterior)

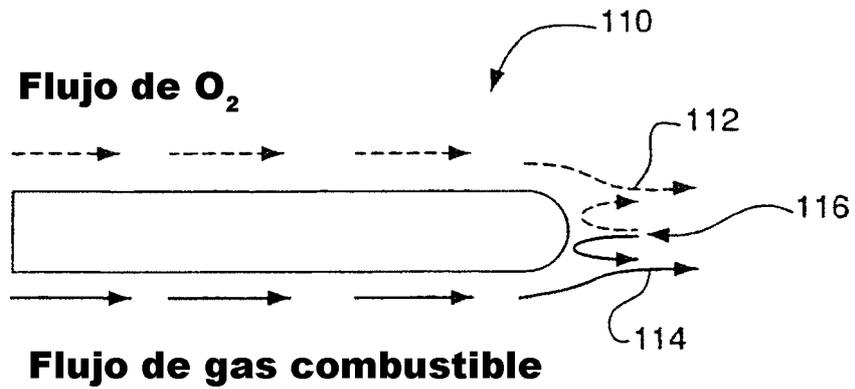


Figura 13
(técnica anterior)

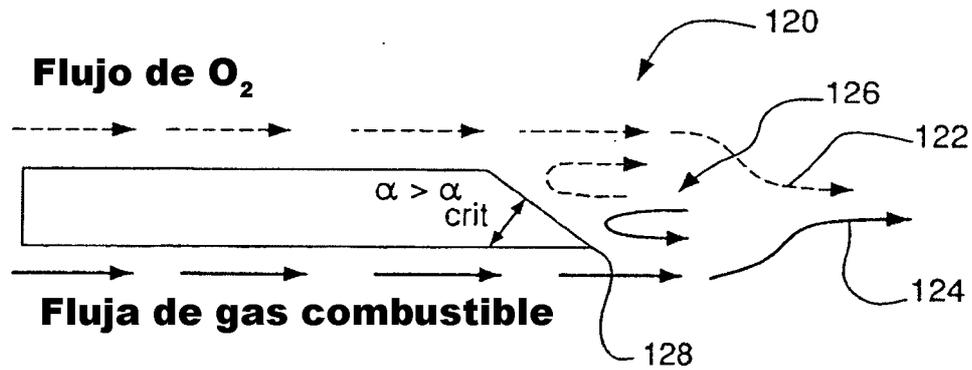


Figura 14
(técnica anterior)

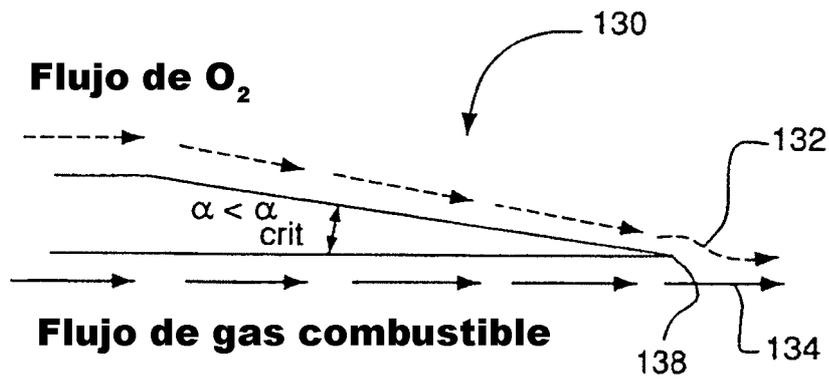


Figura 15
(técnica anterior)

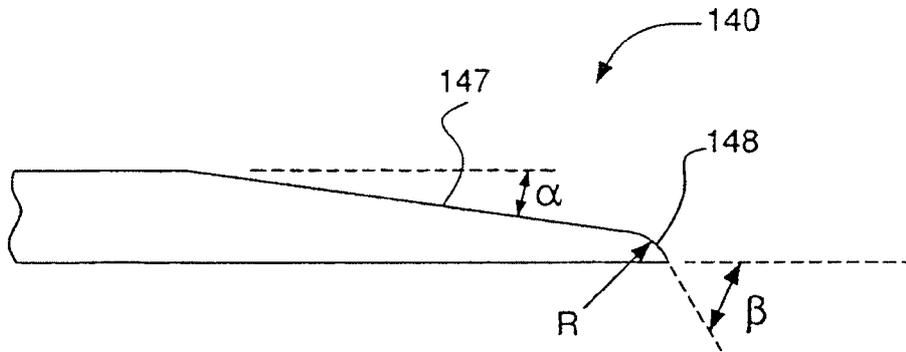


Figura 16

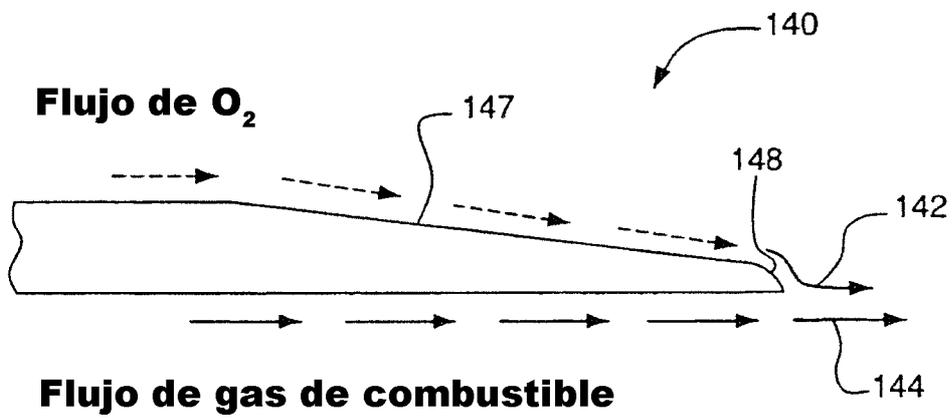


Figura 17

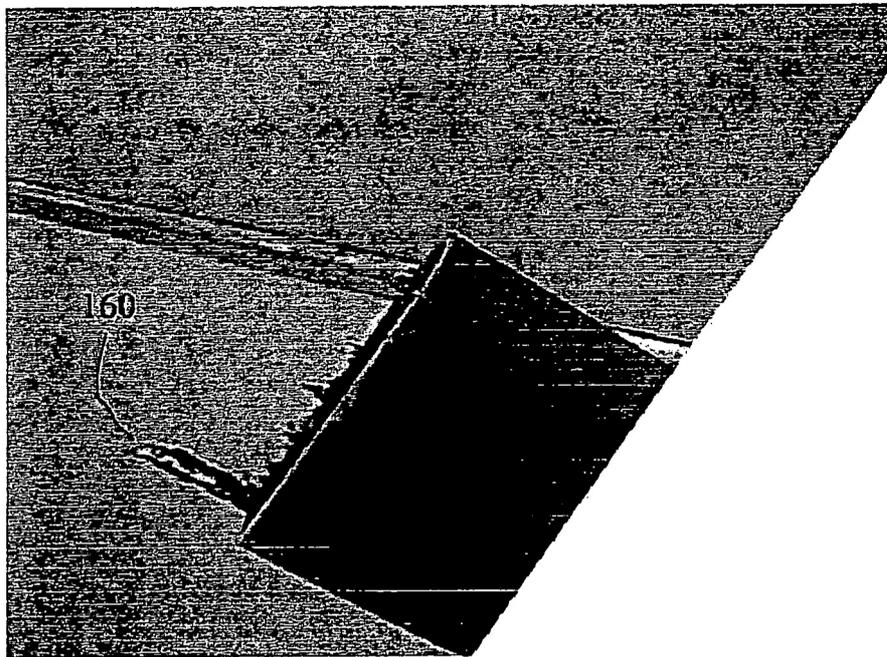


Figura 18

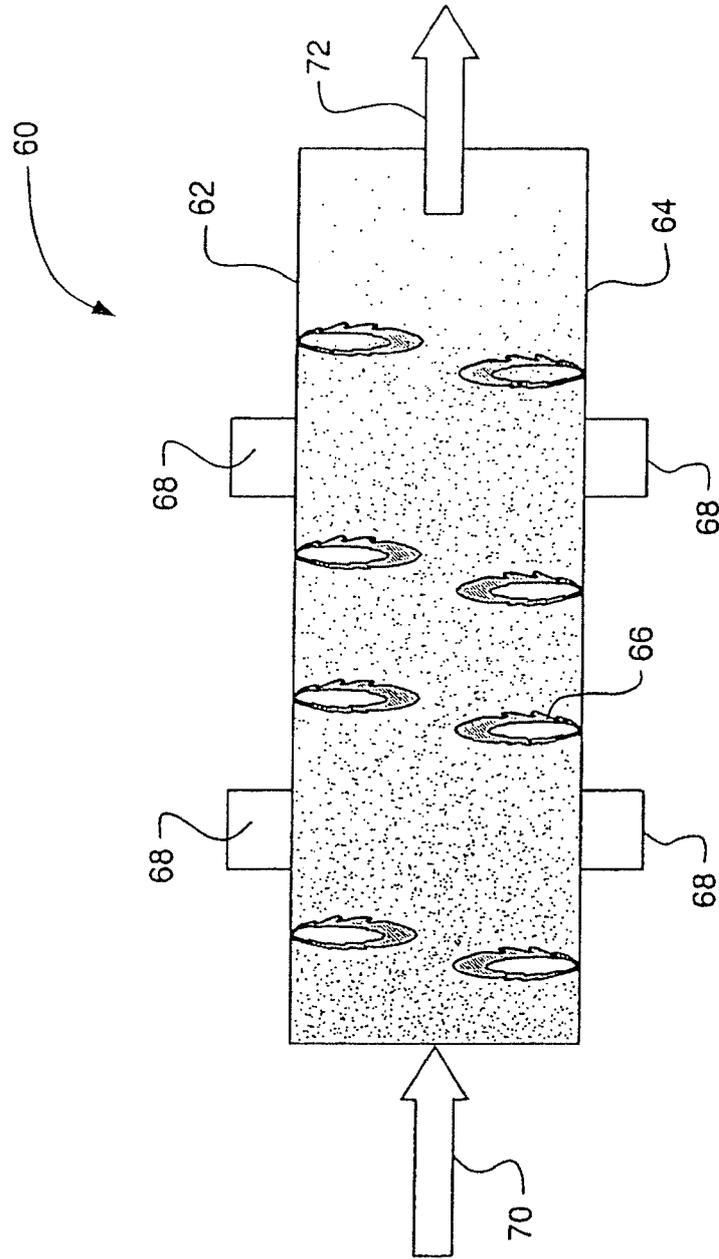


Figure 19