

QUEMADOR Y MÉTODO DE FUNCIONAMIENTO

REFERENCIA CRUZADA CON SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud invoca prioridad sobre la solicitud estadounidense no provisional 18/233,393, presentada el 14 de agosto de 2023, la cual se incorpora aquí como referencia.

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a quemadores, en particular a quemadores industriales para combustibles gaseosos, y especialmente a quemadores que pueden funcionar, por ejemplo, como quemadores de aire-combustible o de aire-oxicombustible.

ANTECEDENTES

En la técnica anterior, muchos hornos de precalentamiento para calentamiento o fusión a alta temperatura están diseñados considerando un quemador de aire-combustible.

Debido al aumento en la demanda de productos, los fabricantes buscan incrementar la productividad de las plantas operativas actuales. Además, el mayor escrutinio por parte de los reguladores de emisiones exige mejorar la eficiencia y reducir las emisiones del funcionamiento actual de los hornos.

Además, la necesidad de descarbonización ha generado una mayor presión para el uso de combustibles de baja intensidad de carbono, como el hidrógeno y el amoníaco, en la industria de aplicaciones de calefacción media y alta.

Existen varias maneras de abordar estos desafíos.

En primer lugar, se pueden utilizar quemadores de combustible flexible, capaces de funcionar con cualquier combustible gaseoso, como gas natural, gas licuado de petróleo, biogás, gas de síntesis, hidrógeno, amoníaco u otros gases, y que cumplen con los criterios de emisiones y rendimiento térmico del horno de calentamiento o fusión. El diseño de un quemador de combustible gaseoso de combustible flexible presenta varios desafíos, dependiendo del tipo y diseño del quemador.

Además de la amplia variación en el comportamiento de combustión de estos combustibles (bien documentada en la literatura sobre combustión), por ejemplo, las diferencias en el poder calorífico, las velocidades de reacción y los límites de inflamabilidad de los combustibles gaseosos representan un desafío al diseñar un quemador. Por ejemplo, un desafío radica en que, al sustituir el gas natural por hidrógeno

(H₂), el flujo volumétrico total de gas aumenta para la misma potencia calorífica (MMBtu) del quemador. Este aumento del flujo volumétrico repercute en las velocidades de salida de la boquilla, lo que, según el diseño del quemador, puede afectar la estabilidad de la llama, su perfil de calentamiento y las características de emisión.

5 En segundo lugar, un quemador de aire-oxicomcombustible (AOF) puede ser una solución viable, ya que permite sustituir parcialmente el aire como oxidante por oxígeno puro o aire enriquecido con oxígeno. Los quemadores AOF contribuyen a incrementar la productividad y la eficiencia térmica de una planta por diversas razones, razones
10 ampliamente documentadas en la literatura [Baukal Jr, Charles E. Oxygen-enhanced combustion. CRC press, 2010]. Entre las principales razones se incluyen el aumento de la eficiencia térmica de la planta al disminuir el nitrógeno diluyente, lo que reduce el calor absorbido y disipado por este, y las mayores temperaturas máximas, que permiten una mayor tasa de transferencia de calor por radiación de la llama.

15 La magnitud de los beneficios del quemador AOF en el proceso depende del enriquecimiento total de oxígeno del mismo. Baukal Jr., Charles E. Oxygen-enhanced combustion. (Combustión mejorada con oxígeno), CRC Press, 2010 muestra una gráfica de la energía disponible frente a la composición del oxidante a diferentes temperaturas de escape. Los inventores observan que el calor disponible aumenta rápidamente con niveles iniciales de enriquecimiento de aire de hasta el 35 % al 45 %, pero con un aumento
20 adicional en el nivel de enriquecimiento, los beneficios del proceso aumentan, aunque a un ritmo menor. Esto se considera importante, ya que el calor disponible es una medida indirecta de la eficiencia térmica. Dicha gráfica proporciona cierta orientación para que los operadores de hornos puedan optar por operar el quemador o el horno a niveles intermedios de enriquecimiento, optimizando así el equilibrio entre los beneficios del
25 proceso y el costo del oxígeno.

Otros desafíos de los quemadores AOF son las emisiones de NO_x, ya que, a medida que aumenta el nivel de enriquecimiento del aire, la tendencia del quemador a formar NO_x se incrementa debido a un aumento de la concentración local de oxígeno. La formación
30 térmica de NO_x continúa aumentando hasta alcanzar un cierto nivel de enriquecimiento (dependiendo del diseño del quemador, podría alcanzar un máximo entre el 40 % y el 60 %). Al aumentar aún más el nivel de enriquecimiento por encima del 40 % al 60 %, la emisión de NO_x comienza a disminuir a medida que la concentración local de N₂ disminuye, y la formación de NO_x continúa disminuyendo conforme el funcionamiento del quemador se acerca al de un quemador de oxicomcombustible puro.

Por lo tanto, un primer objetivo de la presente invención es proporcionar un quemador ventajoso que mitigue o supere uno o más de los desafíos mencionados. La invención proporciona un quemador con flexibilidad de combustible. Este quemador también permite el funcionamiento en modo aire-combustible y/o aire-oxi-combustible sin necesidad de modificaciones. Además, este quemador produce bajos niveles de NOx en todas estas condiciones de funcionamiento.

Los diseños previos de quemadores del estado de la técnica se pueden resumir de la siguiente manera:

La patente EP 3 967 925 A1 describe un quemador con una sección interior diferente a la de la presente invención.

Las patentes US 5308239 y US 5871343 divulgan quemadores con un diseño de combustión aire-oxígeno que presentan un concepto y una estrategia de diseño de NOx diferentes a los de la presente invención.

La patente US 8727767 divulga un quemador de llama plana que funciona en modos diferentes a los de la presente invención.

La patente AU 684296B2 divulga un quemador de combustión aire-combustible y aire-oxígeno con un diseño diferente, donde el aire se arremolina alrededor de los inyectores de combustible y oxígeno, en comparación con la presente invención.

RESUMEN DE LA INVENCION

En general, la presente invención se refiere a quemadores, particularmente a quemadores que pueden utilizarse en aplicaciones de alta temperatura, especialmente quemadores que requieren funcionamiento en modo aire-combustible, oxi-combustible y/o aire-oxi-combustible, según las necesidades de funcionamiento del horno.

Específicamente, la presente invención se refiere a la materia objeto de la invención, tal como se define en las reivindicaciones.

La presente invención proporciona un quemador que puede utilizarse en aplicaciones que requieren el funcionamiento tanto en modo aire-combustible como en modo aire-oxi-combustible, según las necesidades operativas del horno.

El quemador de la invención ayuda a superar los desafíos mencionados gracias a un nuevo diseño de quemador que ofrece flexibilidad de combustible (funciona, por ejemplo, con gas natural o hidrógeno y/o mezclas de gas natural/hidrógeno), flexibilidad operativa entre los modos aire-combustible y aire-oxi-combustible, y bajas emisiones de NOx y CO en ambos modos.

En general, los quemadores de la invención pueden utilizarse en cualquier aplicación que requiera altas temperaturas, como por ejemplo, en aplicaciones como el reformado de metano con vapor, los hornos de recalentamiento en la industria siderúrgica o los hornos de fusión secundaria.

5 En términos generales, la invención proporciona un quemador (1) que comprende una fuente de encendido (10), un conducto de combustible primario (20) que comprende una salida de combustible primaria (22) que presenta múltiples orificios de salida (23) para el suministro de combustible primario a una cámara de encendido (25), la cual se encuentra dentro del conducto de combustible primario (20) extendiéndose desde la salida de combustible primario (22) hasta el plano final del conducto de combustible primario (24) ,
10 donde la pared del conducto de combustible primario (29) presenta una pluralidad de orificios de purga (28) en la posición de la cámara de encendido (25), un conducto de oxidante principal (30) para el suministro de oxidante principal, que comprende un conducto anular intermedio (35) dentro de una porción aguas abajo (5) del quemador, cuyo conducto anular intermedio está configurado para permitir la división del oxidante principal en dos porciones, de manera que una primera porción se introduce en la cámara de encendido (25) a través de la pluralidad de orificios de salida (28) para mezclarse con el combustible principal, y una segunda porción se introduce en una sección de remolino (33), la cual comprende además el conducto de oxidante principal, un conducto de combustible secundario (40) para el suministro de combustible secundario, que tiene una salida de combustible secundario (44) en su extremo aguas abajo.

La presente invención también proporciona, entre otras cosas, un horno que incluye el quemador de la presente invención, así como métodos para operar dichos quemadores.

A continuación se describen otras ventajas particulares de los quemadores de la presente invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La presente invención se describirá a continuación en relación con las figuras adjuntas, donde los mismos números de referencia denotan elementos iguales.

La Figura 1a es una vista lateral a modo de ejemplo de una sección aguas abajo de un quemador a modo de ejemplo de la presente invención, incluyendo una sección transversal en su extremo aguas abajo. Muestra particularmente los conectores de los conductos respectivos y una disposición preferida con un eje central.

La Figura 1b es una vista lateral en sección transversal a modo de ejemplo de una sección aguas abajo de un quemador a modo de ejemplo de la presente invención, incluyendo una sección transversal en su extremo aguas abajo. Muestra particularmente los conectores de los conductos respectivos y una disposición preferida con un eje central.

5 La Figura 2a es una vista lateral en sección transversal a modo de ejemplo de una sección aguas abajo de un quemador de la presente invención. La figura 2 muestra el flujo de los diversos componentes, como los combustibles primario y secundario, el oxidante principal (por ejemplo, aire, oxígeno o combinaciones de ambos), que se divide en una sección de orificio de purga y una sección de remolino, así como el oxidante escalonado opcional.

10 La Figura 2b es una vista en sección transversal a modo de ejemplo de una sección aguas abajo de un quemador de la presente invención, donde se destacan los diversos componentes y componentes opcionales, como los orificios de purga de aire, las placas generadoras de turbulencia y los conductos para el oxidante escalonado.

15 La Figura 3a es una vista en sección transversal lateral a modo de ejemplo de una sección aguas abajo de un quemador de la presente invención, donde se destacan ciertas distancias, diámetros y otros aspectos similares, como las dimensiones de los diversos conductos (o tuberías), así como las distancias entre los planos de salida y las salidas.

La Figura 3b muestra una vista en sección transversal a modo de ejemplo de una sección aguas abajo de un quemador de la presente invención, destacando ciertas distancias, diámetros, etc., e indicando D0 como el diámetro de los orificios de salida del combustible principal y D1 como el diámetro de los orificios de salida del aire de purga.

20

La Figura 4 muestra una vista en sección transversal a modo de ejemplo de una sección aguas abajo de un quemador de la presente invención, destacando los ángulos beta y theta, el uso de una placa de combustible principal como salida principal de combustible y una placa de purga de aire opcional para (una sección de) el oxidante principal. Además, muestra cómo los orificios consecutivos en diferentes filas pueden estar escalonados por la mitad del ángulo comprendido entre dos orificios consecutivos en una misma fila.

25

La Figura 5 incluye vistas esquemáticas de un conducto de combustible primario según una realización de la presente invención, destacando una disposición opcional de orificios de purga (de diámetro P1) e indicando orificios opcionales de premezcla de aire, enfatizando además el ángulo α , es decir, el ángulo entre el centro de dos orificios consecutivos medido en el centro del conducto.

30

La Figura 6a es una vista en sección transversal lateral a modo de ejemplo de una sección aguas abajo de un quemador de la presente invención, destacando, por ejemplo, el flujo y la interacción del combustible primario y el oxidante principal.

5 La Figura 6b es una vista correspondiente de una realización que incluye la premezcla parcial de lo anterior como una característica opcional. Los orificios de purga en la pared del tubo 2 desvían una pequeña fracción del oxidante principal hacia el tubo de combustible primario.

La Figura 6c es una vista relacionada, destacando, por ejemplo, la interacción del combustible secundario y el oxidante escalonado.

10 La Figura 7 muestra un esquema del funcionamiento del quemador, ilustrando las distintas etapas de una realización para su operación.

La Figura 8 compara los resultados experimentales (datos de NOx normalizados) obtenidos con un quemador a modo de ejemplo de la invención y con los resultados de la técnica anterior.

15 Las Figuras 9a-c muestran secciones transversales a modo de ejemplo de realizaciones alternativas de la presente invención, que incluyen distintos tipos de premezcla (parcial) del combustible primario y el oxidante principal (por ejemplo, aire), como el uso de un diseño escalonado.

20 La Figura 10 ilustra una vista en sección transversal a modo de ejemplo de realizaciones de la presente invención que incluyen una copa de encendido (75) y una copa de purga de aire (76), y muestra las distancias respectivas L0, L01, L1, etc.

La Figura 11 ilustra además ciertas características (como puntos de anclaje y superficies de estabilización) de un quemador de la invención, tal como se describe en el presente Ejemplo 1.

25 La Figura 12 ilustra otro diseño de quemador al que se hace referencia en el presente Ejemplo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La presente invención proporciona quemadores y otros componentes, tal como se definen en las reivindicaciones.

30 El quemador de la presente invención supera las limitaciones de la técnica anterior descritas anteriormente de diversas maneras.

Por ejemplo, el quemador puede funcionar en modo aire-combustible en un horno frío (es decir, con una temperatura promedio inferior a 400 °F durante el arranque) sin necesidad de oxígeno ni una fuente de encendido continua. Además, el quemador puede funcionar de forma estable en modo de mezcla pobre y baja temperatura de llama. El quemador produce una llama estable (sin desprendimiento) en un amplio rango de modulación de 1:30, incluso con una relación de equivalencia tan baja como 0,25. Esta es una característica importante, especialmente cuando se renueva el revestimiento refractario. El quemador puede funcionar en modo aire-combustible para el curado del refractario, utilizando este modo, que suele generar una llama de temperatura máxima más baja en comparación con los modos oxicomcombustible o aire-oxicomcombustible. Estas características permiten el precalentamiento del horno de proceso a una velocidad controlada para que el proceso se inicie y alcance un estado estacionario dentro del plazo determinado por los requisitos del proceso.

Además, la contrapresión del oxidante (aire y oxígeno y/o aire enriquecido) en los quemadores de la invención es tal que no se requiere ningún dispositivo de compresión secundaria externo para estas corrientes. Esta característica ayuda a reducir los costos operativos del quemador y el mantenimiento asociado con esas actividades.

Asimismo, los quemadores de la invención ofrecen un bajo rendimiento de NOx y pueden operar a velocidades relativamente bajas en comparación con las velocidades de Mach (Ma) = 1 o superiores que requieren algunos quemadores, las cuales exigirían altas presiones de suministro. El aumento en los requisitos de suministro puede incrementar el costo operativo del quemador. La formación de NOx se produce principalmente mediante la formación rápida y térmica de NOx. Como es bien sabido por un experto en la materia, la formación térmica de NOx depende de tres parámetros: la concentración local de oxígeno, la concentración local de nitrógeno y la temperatura local.

Los quemadores actuales utilizan múltiples estrategias simultáneamente para lograr un bajo rendimiento de NOx. Los tres fluidos, preferiblemente aire, combustible y oxígeno/aire enriquecido con oxígeno, se suministran a través de diferentes salidas/puertos separados espacialmente, lo que reduce la interacción simultánea de O_2 , N_2 y altas temperaturas simultáneamente a nivel local.

Además, el diseño actual del quemador permite la interacción local de la combustión de combustible/aire o combustible/ O_2 , lo que contribuye a aumentar la separación de las zonas de altas temperaturas (combustión de combustible/ O_2) del aire y, por lo tanto, del N_2 .

Asimismo, este diseño de quemador permite una mezcla rápida y completa de una porción de la mezcla aire-combustible en el punto de encendido. Esto se logra mediante la entrada de aire en el chorro de combustible a través de un diseño único de la punta de la copa del quemador (cámara de encendido), lo que permite reducir las temperaturas
5 máximas en comparación con las características comunes de los quemadores sin premezcla. Las menores temperaturas máximas contribuyen a reducir la formación de NOx térmico en comparación con la combustión convencional de mezcla aire-combustible sin premezcla.

Si bien la inyección escalonada de combustible y/u oxidante es una técnica generalmente
10 conocida para reducir las temperaturas máximas de la llama y la formación de NOx, los quemadores aquí presentados pueden emplear la inyección escalonada de oxidante para favorecer una combustión distribuida que reduzca aún más las temperaturas máximas y, por consiguiente, la formación de NOx.

Además, los quemadores de la presente invención pueden optimizarse aún más mediante
15 una relación de división de combustible fija, de modo que no se requiera control activo al cambiar del modo aire-combustible al modo aire-oxi-combustible, lo que reduce el costo de operación del quemador.

Finalmente, los dos puertos de suministro de combustible desempeñan un papel
20 importante en la optimización del funcionamiento del quemador para compensar un cambio en la composición del combustible, por ejemplo, de gas natural o hidrógeno a mezclas de gas natural/hidrógeno, según el proveedor.

Este quemador permite el arranque/encendido con una relación de equivalencia baja
(arranque con mezcla pobre) de hasta 0,25, en particular en situaciones donde no es
25 posible reducir el caudal de aire por debajo de un valor de consigna específico, mientras que el caudal de combustible de arranque se minimiza simultáneamente por motivos de seguridad. La relación de equivalencia se define como la relación entre la relación molar real combustible/aire y la relación molar estequiométrica combustible/aire.

En particular, en un primer aspecto del presente, se proporciona un quemador (1), que
comprende una fuente de encendido(10); un conducto de combustible primario (20) que
30 tiene una salida de combustible primaria (22) que tiene una multiplicidad de orificios de salida de combustible primario (23) para el suministro de un combustible primario a una cámara de encendido (25), que está ubicada dentro del conducto de combustible primario (20) y que se extiende desde la salida de combustible primaria (22) hasta el plano final del conducto de combustible primario (24), donde la pared del conducto de combustible
35 primario (29) que rodea la cámara de encendido (25) comprende una pluralidad de

orificios de purga (28); un conducto de oxidante principal (30) para el suministro de un oxidante principal, que comprende un conducto anular intermedio (35) en una porción aguas abajo (5) del quemador, dicho conducto anular intermedio (35) está configurado para permitir la división del oxidante principal, de modo que una primera porción se introduce en la cámara de encendido (25) a través de la pluralidad de orificios de purga (28) para mezclarse con el combustible primario; un conducto de combustible secundario (40) para el suministro de un combustible secundario, que tiene una salida de combustible secundario (44) en su extremo aguas abajo; donde al menos en la porción aguas abajo (5) del quemador (1), en la que se encuentran la salida de combustible primario (22), la cámara de encendido (25), el conducto anular intermedio (35) y la salida de combustible secundario (44), el conducto de combustible primario (20) está rodeado por el conducto de oxidante principal (30) y el conducto de combustible secundario (40).

En el presente documento, la expresión "sección aguas abajo del quemador", en la que se encuentran ciertas salidas, se refiere a la sección aguas abajo que comprende todas dichas salidas. Además, dicha sección comprende también la sección de remolino y/o los orificios de purga.

Los términos "porción aguas abajo" y "sección aguas abajo" se utilizan en el presente documento indistintamente.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, al menos en la porción aguas abajo (5) del quemador (1), donde se encuentran la salida principal de combustible (22), la cámara de encendido (25), el conducto anular intermedio (35) y la salida secundaria de combustible (44), el conducto de oxidante principal (30) y el conducto de combustible secundario (40) están dispuestos esencialmente de forma concéntrica alrededor del conducto de combustible primario (20).

En realizaciones particulares de la presente invención, donde uno o más conductos se disponen (concéntricamente) alrededor de uno o más conductos, dichos conductos se disponen alrededor de otro en una sección que corresponde a al menos el 20%, preferiblemente al menos el 30 %, particularmente al menos el 40 %, especialmente al menos el 50 %, y en algunas realizaciones al menos el 75 %, de la longitud total del quemador, donde dicha sección incluye la salida principal de combustible, la salida principal de oxidante, la salida secundaria de combustible y la salida auxiliar de oxidante. Además, en caso de que exista una sección de remolino o un anillo de orificio de purga, dicha porción preferiblemente también incluirá la sección de remolino o el anillo de orificio de purga.

En la presente, la "longitud total" del quemador de la invención se determina estableciendo la distancia entre el extremo más aguas arriba y el extremo más aguas abajo de todos los conductos.

5 En otra realización preferida, el conducto de combustible principal, el conducto de oxidante principal y el conducto de combustible secundario (y opcionalmente el conducto de oxidante secundario) se disponen concéntricamente alrededor de la fuente de encendido central a lo largo de toda su longitud.

En realizaciones preferidas de la invención, cuando un conducto se dispone concéntricamente alrededor de otro, se forma un anillo.

10 Por consiguiente, en las realizaciones preferidas aquí descritas, el quemador está configurado de tal manera que el combustible o los oxidantes fluyen a través de al menos un anillo. En la presente invención, dichos anillos pueden caracterizarse además por contener otros elementos de los respectivos conductos (tales como orificios de salida, orificios de purga, una sección de remolino y similares) como se define en otra parte del
15 presente documento.

Asimismo, en las realizaciones preferidas aquí descritas, el quemador se caracteriza porque una o más salidas de los conductos están configuradas como anillos anulares. En la presente invención, dichos anillos anulares pueden caracterizarse por contener elementos adicionales (tales como orificios de salida, orificios de purga, una sección de
20 remolino y similares) tal como se define en otra parte de este documento.

En general, en la presente invención, un conducto se describe como "rodeado" por otro conducto (o varios conductos) si tiene un diámetro menor que el de dicho conducto o conductos y se encuentra dentro de este o dichos conductos.

25 Sin embargo, para que un conducto se considere "rodeado" por otro, no es necesario que esté completamente rodeado por él, sino que puede extenderse aguas abajo o aguas arriba. Se aplican las definiciones correspondientes cuando se dice que un elemento está "dispuesto alrededor" de otro.

En realizaciones preferidas, un conducto que se describe como rodeado por otro u otros conductos comparte su eje longitudinal con el o los otros.

30 En realizaciones preferidas, la cámara de encendido (25) se extiende desde el plano de salida del conducto de combustible principal (55) hasta el plano de salida del conducto anular intermedio (56).

En ciertas realizaciones preferidas, la cámara de encendido (25) se caracteriza por al menos dos (Preferiblemente mediante dos o tres) escalones en su pared, donde cada escalón comprende una hilera de orificios de purga (28).

5 En ciertas realizaciones preferidas, la cámara de encendido (25) comprende una sección con un diámetro exterior menor o igual que el diámetro interior del conducto de combustible primario (20).

10 En ciertas realizaciones preferidas, la cámara de encendido (25) comprende además una sección con un diámetro interior mayor que el diámetro exterior del conducto de combustible primario (20), pero menor que el diámetro interior del conducto anular intermedio (35).

Más específicamente, en un conjunto de realizaciones particulares, el quemador se caracteriza porque la cámara de encendido (25) se extiende desde la salida principal de combustible (22) hasta el plano de salida del conducto anular intermedio (56), donde la pared que rodea la cámara de encendido (25) comprende al menos dos (preferiblemente dos o tres) escalones de conductos anulares con diámetro creciente, cada uno de los cuales comprende varios orificios de purga (28).

20 En otro conjunto de realizaciones particulares, el quemador se caracteriza porque la cámara de encendido (25) se extiende desde la salida principal de combustible (22) hasta el plano de salida del conducto anular intermedio (56), donde la pared que rodea la cámara de encendido (25) comprende dos secciones: i) la primera sección se extiende desde la salida principal de combustible (22) hasta el plano final del conducto de combustible primario (24), donde la pared del conducto de combustible primario (29) que rodea la sección comprende varios orificios de purga (28); ii) la segunda sección tiene un diámetro interior mayor que el diámetro exterior del conducto de combustible primario (20), pero un diámetro exterior menor que el diámetro interior del conducto anular intermedio (35), y comprende también varios orificios de purga (28); y donde iii) el quemador comprende opcionalmente una placa de purga de aire (73) con orificios de purga (32) que se extiende entre el diámetro exterior de la primera sección y el diámetro interior de la segunda sección; y iv) el quemador comprende opcionalmente dos placas mezcladoras mecánicas (74), cada una ubicada aguas abajo y adyacente a las dos secciones mencionadas, y una placa de purga (73) con orificios de purga (32) entre el diámetro exterior de la segunda sección y el diámetro interior del conducto anular intermedio (35).

35 Preferiblemente, las placas mezcladoras mecánicas (74) tienen una estructura de disco que interrumpe el flujo de combustible que sale por los orificios de salida de combustible

(23). En particular, la primera placa mezcladora mecánica (mezcladora mecánica 1) tiene una estructura de disco que interrumpe el flujo de combustible que sale de la serie exterior de orificios de salida de combustible (23). El disco interrumpe estos chorros de combustible y facilita la mezcla rápida de combustible y aire dentro de la cámara de encendido.

Preferiblemente, la placa de purga (73) es un disco con orificios de purga (32). Más preferiblemente, la placa/disco se encuentra entre la pared del conducto de combustible (29) y la pared del conducto intermedio dentro del conducto (35).

En otro conjunto de realizaciones particulares, el quemador se caracteriza porque la cámara de encendido (25) se extiende desde la salida principal de combustible (22) hasta el plano de salida del conducto anular intermedio (56), y la pared que rodea la cámara de encendido (25) comprende dos secciones: i) la primera sección tiene un diámetro exterior menor que el diámetro interior del conducto de combustible primario (20) y comprende varios orificios de purga (28), y la pared del conducto de combustible primario (29) que rodea la primera sección también comprende varios orificios de purga (28). Además, la primera sección comprende medios que permiten que el oxidante principal entre en la cámara de encendido (25) en la dirección del flujo entre dos anillos de orificios de salida del combustible; ii) la segunda sección tiene un diámetro interior mayor que el diámetro exterior del conducto de combustible primario (20), pero menor que el diámetro interior del conducto anular intermedio (35), y comprende varios orificios de purga (28). Opcionalmente, el quemador también comprende iii) una placa de purga (73) con orificios de purga (32) ubicados entre el diámetro exterior de la primera sección y el diámetro interior de la segunda sección, y iv) una placa de purga (73) con orificios de purga (32) ubicados entre el diámetro exterior de la segunda sección y el diámetro interior del conducto anular intermedio (35).

En ciertas realizaciones preferidas, la cámara de encendido (25) comprende una copa de encendido (75) y una copa de purga (76). Preferiblemente, la copa de encendido (75) se encuentra en una primera sección de la cámara de encendido (25), y la copa de purga (76) se encuentra en una segunda sección de la cámara de encendido (25), estando esta última ubicada aguas abajo de la primera sección.

Más específicamente, en un conjunto de realizaciones particulares, el quemador se caracteriza porque la cámara de encendido (25) se extiende desde la salida de combustible principal (22) hasta el plano de salida del conducto anular intermedio (56), donde la pared que rodea la cámara de encendido (25) comprende dos secciones, donde i) la primera sección tiene un diámetro exterior menor o igual al diámetro exterior del

conducto de combustible principal (20) y comprende una pluralidad de orificios de purga (28), donde la pared que rodea la primera sección comprende una pluralidad de orificios de purga (28), y donde la primera sección también comprende medios que permiten que el oxidante principal ingrese además a la cámara de encendido (25) en la dirección del flujo, ii) la segunda sección tiene un diámetro interior mayor que el diámetro exterior del conducto de combustible principal (20), pero la segunda sección tiene un diámetro exterior menor que el diámetro interior del conducto anular intermedio (35), y comprende una pluralidad adicional de orificios de purga (28). Preferiblemente, el quemador comprende además una placa de purga (73) con orificios de purga (32) ubicados entre el diámetro exterior de la primera sección y el diámetro interior de la segunda sección. Preferiblemente, el quemador comprende además una placa de purga (73) con orificios de purga (32) ubicados entre el diámetro exterior de la segunda sección y el diámetro interior del conducto anular intermedio (35). Preferiblemente, el quemador comprende opcionalmente una placa mezcladora mecánica (74) ubicada aguas abajo y adyacente a la primera sección.

Preferiblemente, el quemador comprende además una fuente de encendido (10), que preferiblemente termina en la cámara de encendido (25).

En ciertas realizaciones, la fuente de encendido (10) es una fuente de encendido central con un eje central (15) y un plano final del conducto (16).

En las realizaciones preferidas aquí descritas, el eje principal (2) del quemador (1) coincide con el eje central (15) de la fuente de encendido (10).

Preferiblemente, al menos en la sección aguas abajo (5) del quemador (1), la fuente de encendido central (10) está rodeada por el conducto de combustible primario (20), el conducto de oxidante principal (30) y el conducto de combustible secundario (40), y opcionalmente por varios conductos de oxidante secundario (50).

En ciertas realizaciones, el eje principal (2) del quemador (1) coincide con el eje central (15) de la fuente de encendido (10).

Además, la fuente de encendido (10) también puede denominarse en la presente "tubo 1".

La fuente de encendido (central) también se podrá denominar aquí simplemente "encendedor".

El diámetro exterior de la fuente de encendido (10) se define como D2.

Por consiguiente, la pared de la fuente de encendido central (19) tendrá un diámetro exterior D2.

Además, la fuente de encendido central se ubica preferiblemente en el centro del quemador, a lo largo de toda su longitud, y los demás conductos del quemador se disponen concéntricamente alrededor de dicha fuente.

El conducto de combustible primario (20) se denominará aquí "tubo 2" y es un conducto para combustible gaseoso.

El diámetro interior del conducto de combustible primario (20) se define como D3.

Por consiguiente, la pared del conducto de combustible primario (29) tiene un diámetro interior D3.

En ciertas realizaciones, el plano final del conducto de combustible primario (24) coincide con el plano final de la cámara de encendido (26).

El conducto de combustible primario (20) incluye además una salida principal de combustible (22). En ciertas realizaciones, dicha salida principal de combustible (22) se configura como una placa con orificios de salida de combustible (23), en particular como una placa de purga de aire con orificios de salida de combustible (23).

El conducto de combustible primario (20) puede incluir además un conector de combustible principal específico (21).

En este documento, la distancia entre la salida principal de combustible (22) y el plano final del conducto de combustible primario (24) y/o el plano final de la cámara de encendido (26) se puede definir como L0. Por consiguiente, en ciertas realizaciones, la salida principal de combustible (22) se encuentra a una distancia L0 del plano final del conducto de combustible primario (24), aguas arriba del mismo. Preferiblemente, el plano final del conducto de combustible primario (24) coincide con el plano final de la cámara de encendido (26).

En los quemadores aquí descritos, el conducto de combustible primario (20), más específicamente la salida principal de combustible (22), incluye además orificios de salida de combustible principal (23). Por consiguiente, la salida principal de combustible (22) también puede denominarse aquí "boquilla de distribución de combustible". Dicha salida/boquilla puede describirse como una multiplicidad de orificios que introducen el combustible principal en una cámara de encendido.

En este documento, el diámetro de los orificios de salida del combustible principal (23) se define como D0. Preferiblemente, la relación D0/D2 se encuentra entre 0,04 y 0,5.

- En algunas realizaciones, los orificios de salida del combustible principal (23) se ubican en círculos concéntricos alrededor del centro de la placa de salida del combustible principal. Preferiblemente, el número total de círculos concéntricos se encuentra entre 2 y 7, más preferiblemente entre 2 y 5. Preferiblemente, los orificios son de forma circular.
- 5 Pueden tener cualquier otra forma, como estrellas, triángulos, estrellas dobles, rectángulos, etc.
- Sin ánimo de limitarse a una teoría, dicho tamaño contribuye significativamente a la capacidad de mezclar rápidamente el combustible con el aire circundante.
- En este documento, el ángulo circunferencial definido por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos orificios de salida del combustible principal adyacentes (23) se define como ángulo theta.
- 10 En los quemadores aquí descritos, el conducto de combustible principal (20) incluye además orificios de purga (28).
- En este documento, el diámetro interior de los orificios de purga (28) se define como P1. Preferiblemente, la relación $P1/D2$ se encuentra entre 0,05 y 0,4.
- 15 En determinadas realizaciones, los orificios de purga (28) se disponen en filas alrededor del conducto de combustible primario. Preferiblemente, no habrá más de 5 filas de orificios de purga; más preferiblemente, no más de 3 filas. Preferiblemente, los orificios son de forma circular. Los orificios pueden tener cualquier otra forma, como estrellas, triángulos, estrellas dobles, rectángulos, etc.
- 20 En este documento, la distancia axial entre dos filas de orificios de purga (28), medida entre sus centros, se define como H.
- En este documento, el ángulo circunferencial formado por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos orificios de purga adyacentes (28) se define como ángulo α .
- 25 En determinadas realizaciones, el conducto de combustible primario (20) incluye además orificios de premezcla de aire (27), preferiblemente aguas arriba de la salida principal de combustible (22).
- El diámetro de los orificios de premezcla de aire (27) se define como P0. Preferiblemente, la relación $P0/D2$ se encuentra entre 0,02 y 0,2.
- 30 En determinadas realizaciones, los orificios de premezcla de aire (27) están dispuestos en filas alrededor del conducto de combustible primario. Preferiblemente, no habrá más de 5 filas de orificios de premezcla. Más preferiblemente, no habrá más de 3 filas de orificios de premezcla. Preferiblemente, los orificios son de forma circular. Los orificios

pueden tener cualquier otra forma, como estrellas, triángulos, estrellas dobles, rectángulos, etc.

La distancia entre la pared del conducto de combustible primario (29) y la pared del conducto anular intermedio (37) se define como L4.

- 5 En cuanto al conducto de oxidante principal (30), este se denominará en la presente "tubo 3", en particular, tubo de aire.

El diámetro interior del conducto de oxidante principal (30) se define como D4.

Por consiguiente, la pared del conducto de oxidante principal (39) tendrá un diámetro interior D4.

- 10 La distancia entre el plano final del conducto anular intermedio (36) y el plano final del conducto de oxidante principal (38) se define como L2. En consecuencia, en ciertas realizaciones, el plano final del conducto anular intermedio (36) se encuentra a una profundidad L2 aguas arriba del plano final del conducto de oxidante principal (38).

- 15 En los quemadores descritos, el conducto de oxidante principal (30) incluye además un conducto anular intermedio (35).

En la presente invención, el conducto anular intermedio (35) está configurado para permitir la división del oxidante principal en dos porciones, de manera que la primera porción se introduce en la cámara de encendido (25) a través de varios orificios de purga (28), como se definió anteriormente.

- 20 Preferiblemente, la primera porción representa alrededor del 20 % del flujo volumétrico total. En algunas realizaciones, la primera porción se encuentra en el rango del 2 % al 40 %, preferiblemente entre el 10 % y el 25 %.

- 25 En las realizaciones preferidas descritas, la primera porción del oxidante principal entra en la cámara de encendido perpendicularmente a la salida del combustible principal (a través de la pared periférica de la cámara).

Por consiguiente, en las realizaciones preferidas descritas, la primera porción del oxidante principal entra en la cámara de encendido en una dirección perpendicular a la dirección del flujo del combustible principal.

- 30 Sin ánimo de limitarse a una teoría específica, esto permite una mezcla vigorosa del combustible y el aire de encendido, de modo que las temperaturas máximas de la llama se reducen en comparación con las llamas de difusión típicas. Esto se considera importante para minimizar las emisiones de NO_x generadas por la llama. Además, el

método de introducción de aire también mantiene la pared periférica refrigerada al protegerla del contacto directo con la llama.

En este caso, la distancia entre el plano final del conducto de combustible primario (24) y el plano final del conducto anular intermedio (36) se define como L1. Por consiguiente, en ciertas realizaciones, el plano final del conducto de combustible primario (24) se encuentra a una distancia L1 del plano final del conducto anular intermedio (36), en dirección aguas arriba.

En las realizaciones preferidas de la presente invención, los quemadores se caracterizan porque el conducto de oxidante principal (30) comprende además una sección de remolino (33).

Por consiguiente, el conducto anular intermedio (35) está configurado preferiblemente para permitir la división del oxidante principal en dos porciones, introduciéndose una segunda porción en la sección de remolino (33).

En particular, en las realizaciones preferidas aquí descritas, el conducto anular (35) está configurado para permitir la división del oxidante principal en dos porciones. Una primera porción se introduce en la cámara de encendido (25) a través de los orificios de purga (28) para mezclarse con el combustible principal, y una segunda porción se introduce en una sección de remolino (33), que a su vez comprende el conducto del oxidante principal.

Sin ánimo de limitarnos a la teoría, la segunda porción de aire introducida en la sección de remolino induce un fuerte flujo tangencial en la cámara de combustión que aumenta la velocidad de mezcla entre el oxidante y el combustible, creando además una llama compacta y con poco hollín.

De nuevo, sin ánimo de limitarnos a la teoría, el uso de un remolino para generar turbulencias en el aire es bien conocido en el campo de la combustión. La función principal del remolino es proporcionar un flujo tangencial, por ejemplo, para la combustión. El aire sale del tubo 3 y crea una zona de recirculación en el centro que introduce los gases de combustión calientes de vuelta hacia el plano de salida del quemador, proporcionando una fuente continua de encendido para los reactivos frescos. Los límites superior e inferior del ángulo de remolino están determinados por la longitud del horno y la potencia del quemador.

Preferiblemente, el ángulo de remolino se encuentra entre 5 y 60 grados, e idealmente entre 30 y 45 grados.

En el presente documento, el "ángulo de remolino" se define como el ángulo entre un plano nominalmente tangente a la salida de las palas del generador de remolino y el plano paralelo al eje principal del quemador.

5 Preferiblemente, el número de remolino (definido aquí como la relación entre el flujo axial del momento tangencial y el flujo axial del momento axial) se encuentra en el rango de 0,1 a 1,5.

En ciertas realizaciones, el conducto de oxidante principal (30) incluye además orificios de purga (32) ubicados en la placa de purga de aire (73), particularmente en la dirección del flujo paralela al eje principal (2) del quemador.

10 El diámetro de los orificios de purga (32) se define como D1. Preferiblemente, la relación D1/D2 se encuentra entre 0,04 y 0,5.

En ciertas realizaciones, los orificios de purga (32) están dispuestos circularmente en diferentes diámetros concéntricos, formando de 1 a 7 filas, preferiblemente de 1 a 3 diámetros concéntricos. Preferiblemente, los orificios son de forma circular. Los orificios
15 pueden tener cualquier otra forma, como estrellas, triángulos, estrellas dobles, rectángulos, etc.

En este documento, el ángulo circunferencial definido por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos orificios de purga adyacentes (32) se define como ángulo beta.

El conducto de oxidante principal (30) puede incluir un conector principal de oxidante (31).

20 El conducto de combustible secundario (40) se denomina aquí "tubo 4" y es un conducto para combustible gaseoso.

El diámetro interior del conducto de combustible secundario (40) se define como D5.

Por consiguiente, la pared del conducto de combustible secundario (49) tiene un diámetro interior D5.

25 En ciertas realizaciones, el quemador (1) incluye un generador de turbulencia (47) en el conducto de combustible secundario (40).

Un generador de turbulencia también puede denominarse aquí sistema para generar turbulencias o generador de turbulencias. El sistema puede constar de uno o más discos o placas generadoras de turbulencia. Preferiblemente, dichos generadores de turbulencia
30 se disponen en una pared adicional del conducto de combustible secundario, adyacente a la pared del conducto de oxidante principal.

En este caso, la distancia entre el plano final del conducto de oxidante principal (38) y el plano final (46) del conducto de combustible secundario se define como L3. Por

consiguiente, en ciertas realizaciones, el plano final (38) del conducto de oxidante principal se encuentra a una distancia L3 aguas arriba del plano final (46) del conducto de combustible secundario. Preferiblemente, el plano final (46) del conducto de combustible secundario corresponde al plano final (56) del conducto de oxidante secundario.

- 5 El conducto de combustible secundario (40) puede incluir además un conector de combustible secundario (41).

En realizaciones preferidas de la invención, el quemador comprende además una pluralidad de conductos de oxidante secundario (50) para el suministro de un oxidante secundario (por ejemplo, aire, oxígeno o combinaciones de ambos). En la presente, este
10 último también podrá denominarse "oxidante secundario".

Preferiblemente, dichos conductos están dispuestos formando un anillo exterior. Los conductos se utilizan para el enriquecimiento con oxígeno.

En realizaciones preferidas de la invención, dichos conductos de oxidante secundario (50) pueden incorporar dispositivos generadores de turbulencia (57) para aumentar la mezcla
15 de los chorros con la atmósfera de combustión y/o pueden estar inclinados hacia el centro del quemador con un cierto ángulo (preferiblemente de 0,2° a 25°, más preferiblemente de 0,25° a 10,0°, y más preferiblemente de 0,5° a 5,0°).

En realizaciones preferidas, el oxidante secundario es oxígeno con una pureza del 80 % al 100 % en volumen. En realizaciones alternativas preferidas, el oxidante secundario es
20 aire enriquecido con oxígeno al 23 % o 50 % en volumen.

Sin pretender limitarse a una teoría específica, esta configuración permite separar espacialmente la entrada de oxígeno/aire enriquecido con oxígeno de la entrada de combustible, lo que facilita la mezcla y combustión retardadas y da como resultado un quemador sin llama y de bajas emisiones de NOx.

25 La distancia entre los centros de dos conductos de oxidante secundario (50) ubicados opuestos entre sí con respecto al eje principal (2) del quemador se define como D6.

El diámetro interior de los conductos de oxidante secundario (50) se define como D7.

Por consiguiente, la pared del conducto de oxidante secundario (59) tiene un diámetro interior D7.

30 El ángulo formado por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos conductos de oxidante secundario adyacentes (50) se define como ángulo eta.

Los quemadores de la presente invención están diseñados para funcionar con cualquier combustible gaseoso, como gas natural (GN), hidrógeno (H_2), GLP, biogás, gas de síntesis, amoníaco u otros gases.

Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, el combustible principal utilizado en el quemador es cualquier combustible gaseoso. En las realizaciones preferidas, se selecciona del grupo que consiste en gas natural (GN), hidrógeno (H_2), GLP, biogás, gas de síntesis y amoníaco. En otras realizaciones, se selecciona entre gas natural (GN), mezclas de GN/ H_2 e hidrógeno.

De acuerdo con la presente invención, el combustible secundario es cualquier combustible gaseoso. En las realizaciones preferidas, se selecciona del grupo que consiste en gas natural (GN), hidrógeno (H_2), GLP, biogás, gas de síntesis y amoníaco. En otras realizaciones, se selecciona entre gas natural (GN), mezclas de GN/ H_2 e hidrógeno.

En las realizaciones preferidas, el oxidante principal es el aire.

En general, la naturaleza específica de los combustibles y oxidantes que se utilizarán con el quemador de la presente invención no está particularmente limitada. Además, en algunas realizaciones, el material que fluye a través de un conducto determinado (por ejemplo, combustible u oxidante) puede sustituirse por un material igual o diferente (por ejemplo, oxidante o combustible) al descrito anteriormente. Por ejemplo, se puede utilizar un oxidante secundario en lugar del combustible secundario en el quemador (1). En esta realización particular, el combustible fluye a través del conducto de combustible primario (20) del quemador (1), mientras que el oxidante fluye a través del conducto de oxidante principal (30), el conducto de combustible secundario (40) y, opcionalmente, los conductos de oxidante secundario (50). Alternativamente, en algunas realizaciones, se puede utilizar un combustible secundario en lugar del oxidante principal. En esta realización, el combustible fluye a través del conducto de combustible primario (20) y el conducto de oxidante principal (30) del quemador (1), mientras que el oxidante o el combustible fluyen a través de los conductos de combustible secundario (40) y, opcionalmente, los conductos de oxidante secundario (50). En otras palabras, cualquier combinación de combustible u oxidante puede fluir a través del conducto de combustible primario (20), el conducto de oxidante principal (30), el conducto de combustible secundario (40) y, opcionalmente, los conductos de oxidante secundario del quemador (1).

A efectos de la presente descripción, el "plano de salida" de un conducto se refiere al plano perpendicular al eje principal del conducto, ubicado aguas abajo, donde el

combustible o el oxidante, respectivamente, ya no se encuentran confinados por dos paredes.

A efectos de la presente descripción, el "plano final del conducto" de un conducto se refiere al plano perpendicular al eje principal del conducto, ubicado en el extremo aguas abajo del mismo.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $D3/D2$ varía de 1,5 a 4,5, en particular de 2,0 a 3,0.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $D4/D2$ varía de 3,0 a 9,0, en particular de 3,5 a 5,5.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $D5/D2$ varía de 5,0 a 11,0, en particular de 5,5 a 7,0.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $L1/L4$ varía de 0,5 a 2,5, en particular de 1,0 a 2,0.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $L0/D3$ varía de 0,25 a 1,0, en particular de 0,4 a 0,6.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $(L1+L2)/D3$ varía de 0,25 a 1,0, en particular de 0,4 a 0,6.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $L3/D4$ varía de 0,05 a 0,25, en particular de 0,1 a 0,2.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $D6/D2$ varía de 9,0 a 22,0, en particular de 10,0 a 14,0.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $D6/D5$ varía de 1,75 a 2,5, en particular de 1,8 a 2,1.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $D7/D2$ varía de 0,15 a 1,0, en particular de 0,25 a 0,75.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, $H/P1$ varía de 1,25 a 2,5.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, el ángulo α varía de 3° a 30° , por ejemplo, de 10° a 20° . La relación entre el área de todos los orificios de purga en una fila y el área superficial del cilindro de altura $P1$ y diámetro interior $D2$ se encuentra entre el 10 % y el 55 %.

Sin pretender limitarse a la teoría, un límite inferior del ángulo α ayuda a separar los orificios de manera que no estén demasiado cerca, lo que perturbaría la mezcla de

combustible y aire. Por otro lado, un límite superior del ángulo α evita que los orificios estén demasiado separados y garantiza una comunicación fluida suficiente entre los inyectores adyacentes para mejorar la mezcla y el encendido de la mezcla aire-combustible dentro de la cámara de combustión.

- 5 Cada serie puede disponerse simétricamente escalonada para proporcionar efectos de mezcla tridimensionales. Esta mezcla es fundamental para lograr un encendido fiable del quemador con una relación de equivalencia pobre de tan solo 0,25.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, el ángulo beta oscila entre 5 y 40 grados.

- 10 La placa de aire de purga (73) presenta una porosidad (definida como el área total abierta de la placa que permite el flujo de aire, dividida por el área de la sección transversal de la placa) comprendida entre el 2 % y el 15 %.

- 15 Sin pretender limitarse a la teoría, un ángulo beta menor contribuye a separar los orificios para que no estén demasiado cerca y creen zonas ricas en aire, mientras que un ángulo beta mayor evita que los orificios estén demasiado separados, asegura una comunicación fluida suficiente entre los inyectores adyacentes para proporcionar radicales de llama químicamente activos que favorezcan el encendido y, por lo tanto, mejoren la estabilidad de la llama, suficiente aire para la mezcla aire-combustible y crea zonas de baja velocidad y de recirculación para proporcionar una zona de anclaje de la llama. Este punto de anclaje de la llama es fundamental para evitar que se apague, por ejemplo, en
- 20 circunstancias extremas como cuando el combustible principal se reduce al 10 % de la potencia máxima del quemador y se interrumpe el suministro de combustible secundario.

En algunas realizaciones, el quemador consta de diferentes series de orificios, y los orificios consecutivos de cada serie están escalonados la mitad del ángulo comprendido entre dos orificios consecutivos de la misma serie.

- 25 En las realizaciones preferidas aquí descritas, el ángulo theta oscila entre 10 y 40 grados.

La placa de salida del combustible principal (72) presenta una porosidad (definida como el área total abierta de la placa que permite el flujo del combustible, dividida por el área de la sección transversal de la placa) comprendida entre el 2 % y el 25 %.

- 30 Sin pretender limitarse a la teoría, un límite inferior del ángulo θ ayuda a separar los orificios para que no estén demasiado cerca y eviten la entrada de aire en el chorro de combustible cuando ambos se aproximan demasiado. Un rango superior del ángulo θ evita que los orificios estén demasiado separados y garantiza un acoplamiento suficiente entre el desarrollo de los dos chorros para proporcionar una llama estable en un amplio rango de modulación y relación de equivalencia.

En las realizaciones preferidas aquí descritas, el ángulo θ varía de 10° a 70° , en particular de 40° a 60° .

5 En algunas realizaciones, el quemador comprende diferentes filas de orificios, y los orificios consecutivos en diferentes series están escalonados por la mitad del ángulo comprendido entre dos orificios consecutivos en una misma fila.

En las realizaciones preferidas, el quemador (1) está configurado de tal manera que la velocidad del combustible primario a la salida de los orificios de salida (23) se encuentra entre 30 pies/s y 500 pies/s, en particular entre 40 pies/s y 400 pies/s.

10 Sin limitarse a la teoría, se ha determinado que la velocidad del combustible principal contribuye significativamente a la capacidad de mezclarse rápidamente con el aire circundante. Este rango de velocidades proporciona una llama estable sin ningún desprendimiento .

15 En las realizaciones preferidas, el quemador (1) está configurado de tal manera que la velocidad del oxidante principal a la salida de la sección de oxidante (34) se encuentra entre 5 y 300 pies/s, particularmente entre 10 y 200 pies/s.

20 Sin limitarse a la teoría, la velocidad máxima alcanzable del oxidante principal (preferiblemente aire) suele estar determinada por la presión disponible del soplador de aire. Los inventores actuales han descubierto que estas velocidades, junto con un ángulo de remolino adecuado, proporcionan una mezcla suficiente del aire con los dos combustibles y mantienen una llama estable en un amplio rango de funcionamiento del quemador, incluso en un horno frío.

En realizaciones preferidas, el quemador (1) está configurado de tal manera que la velocidad del combustible secundario se encuentre entre 20 y 200 pies/s, particularmente entre 40 y 120 pies/s.

25 Sin pretender limitarse a una teoría, la velocidad del combustible secundario se determina de forma que proporcione una mezcla suficiente con el aire en remolino, permitiendo así una llama estable. Una velocidad del combustible secundario inferior al límite inferior puede provocar la acumulación de combustible sin reaccionar cerca de la pared del horno. Este combustible puede quemarse posteriormente allí, causando un sobrecalentamiento de la pared superior del reformador. En realizaciones preferidas, el quemador (1) está configurado de tal manera que la velocidad del oxidante secundario se encuentre entre 50 y 500 pies/s, particularmente entre 100 y 300 pies/s.

30 Sin pretender limitarse a la teoría, la velocidad del oxidante secundario se mantiene generalmente alta para que el chorro de aire u oxígeno enriquecido arrastre los gases de

combustión circundantes y reduzca la concentración local de oxígeno antes de que estos chorros de alta concentración de oxígeno entren en contacto con el combustible o la mezcla de combustible/aire parcialmente quemada. Esto favorece una mezcla retardada del combustible y el oxidante, lo que contribuye a una combustión más amplia y a una menor emisión de NOx térmico. El límite superior se determina de forma que el impulso no sea lo suficientemente alto como para provocar una mezcla retardada, lo que resultaría en la salida de combustible sin quemar del horno. Esto es especialmente importante si el horno es pequeño, ya sea de ancho o de largo. Además, un aumento adicional de la velocidad incrementaría la presión requerida para el suministro. El aumento de la presión de suministro requeriría un dispositivo de compresión secundario, lo que incrementaría el costo operativo del quemador.

En realizaciones preferidas, el quemador de la invención funciona de tal manera que:

- i) Durante el arranque, aproximadamente el 100 % de la potencia térmica total (definida como la suma del producto del poder calorífico (superior o inferior) y el caudal de cada combustible) del quemador es suministrada por el combustible principal; y/o
- ii) durante el funcionamiento normal, aproximadamente entre el 25 y el 65 %, preferiblemente entre el 45 y el 65 %, del poder calorífico total del quemador es suministrado por el combustible principal, y el resto, por el combustible secundario.

Preferiblemente, el combustible secundario suministra el resto.

En realizaciones preferidas, el quemador está configurado de tal manera que: i) el caudal volumétrico del oxidante de la cámara de encendido es de aproximadamente entre el 5 % y el 25 % del caudal total del oxidante principal; y/o ii) el caudal volumétrico del oxidante premezclado es de aproximadamente entre el 2 % y el 10 % del caudal total del oxidante principal. y/o iii) el caudal volumétrico desviado a los conductos oxidante secundario (50) es de aproximadamente el 2 al 5 % del caudal del oxidante principal.

En un conducto determinado, el caudal volumétrico de cualquier fluido se distribuye entre las diferentes salidas correlacionando el área de la sección transversal de cada salida con el área total de la sección transversal de salida de dicho conducto. Para ello, la presión del fluido y la diferencia de presión entre dos conductos adyacentes son criterios importantes para determinar la dirección del flujo. Por ejemplo, la Figura 6B muestra una notación de área de muestra de un conducto de oxidante. El área de la sección transversal de los orificios de purga (28), los orificios de purga de aire (32), la salida de la sección de oxidante (34) y los orificios de premezcla (27) es A0, A1, A2 y A3, respectivamente.

$A0 = 5 \text{ a } 25 \% \text{ de } (A0 + A1 + A2 + A3)$

$A3 = 2 \text{ a } 10 \% \text{ de } (A0 + A1 + A2 + A3)$

5 Por consiguiente, en las realizaciones preferidas aquí descritas, el área de la sección transversal de los orificios de purga (28), los orificios de purga de aire (32), la salida de la sección de oxidante (34) y los orificios de premezcla (27) es A0, A1, A2 y A3, donde A0 = 5 a 25 % de (A0 + A1 + A2 + A3).

10 Asimismo, en las realizaciones preferidas aquí descritas, el área de la sección transversal de los orificios de purga (28), los orificios de purga de aire (32), la salida de la sección de oxidante (34) y los orificios de premezcla (27) es A0, A1, A2 y A3, donde A3 = 2 a 10 % de (A0 + A1 + A2 + A3).

15 Preferiblemente en la presente, el conducto de combustible secundario (40) se encuentra cerca del conducto de oxidante principal (30), donde la relación D5/D4 se sitúa preferiblemente entre 1,05 y 1,40, y más preferiblemente entre 1,1 y 1,25. Esto permite iniciar el flujo de combustible secundario y el encendido por el calor de la llama del combustible primario (que actúa como llama piloto para el combustible secundario) sin necesidad de que el horno supere la temperatura de autoencendido del combustible secundario ni de una fuente de encendido para encenderlo.

Otras realizaciones particulares de la invención se describen en las presentes figuras, las cuales se han esbozado anteriormente y se detallan a continuación:

20 Como se indica, por ejemplo, en la Figura 6a, una porción del oxidante principal (normalmente entre el 2 % y el 40 %, preferiblemente entre el 10 % y el 25 %, como por ejemplo alrededor del 20 % del total) se introduce en la cámara de encendido a través de la pared periférica de la cámara, que se encuentra perpendicular a la boquilla de distribución de combustible. Esto permite una mezcla vigorosa del combustible y el aire
25 de encendido para que el encendido se produzca de forma fiable y repetible con una mezcla de gases dentro del rango de concentración de combustible inflamable, a la vez que reduce las temperaturas máximas de la llama en comparación con las llamas de difusión típicas. Esto se considera importante para minimizar las emisiones de NOx generadas por la llama. Además, el método de introducción de aire también mantiene la
30 pared periférica refrigerada al protegerla del contacto directo con la llama. La placa de distribución de combustible (72) (término que puede utilizarse indistintamente en el presente documento como «placa de salida de combustible principal») está empotrada una longitud L0+L1 para proporcionar mayor longitud a los inyectores de combustible, permitiéndoles desarrollarse parcial o totalmente y premezclarse parcialmente con el aire
35 de la "copa de encendido".

En las realizaciones preferidas, las placas de distribución están empotradas una longitud $L_0+L_1+L_2$ o $L_{01}+L_1+L_2$ desde la superficie caliente del quemador. En más detalle, una porción del oxidante principal (normalmente alrededor del 20% del total) se introduce en la "copa de encendido", mientras que la "copa de purga de oxidante" entra a través de la pared periférica de la cámara, perpendicular a la boquilla de distribución de combustible. La primera porción que entra en la "copa de encendido se mezcla" vigorosamente con una porción del combustible y el oxidante de combustión, de manera que la composición de la mezcla en la "copa de encendido" permite encender la llama en un amplio rango de caudales de combustible y oxidante. La segunda porción de combustible que ingresa a la copa de purga de oxidante se mezcla con el combustible, reduciendo así las temperaturas máximas de la llama en comparación con las llamas de difusión típicas. Esto es importante para minimizar las emisiones de NOx generadas por la llama. Además, el método de introducción del oxidante mantiene la pared periférica refrigerada, protegiéndola del contacto directo con la llama. La primera porción de combustible en la copa de encendido se mezcla con el oxidante de encendido. La placa de mezcla mecánica interrumpe los chorros de combustible en esta primera sección para que se mezclen con el oxidante de encendido. La segunda porción de combustible, a través de los chorros en el plano 2, se encuentra retraída por $L_{01}+L_1$ para proporcionar la longitud suficiente para que los chorros de combustible se desarrollen total o parcialmente y se premezclen parcialmente con el oxidante de la copa de purga de oxidante. Esta característica ayuda a estabilizar la llama en un amplio rango de relación de equivalencia.

Como se indica, por ejemplo, en la figura 6b, los orificios de premezcla de aire 27 permiten la comunicación de fluidos entre el oxidante principal y el combustible primario aguas arriba de la placa de distribución de combustible (72). Estos orificios (número, diámetro y número de filas) pueden determinarse en función de la relación de áreas entre los orificios A3 y el área de salida del aire de remolino, así como de las presiones del aire y del combustible primario. La relación precalculada depende de la cantidad de aire necesaria en el combustible primario durante el arranque.

Como se destaca, por ejemplo, en la figura 6c, existe una interacción entre el combustible secundario y el oxidante escalonado, y es importante la secuenciación del combustible primario/secundario y del oxidante. Combustibles primarios y secundarios: Además de contribuir a la reducción de las emisiones de NOx, en el diseño actual, también facilita la adaptación a las variaciones del caudal volumétrico de combustible al alternar entre gas natural y mezclas de gas natural/hidrógeno. Además, el combustible secundario ayuda a crear una capa aislante parcial entre el oxidante principal y el oxidante escalonado, con una pureza de oxígeno de entre el 90 % y el 100 %, lo que potencialmente ayuda a reducir

el contacto entre el N_2 presente en el oxidante principal y los chorros de oxígeno de alta concentración provenientes de los chorros del oxidante secundario. La separación espacial del oxidante se considera importante para mantener la distancia entre los puertos de oxígeno/aire enriquecido con oxígeno y los de combustible, ya que esto ayuda a retrasar la mezcla entre combustible y oxidante y facilita una combustión más amplia, lo que contribuye a reducir la formación de NO_x térmico. Además, la velocidad del oxidante se mantiene relativamente alta para que los chorros de oxígeno/aire enriquecido con oxígeno arrastren los gases de combustión, lo que reduce la concentración local de oxígeno y, por consiguiente, las emisiones de NO_x térmico.

En general, las características ventajosas de la presente invención incluyen las siguientes, todas las cuales corresponden a otras realizaciones preferidas del primer aspecto:

- El quemador del primer aspecto se caracteriza por su flexibilidad de combustible (permite, por ejemplo, el uso de gas natural, hidrógeno y mezclas de gas natural e hidrógeno). Este quemador permite un arranque fiable en un horno frío (por debajo de la temperatura de autoencendido del combustible) utilizando el modo aire-combustible.
- El quemador del primer aspecto se caracteriza por su flexibilidad de funcionamiento (puede funcionar, por ejemplo, como quemador aire-combustible o aire-oxicombustible). Por lo tanto, se puede alternar entre el modo aire-combustible (modo de mantenimiento) y el modo aire-oxicombustible (modo de fusión) según las necesidades operativas, por ejemplo, del horno de recalentamiento o de fusión secundaria, sin realizar cambios significativos en el sistema de control del quemador.
- El quemador del primer aspecto se caracteriza por no requerir refrigeración por agua.
- El quemador del primer aspecto se caracteriza por permitir el mantenimiento de bajas emisiones de NO_x , por ejemplo, manteniéndolas dentro de los límites ambientales, gracias a un diseño de bajas emisiones de NO_x tanto para el modo aire-combustible como para el modo aire-oxicombustible.
- El quemador del primer aspecto se caracteriza por permitir mantener bajas emisiones de CO tanto en modo aire-combustible como en modo aire-oxígeno.

- El quemador del primer aspecto se caracteriza por una baja contrapresión de aire de combustión y oxígeno, lo que elimina la necesidad de un dispositivo de compresión secundario.
- 5 - El quemador del primer aspecto se caracteriza por poder operar en modo aire-combustible cuando no hay oxígeno disponible, independientemente de la temperatura promedio del horno.
- El quemador del primer aspecto se caracteriza por utilizar un único flujo de combustible, aire y oxidante secundario para el suministro de fluidos, lo que contribuye a reducir el costo total de los sistemas, las válvulas desviadoras y/o cualquier mecanismo de control complejo.
- 10 - El quemador del primer aspecto se caracteriza por una relación de modulación de 1:30.
- El quemador del primer aspecto se caracteriza por una llama estable con mezcla pobre de combustible, sin apagado de la llama, a un alto exceso de aire (relación de equivalencia de hasta 0,25).
- 15 - El quemador del primer aspecto se puede caracterizar porque permite un encendido y combustión estables y fiables en condiciones de horno frío con una relación de equivalencia de hasta 0,25.

20 En algunas realizaciones particulares, el quemador del primer aspecto se caracteriza porque las contrapresiones del oxidante principal y del flujo de oxígeno/aire enriquecido con oxígeno son bajas, de modo que no se requiere un compresor secundario para aumentar la presión de suministro.

En un segundo aspecto de la invención, se proporciona un horno que comprende un quemador según el primer aspecto de la invención.

25 Las realizaciones preferidas de los hornos de la invención corresponden a las realizaciones de los quemadores de la invención descritas anteriormente. Por lo tanto, preferiblemente, el horno se define además de acuerdo con cualquiera de las realizaciones del quemador descritas en el contexto del primer aspecto.

30 Esto incluye realizaciones relacionadas con las ventajas descritas anteriormente para el quemador del primer aspecto, las cuales también se contemplan aquí para los hornos respectivos del segundo aspecto.

En ciertas realizaciones preferidas, el horno se selecciona del grupo que consiste en un horno para reformado de metano con vapor, un horno de recalentamiento en la industria siderúrgica y un horno de fusión secundaria.

5 En un tercer aspecto de la invención, se proporciona un método para operar un quemador del primer aspecto y/o un horno del segundo aspecto.

Dicho método no es particularmente limitado, como comprenderá fácilmente un experto en la materia.

10 En ciertas realizaciones, el método comprende los pasos de: i) encender el quemador, ii) aumentar gradualmente la potencia del quemador, iii) iniciar el combustible secundario, iv) aumentar aún más la potencia del quemador hasta alcanzar su velocidad de combustión óptima, y v) opcionalmente, suministrar el oxidante secundario al quemador.

En realizaciones particulares del tercer aspecto, el paso i) comprende iniciar el oxidante principal, el encendedor y el combustible primario.

15 En general, otras realizaciones preferidas de los métodos de la invención corresponden a las realizaciones de los quemadores de la invención descritas anteriormente, donde el quemador utilizado en el método se define además por otras características del producto. En otras palabras, preferiblemente, los métodos de la invención se definen además de acuerdo con cualquiera de las realizaciones del quemador descritas anteriormente en el contexto del primer aspecto.

20 Además, otras realizaciones preferidas de los métodos de la invención incluyen características adicionales del método que se basan en cualquiera de las características descritas anteriormente en el contexto de los quemadores de la invención.

Asimismo, las ventajas de la presente invención incluyen las siguientes, todas las cuales corresponden a otras realizaciones preferidas del tercer aspecto:

25 - El método del tercer aspecto se puede caracterizar por su flexibilidad de combustible (y, por ejemplo, permite el uso de gas natural, hidrógeno y mezclas de gas natural e hidrógeno). Esto permite, por ejemplo, un arranque fiable en un horno frío utilizando el modo aire-combustible.

30 - El método del tercer aspecto se puede caracterizar por su flexibilidad de funcionamiento (y, por ejemplo, puede funcionar como quemador aire-combustible o aire-oxicomcombustible). Por lo tanto, el método puede alternarse entre el modo aire-combustible (modo de mantenimiento) y el modo aire-oxicomcombustible (modo de fusión) según lo requieran las

necesidades operativas, por ejemplo, del horno de recalentamiento o de fusión secundaria, sin necesidad de modificar significativamente el sistema de control del quemador.

5 - El método del tercer aspecto se puede caracterizar por no requerir refrigeración por agua.

- El método del tercer aspecto se puede caracterizar por permitir mantener bajos los niveles de NOx, por ejemplo, dentro de los límites ambientales, especialmente tanto en el modo aire-combustible como en el modo aire-oxicombustible.

10 - El método del tercer aspecto se puede caracterizar por una baja contrapresión de aire de combustión y oxígeno, lo que elimina la necesidad de un dispositivo de compresión secundario.

15 - El método del tercer aspecto se puede caracterizar por poder llevarse a cabo en modo aire-combustible cuando no se dispone de oxígeno, independientemente de la temperatura promedio del horno.

- El método del tercer aspecto se puede caracterizar porque el uso de un único flujo de combustible, aire y oxidante secundario para el suministro de fluidos contribuye a reducir el costo total de los sistemas, las válvulas desviadoras y/o cualquier mecanismo de control complejo.

20 Además, en general, las realizaciones preferidas de cualquiera de los aspectos segundo a cuarto corresponden a las realizaciones preferidas del primer aspecto.

25 En general, los artículos "un" y "una" se refieren a uno o más elementos de cualquier característica de las realizaciones de la presente invención descritas en la memoria descriptiva y las reivindicaciones. El uso de "un" y "una" no limita el significado a una sola característica a menos que dicho límite se indique específicamente. El artículo "el/la/los/las" que precede a sustantivos o frases nominales, en singular o plural, denota una o varias características específicas y puede tener una connotación singular o plural según el contexto. El adjetivo "cualquier" significa uno, algunos o todos, indistintamente, en cualquier cantidad.

30 Además, en general, en el presente documento, si una determinada realización se describe utilizando el término "que comprende" o términos similares, también se prevén

otras realizaciones que se describen utilizando el término "que consiste en" o términos similares en lugar del término "que comprende" o términos similares.

OTRAS REALIZACIONES PARTICULARES

La presente invención se refiere particularmente a los siguientes elementos:

5 Elemento 1: Un quemador (1), que comprende un conducto de combustible primario (20) con una salida de combustible primaria (22) que presenta múltiples orificios de salida de combustible primario (23) para el suministro de combustible primario a una cámara de encendido (25), donde la pared que rodea la cámara de encendido (25) presenta varios orificios de purga (28); un conducto de oxidante principal (30) para el suministro de oxidante principal, que comprende un conducto anular intermedio (35) en una sección
10 aguas abajo (5) del quemador, configurado para permitir la división del oxidante principal, de manera que una primera porción se introduce en la cámara de encendido (25) a través de los orificios de purga (28) para mezclarse con el combustible primario, y una segunda porción se introduce opcionalmente en una sección de oxidante (33), preferiblemente
15 donde el quemador también comprende varios conductos de oxidante secundario (50) para el suministro de un oxidante secundario, particularmente donde, al menos en dicha porción aguas abajo (5) del quemador (1), el conducto de combustible primario (20) está rodeado por el conducto de oxidante principal (30) y la pluralidad de conductos de oxidante secundario (50).

20 Elemento 2. El quemador del elemento 1, donde el quemador comprende además un conducto de combustible secundario (40) para el suministro de un combustible secundario, que tiene una salida de combustible secundario (44) en su extremo aguas abajo, donde, al menos en la porción aguas abajo (5) del quemador (1), en la que se encuentran la salida de combustible primario (22), la cámara de encendido (25), el
25 conducto anular intermedio (35) y la salida de combustible secundario (44), el conducto de combustible primario (20) está rodeado por el conducto de oxidante principal (30) y el conducto de combustible secundario (40).

Elemento 3: El quemador del elemento 1 o 2, donde el quemador comprende además una pluralidad de conductos de oxidante secundario (50) para el suministro de un oxidante
30 secundario, particularmente donde al menos en dicha porción aguas abajo (5) del quemador (1), que comprende además la salida de oxidante secundario (54), el conducto de combustible primario (20) está rodeado por el conducto de oxidante principal (30) y el conducto de combustible secundario (40), y la pluralidad de conductos de oxidante secundario (50).

Elemento 4: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) comprende además una fuente de encendido (10), particularmente donde la fuente de encendido (10) termina en la cámara de encendido (25), particularmente donde la fuente de encendido (10) es una fuente de encendido central que tiene un eje central (15) y un plano final de conducto (16), especialmente donde el eje principal (2) del quemador (1) coincide con el eje central (15) de la fuente de encendido (10), en particular donde al menos en dicha porción aguas abajo (5) del quemador (1) la fuente de encendido central (10) está rodeada por el conducto de combustible primario (20), el conducto de oxidante principal (30) y el conducto de combustible secundario (40), y opcionalmente la pluralidad de conductos de oxidante secundario (50).

Elemento 5: El quemador de cualquiera de los elementos 1 a 4, donde la cámara de encendido (25) se encuentra dentro del conducto de combustible primario (20) y se extiende desde la salida principal de combustible (22) hasta el plano final del conducto de combustible primario (24), estando la pared del conducto de combustible primario (29) rodeando la cámara de encendido (25) y comprendiendo varios orificios de purga (28).

Elemento 6 (véase, por ejemplo, la Figura 9A): El quemador de cualquiera de los elementos 1 a 4, donde la cámara de encendido (25) se extiende desde la salida principal de combustible (22) hasta el plano de salida del conducto anular intermedio (56), estando la pared que rodea la cámara de encendido (25) comprendiendo al menos dos (preferiblemente dos o tres) tramos de conductos anulares con diámetro creciente, cada uno de los cuales comprende varios orificios de purga (28).

Elemento 7 (véase, por ejemplo, la Figura 9B): El quemador de cualquiera de los elementos 1 a 4, donde la cámara de encendido (25) se extiende desde la salida principal de combustible (22) hasta el plano de salida del conducto anular intermedio (56), y la pared que rodea la cámara de encendido (25) consta de dos secciones: i) la primera sección se extiende desde la salida principal de combustible (22) hasta el plano final del conducto de combustible primario (24), y la pared del conducto de combustible primario (29) que rodea la sección presenta varios orificios de purga (28); y ii) la segunda sección tiene un diámetro interior mayor que el diámetro exterior del conducto de combustible primario (20), pero un diámetro exterior menor que el diámetro interior del conducto anular intermedio (35), y también presenta varios orificios de purga (28). Opcionalmente, el quemador también incluye iii) una placa de purga de aire (73) con orificios de purga (32) que se extiende entre el diámetro exterior de la primera sección y el plano final del conducto de combustible primario (24). diámetro interior de la segunda sección, y iv) dos placas mezcladoras mecánicas (74) cada una ubicada aguas abajo y adyacente a dichas dos secciones.

- Elemento 8 (véase, por ejemplo, la Figura 9C): El quemador de cualquiera de los elementos 1 a 4, donde la cámara de encendido (25) se extiende desde la salida principal de combustible (22) hasta el plano de salida del conducto anular intermedio (56), donde la pared que rodea la cámara de encendido (25) comprende dos secciones, en las que i)
- 5 la primera sección tiene un diámetro exterior menor que el diámetro interior del conducto de combustible primario (20) y comprende varios orificios de purga (28), en la que la pared del conducto de combustible primario (29) que rodea la primera sección también comprende varios orificios de purga (28), y en la que la primera sección comprende además medios que permiten que el oxidante principal entre además en la cámara de
- 10 encendido (25) en la dirección del flujo entre dos anillos de orificios de salida del combustible principal, y ii) la segunda sección tiene un diámetro interior mayor que el diámetro exterior del conducto de combustible primario (20), pero su diámetro exterior es menor que el diámetro interior del conducto anular intermedio (35), y comprende además varios orificios de purga (28).
- 15 Elemento 9: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde la cámara de encendido (25) comprende una copa de encendido (75) y una copa de purga de oxidante (76), preferiblemente en la que la copa de encendido (75) se encuentra en una primera sección de la cámara de encendido (25), y la copa de purga de oxidante (76) se encuentra en una segunda sección de la cámara de encendido (25), estando la segunda sección
- 20 ubicada aguas abajo de la primera sección.
- Elemento 10: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores,
- i) el plano final del conducto de combustible primario (24) corresponde al plano final de la cámara de encendido (26); y/o
 - ii) el conducto de combustible primario comprende además orificios de
 - 25 premezcla de aire (27) aguas arriba de la salida del combustible principal (22); y/o
 - iii) el conducto de oxidante principal (30) comprende además orificios de purga (32) en la dirección del flujo paralela al eje principal (2) del quemador; y/o
 - 30 iv) el conducto de oxidante principal (30) comprende además una sección de remolino (33), en particular donde el conducto anular intermedio (35) está configurado para permitir la división del oxidante principal en dos porciones, introduciéndose una segunda porción en la sección de remolino (33); y/o

- v) el quemador (1) comprende además un generador de turbulencia (47) en el conducto de combustible secundario (40).

5 Elemento 11: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el plano final del conducto primario de combustible (24) corresponde al plano final de la cámara de encendido (26).

Elemento 12: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el conducto primario de combustible comprende además orificios de premezcla de aire (27) aguas arriba de la salida primaria de combustible (22).

10 Elemento 13: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el conducto de oxidante principal (30) incluye además orificios de purga (32) en la dirección del flujo, paralelos al eje principal (2) del quemador.

15 Elemento 14: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el conducto de oxidante principal (30) incluye además una sección de oxidante (33) que es una sección de remolino (33), en particular, donde el conducto anular intermedio (35) está configurado para permitir la división del oxidante principal en dos porciones, introduciéndose una segunda porción en la sección de remolino (33).

20 Elemento 15: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) incluye además un generador de turbulencia (47) en el conducto de combustible secundario (40), en particular, donde dicho generador de turbulencia comprende uno o más discos generadores de turbulencia.

Elemento 16: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde:

- 25 i) el diámetro de los orificios de salida del combustible primario (23) se define como D_0 , donde D_0/D_2 está comprendido entre 0,04 y 0,5; y/o
- ii) el diámetro de los orificios de purga (32) se define como D_1 , donde D_1/D_2 está comprendido entre 0,04 y 0,5; y/o
- 30 iii) el diámetro exterior de la fuente de encendido (10) se define como D_2 y el diámetro interior del conducto de combustible principal (20) se define como D_3 , donde D_3/D_2 está comprendido entre 1,5 y 4,5, en particular entre 2,0 y 3,0; y/o
- iv) El diámetro exterior de la fuente de encendido (10) se define como D_2 y el diámetro interior del conducto de oxidante principal (30) se define como D_4 , donde la relación D_4/D_2 está comprendida entre 3,0 y 9,0, en particular entre 3,5 y 5,5; y/o

	v)	el diámetro exterior de la fuente de encendido (10) se define como D2 y el diámetro interior del conducto de combustible secundario (40) se define como D5, donde la relación $D5/D2$ está comprendida entre 5,0 y 11,0, en particular entre 5,5 y 7,0; y/o
5	vi)	el diámetro exterior de la fuente de encendido (10) se define como D2 y la distancia entre los centros de dos conductos de oxidante secundario (50) ubicados uno frente al otro con respecto al eje principal (2) del quemador se define como D6, donde la relación $D6/D2$ está comprendida entre 9,0 y 22,0, en particular entre 10,0 y 14,0; y/o
10	vii)	El diámetro interior del conducto de combustible secundario (40) se define como D5, y la distancia entre los centros de dos conductos de oxidante secundario (50) ubicados opuestos entre sí con respecto al eje principal (2) del quemador se define como D6, donde $D6/D5$ está comprendido entre 1,75 y 2,5, en particular entre 1,8 y 2,1; y/o
15	viii)	el diámetro de los orificios de premezcla de aire (27) se define como P0, donde $P0/D2$ está comprendido entre 0,02 y 0,2; y/o
	ix)	el diámetro interior de los orificios de purga (28) se define como P1, donde $P1/D2$ está comprendido entre 0,05 y 0,4. y/o
20	x)	la distancia entre el plano final del conducto de combustible primario (24) y el plano final del conducto anular intermedio (36) se define como L1, y la distancia entre la pared del conducto de combustible primario (29) y la pared del conducto anular intermedio (37) se define como L4, donde $L1/L4$ es de 0,5 a 2,5, en particular de 1,0 a 2,0; y/o
25	xi)	la distancia entre el plano final del conducto de combustible primario (24) y el plano final del conducto anular intermedio (36) se define como L1, la distancia entre el plano final del conducto anular intermedio (36) y el plano final del conducto del oxidante principal (38) se define como L2, y el diámetro interior del conducto de combustible primario (20) se define como D3, donde $(L1+L2)/D3$ es de 0,25 a 1,0, en particular de 0,4 a 0,6; y/o
30	xii)	la distancia entre el plano final del conducto de oxidante principal (38) y el plano final del conducto de combustible secundario (46) se define como L3, y el diámetro interior del conducto de oxidante principal (30) se define como D4, donde $L3/D4$ es de 0,05 a 0,25, en particular de 0,1 a 0,2; y/o

- 5 xiii) donde la distancia entre la salida primaria de combustible (22) y el plano final del conducto de combustible primario (24) y/o el plano final de la cámara de encendido (26) se define como L_0 y el diámetro interior del conducto primario de combustible (20) se define como D_3 , donde L_0/D_3 es de 0,25 a 1,0, en particular de 0,4 a 0,6; y/o
- xiv) la distancia entre dos filas de orificios de purga (28), medida entre sus centros, se define como H , y el diámetro interior de los orificios de purga (28) se define como P_1 , donde H/P_1 está comprendido entre 1,25 y 2,5; y/o
- 10 xv) el ángulo formado por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos orificios de purga adyacentes (28) se define como ángulo α , donde el ángulo α es de 3 a 30 grados; y/o
- xvi) el ángulo formado por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos orificios de purga adyacentes (32) se define como ángulo β , donde el
- 15 ángulo β es de 5 a 40 grados; y/o
- xvii) el ángulo formado por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos orificios de salida de combustible primarios adyacentes (23) se define como ángulo θ , donde el ángulo θ es de 10 a 40 grados; y/o
- xviii) el ángulo formado por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos
- 20 conductos de oxidante secundario adyacentes (50) se define como ángulo η , donde el ángulo η está comprendido entre 10 y 70 grados, en particular entre 40 y 60 grados.

Elemento 17: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el diámetro de los orificios de salida del combustible primario (23) se define como D_0/D_2 , donde D_0

25 está comprendido entre 0,04 y 0,5.

Elemento 18: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el diámetro de los orificios de purga (32) se define como D_1 , donde D_1/D_2 está comprendido entre 0,04 y 0,5.

Elemento 19: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el diámetro exterior de la fuente de encendido (10) se define como D_2 y el diámetro interior del conducto de combustible primario (20) se define como D_3 , siendo la relación D_3/D_2 de 1,5 a 4,5, en particular de 2,0 a 3,0.

30

- Elemento 20: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el diámetro exterior de la fuente de encendido (10) se define como $D2$ y el diámetro interior del conducto de oxidante principal (30) se define como $D4$, siendo la relación $D4/D2$ de 3,0 a 9,0, en particular de 3,5 a 5,5.
- 5 Elemento 21: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el diámetro exterior de la fuente de encendido (10) se define como $D2$, y el diámetro interior del conducto de combustible secundario (40) se define como $D5$, donde la relación $D5/D2$ está comprendida entre 5,0 y 11,0, en particular entre 5,5 y 7,0.
- 10 Elemento 22: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el diámetro exterior de la fuente de encendido (10) se define como $D2$, y la distancia entre los centros de dos conductos de oxidante secundario (50) ubicados uno frente al otro con respecto al eje principal (2) del quemador se define como $D6$, donde la relación $D6/D2$ está comprendida entre 9,0 y 22,0, en particular entre 10,0 y 14,0.
- 15 Elemento 23: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el diámetro interior del conducto de combustible secundario (40) se define como $D5$, y la distancia entre los centros de dos conductos de oxidante secundario (50) ubicados uno frente al otro con respecto al eje principal (2) del quemador se define como $D6$, donde $D6/D5$ está comprendido entre 1,75 y 2,5, en particular entre 1,8 y 2,1.
- 20 Elemento 24: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el diámetro de los orificios de premezcla de aire (27) se define como $P0$, donde $P0/D2$ está comprendido entre 0,02 y 0,2.
- Elemento 25: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el diámetro interior de los orificios de purga (28) se define como $P1$, donde $P1/D2$ está comprendido entre 0,05 y 0,4.
- 25 Elemento 26: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde la distancia entre el plano final del conducto de combustible primario (24) y el plano final del conducto anular intermedio (36) se define como $L1$, y la distancia entre la pared del conducto de combustible primario (29) y la pared del conducto anular intermedio (37) se define como $L4$, donde $L1/L4$ es de 0,5 a 2,5, en particular de 1,0 a 2,0.
- 30 Elemento 27: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde la distancia entre el plano final del conducto de combustible primario (24) y el plano final del conducto anular intermedio (36) se define como $L1$, la distancia entre el plano final del conducto anular intermedio (36) y el plano final del conducto del oxidante principal (38) se define

como L2, y el diámetro interior del conducto de combustible primario (20) se define como D3, donde $(L1+L2)/D3$ es de 0,25 a 1,0, en particular de 0,4 a 0,6.

5 Elemento 28: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde la distancia entre el plano final del conducto de oxidante principal (38) y el plano final del conducto de combustible secundario (46) se define como L3, y el diámetro interior del conducto de oxidante principal (30) se define como D4, donde $L3/D4$ está comprendido entre 0,05 y 0,25, en particular entre 0,1 y 0,2.

10 Elemento 29: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde la distancia entre la salida principal de combustible (22) y el plano final del conducto de combustible primario (24) y/o el plano final de la cámara de encendido (26) se define como L0, y el diámetro interior del conducto de combustible primario (20) se define como D3, donde $L0/D3$ está comprendido entre 0,25 y 1,0, en particular entre 0,4 y 0,6.

15 Elemento 30: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde la distancia entre dos filas de orificios de purga (28), medida entre sus centros, se define como H, y el diámetro interior de los orificios de purga (28) se define como P1, siendo $H/P1$ un valor comprendido entre 1,25 y 2,5.

20 Elemento 31: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el ángulo formado por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos orificios de purga adyacentes (28) se define como ángulo α , siendo α un valor comprendido entre 3 y 30 grados.

Elemento 32: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el ángulo formado por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos orificios de purga adyacentes (32) se define como ángulo β , siendo β un valor comprendido entre 5 y 40 grados.

25 Elemento 33: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el ángulo formado por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos orificios de salida de combustible primarios adyacentes (23) se define como ángulo theta, siendo el ángulo theta de 10° a 40° .

30 Elemento 34: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el ángulo formado por el eje principal (2) del quemador y los centros de dos conductos de oxidante secundario adyacentes (50) se define como ángulo eta, siendo el ángulo eta de 10° a 70° , en particular de 40° a 60° .

Elemento 35: El quemador de cualquiera de los elementos 17 a 34 anteriores, donde

i) $D3/D2$ es de 1,5 a 4,5, en particular de 2,0 a 3,0; y/o

- ii) $D4/D2$ es de 3,0 a 9,0, en particular de 3,5 a 5,5. y/o
- iii) $D5/D2$ es de 5,0 a 11,0, en particular de 5,5 a 7,0; y/o
- iv) $D6/D2$ es de 9,0 a 22,0, en particular de 10,0 a 14,0; y/o
- v) $D6/D5$ es de 1,75 a 2,5, en particular de 1,8 a 2,1.

5 Elemento 36: El quemador de cualquiera de los elementos 11 a 29 anteriores, donde

- i) $L1/L4$ es de 0,5 a 2,5, en particular de 1,0 a 2,0; y/o
- ii) $L0/D3$ es de 0,25 a 1,0, en particular de 0,4 a 0,6; y/o
- iii) $(L1+L2)/D3$ es de 0,25 a 1,0, en particular de 0,4 a 0,6; y/o
- iv) $L3/D4$ es de 0,05 a 0,25, en particular de 0,1 a 0,2; y/o
- v) $H/P1$ es de 1,25 a 2,5.

10

Elemento 37: El quemador de cualquiera de los elementos 17 a 36 anteriores, donde

- i) el ángulo α es de 3° a 30° ; y/o
- ii) el ángulo β es de 5° a 40° ; y/o
- iii) el ángulo θ es de 10° a 40° ; y/o
- iv) el ángulo η es de 10° a 70° , en particular de 40° a 60° .

15

Elemento 38: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) está configurado de tal manera que – a la salida de un conducto determinado –

- i) la velocidad del combustible primario (preferiblemente a la salida de los orificios 23) se encuentra entre 30 pies/s y 500 pies/s, particularmente entre 40 pies/s y 400 pies/s; y/o
- ii) la velocidad del oxidante principal se encuentra entre 5 pies/s y 300 pies/s, particularmente entre 10 pies/s y 200 pies/s; y/o
- iii) la velocidad del combustible secundario se encuentra entre 20 pies/s y 200 pies/s, particularmente entre 40 pies/s y 120 pies/s; y/u
- iv) opcionalmente, la velocidad del oxidante secundario se encuentra entre 50 pies/s y 500 pies/s, particularmente entre 100 pies/s y 300 pies/s.

20

25

Elemento 39: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde la velocidad del combustible principal se encuentra entre 30 y 500 pies/s, particularmente entre 40 y 400 pies/s.

- Elemento 40: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde la velocidad del oxidante principal se encuentra entre 5 y 300 pies/s, particularmente entre 10 y 200 pies/s.
- 5 Elemento 41: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde la velocidad del combustible secundario se encuentra entre 20 y 200 pies/s, particularmente entre 40 y 120 pies/s.
- Elemento 42: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde la velocidad del oxidante secundario se encuentra entre 50 y 500 pies/s, particularmente entre 100 y 300 pies/s.
- 10 Elemento 43: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el ángulo de remolino es de 5 a 60 grados, preferiblemente de 30 a 45 grados.
- Elemento 44: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) está configurado de tal manera que
- 15 i) durante el arranque, aproximadamente el 100 % de la potencia térmica total del quemador es suministrada por el combustible primario; y/o
- ii) durante el funcionamiento normal, aproximadamente entre el 25 y el 65 %, preferiblemente entre el 45 y el 65 %, del poder calorífico total del quemador es suministrado por el combustible principal, y el resto, por el combustible secundario.
- 20 Elemento 45: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) está configurado de tal manera que, durante el arranque, aproximadamente el 100 % de la potencia térmica total del quemador es suministrada por el combustible principal.
- Elemento 46: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) está configurado de tal manera que, durante el funcionamiento normal, entre el 25 %
- 25 y el 65 %, preferiblemente entre el 45 % y el 65 %, de la potencia térmica total del quemador la proporciona el combustible principal.
- Elemento 47: El quemador de cualquiera de los elementos 45 y 46, donde al resto respectivo lo proporciona el combustible secundario.
- Elemento 48: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador
- 30 (1) está configurado de tal manera que
- i) el caudal volumétrico del oxidante de la cámara de encendido sea aproximadamente de entre el 5 y el 25 % del caudal total del oxidante principal; y/o

- ii) el caudal volumétrico del oxidante premezclado sea de aproximadamente entre el 2 % y el 10 % del caudal total del oxidante principal; y/o
- iii) el caudal volumétrico del oxidante secundario desviado a los conductos del oxidante secundario (50) sea de aproximadamente entre el 2 % y el 5 % del caudal del oxidante principal.

5

Elemento 49: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) está configurado de tal manera que el caudal volumétrico del oxidante de la cámara de encendido es de aproximadamente entre el 5 y el 25 % del caudal total del oxidante principal.

10 Elemento 50: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) está configurado de tal manera que el caudal volumétrico del oxidante premezclado sea aproximadamente de entre el 2 y el 10 % del caudal total del oxidante principal.

Elemento 51: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) está configurado de tal manera que el caudal volumétrico del oxidante secundario desviado a los conductos de oxidante secundario (50) es de aproximadamente entre el 2 y el 5 % del caudal del oxidante principal.

15

Elemento 52: El quemador de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) está configurado de tal manera que, durante el funcionamiento normal, su potencia puede reducirse desde el 100 % de la potencia nominal hasta aproximadamente 1:30, según los requisitos operativos.

20

Elemento 53: El quemador (1) de cualquiera de los elementos anteriores, donde la fuente de encendido central (10) forma el «tubo 1» del quemador.

Elemento 54: El quemador (1) de cualquiera de los elementos anteriores, donde el conducto de combustible primario (20) forma el "tubo 2" del quemador.

25 Elemento 55: El quemador (1) de cualquiera de los elementos anteriores, donde el conducto de oxidante principal (30) forma el "tubo 3" del quemador, que en particular es un conducto de aire.

Elemento 56: El quemador (1) de cualquiera de los elementos anteriores, donde el conducto de combustible secundario (40) forma el "tubo 4" del quemador.

30 Elemento 57: El quemador (1) de cualquiera de los elementos anteriores, donde el conducto de oxidante secundario (50) se denomina "conducto de oxidante escalonado" u "oxidante escalonado", respectivamente.

- Elemento 58: El quemador (1) de cualquiera de los elementos anteriores, donde todos los conductos mencionados, excepto los conductos de oxidante secundario (50), comparten un eje central común.
- 5 Elemento 59: El quemador (1) de cualquiera de los elementos anteriores, donde todos los conductos mencionados, excepto los conductos de oxidante secundario (50), están dispuestos concéntricamente alrededor de un eje longitudinal común, al menos en la porción aguas abajo (5).
- Elemento 60: El quemador (1) de cualquiera de los elementos anteriores, donde todos los conductos son esencialmente rectos.
- 10 Elemento 61: El quemador (1) de cualquiera de los elementos anteriores, donde el quemador (1) comprende una configuración esencialmente como la que se muestra en cualquiera de las figuras adjuntas o cualquier combinación de las mismas.
- Elemento 62: Un horno que comprende un quemador (1) según cualquiera de los elementos 1 a 61.
- 15 Elemento 63: El horno del elemento 62, donde el horno se selecciona del grupo que consiste en un horno para reformado de metano con vapor, un horno de recalentamiento en la industria siderúrgica y un horno de fusión secundaria.
- Elemento 64: El horno del elemento 63, caracterizado además por cualquiera de las características descritas en los elementos 1 a 61.
- 20 Elemento 65: Un método para operar un quemador (1) de acuerdo con cualquiera de los elementos 1 a 61, o para operar un horno de acuerdo con cualquiera de los elementos 62 a 64, que comprende los siguientes pasos: 1.
- i) arrancar el quemador,
 - ii) aumentar gradualmente la potencia del quemador (opcionalmente),
 - 25 iii) iniciar el suministro de combustible secundario,
 - iv) aumentar gradualmente la potencia del quemador hasta alcanzar la potencia óptima,
 - v) y, opcionalmente, suministrar el oxidante secundario al quemador.
- Elemento 66: El método del elemento 65, donde el paso i) comprende iniciar el oxidante principal, el encendedor y el combustible primario.
- 30

EJEMPLOS

Los siguientes ejemplos se utilizan para ilustrar con mayor detalle aspectos de la invención, pero de ninguna manera pretenden ser limitativos.

Ejemplo 1

5 Se fabricó y probó un quemador de prueba en nuestro laboratorio de combustión a escala industrial a 5 MMBtu/h con gas natural como combustible primario y secundario, aire como oxidante principal y oxígeno como oxidante secundario.

10 El quemador se probó con éxito en los modos de arranque, aceleración y mezcla aire-combustible, así como en los modos aire-oxi-combustible. El quemador funcionó correctamente y demostró su capacidad para producir una llama estable en ambos modos sin necesidad de soporte externo.

15 La gráfica de la Figura 8 muestra una comparación de los datos de NOx normalizados obtenidos en las pruebas de laboratorio de la presente invención y la técnica anterior (Figura 12). El valor de NOx normalizado se define como la relación entre el NOx (ppm) producido por un tipo de quemador y el NOx máximo (ppm) producido por los diferentes quemadores. En este ejemplo, los datos de NOx se normalizaron con respecto al NOx producido por la técnica anterior, ya que esta produjo el NOx máximo (ppm). La tasa de combustión total, la relación de equivalencia del quemador y la composición de los combustibles son las mismas para ambos quemadores.

20 Los resultados muestran que la emisión de NOx de la presente invención es entre un 30 % y un 70 % menor (dependiendo del nivel de enriquecimiento de oxígeno del quemador) en comparación con la técnica anterior (sin inyección de oxígeno por etapas y con inyección de oxígeno al 75 %). Las emisiones de CO, bajo estas condiciones de prueba, se mantuvieron por debajo de 20 ppm en el conducto de escape.

25 El hecho de que la presente invención sea capaz de producir NOx significativamente menor tanto en modo aire-combustible como en modo aire-oxi-combustible se debe a múltiples características únicas de este quemador.

30 En modo aire-combustible, el quemador ofrece un mejor rendimiento en cuanto a emisiones de NOx porque los orificios de purga (28) proporcionan aire en la cámara de encendido, el cual puede ser arrastrado por los inyectores de combustible antes de que este salga del plano de salida del quemador. Esta mezcla mejorada, gracias a un diseño único de la punta de la cámara de encendido, permite reducir las temperaturas máximas en comparación con las características comunes de los quemadores de mezcla no premezclada. La menor temperatura máxima de la llama de este quemador imita la de

una combustión aire-combustible parcialmente premezclada, en lugar de una combustión sin premezclar.

En el modo aire-oxicombustible, el quemador desarrolló una llama estable y produjo menos NOx que las tecnologías anteriores.

5 Los tres fluidos: aire, combustible y oxígeno/aire enriquecido con oxígeno, se suministran a través de diferentes salidas/puertos separados espacialmente, lo que reduce la interacción simultánea de O₂, N₂ y las altas temperaturas a nivel local. En primer lugar, en la región central del quemador, la llama aire-combustible opera en un entorno rico en combustible, lo que permite reducir las temperaturas máximas en comparación con la
10 combustión estequiométrica (relación de equivalencia = 1). En segundo lugar, los orificios de purga (28) proporcionan aire en la cámara de encendido, que puede ser arrastrado por los chorros de combustible antes de que este abandone el plano de salida del quemador. Como se mencionó anteriormente, esta mezcla mejorada, gracias a un diseño único de la punta de la cámara de encendido, permite reducir las temperaturas máximas en
15 comparación con los quemadores sin premezcla. Las temperaturas máximas más bajas contribuyen a reducir la formación de NOx térmico.

Además, la ubicación radialmente separada de las boquillas de inyección de oxígeno de la llama central es importante para minimizar la formación de NOx térmico. En primer lugar, la separación radial de los chorros de oxidante de la salida del combustible
20 secundario permite una mezcla retardada entre la llama del combustible central y el oxidante secundario, lo que facilita la combustión distribuida. La formación de NOx térmico está influenciada principalmente por la temperatura, la concentración de nitrógeno y la concentración de oxígeno. La mezcla retardada permite una combustión distribuida que reduce las temperaturas máximas de combustión. Asimismo, la incorporación de gases
25 del horno para diluir el flujo de oxidante secundario ayuda a reducir la concentración local de oxígeno antes de que estos chorros de alta concentración de oxígeno entren en contacto con el combustible o la mezcla de combustible/aire parcialmente quemada. Por lo tanto, se reduce la tendencia del quemador a generar NOx térmico.

Finalmente, la inyección de combustible secundario inducida por turbulencia entre el
30 oxidante principal (aire) y el oxidante secundario permite crear una capa aislante parcial (cerca de la salida del quemador) de combustible parcialmente quemado entre ambos. Esta capa contribuye a reducir, en atmósferas de alta temperatura, el contacto entre el N₂ presente en el oxidante principal y los chorros de O₂ de alta concentración provenientes del oxidante secundario.

En modo aire-combustible, el quemador es capaz de producir una llama estable con una alta relación de reducción de 1:30 y una relación de equivalencia de 0,25. Este rendimiento se debe a la configuración única del quemador, que incluye la ubicación de la placa de purga de aire (73), su diseño escalonado y el flujo axial de aire a través de la misma, lo que proporciona un anclaje de llama robusto. El quemador ofrece múltiples puntos de anclaje de la llama en función de la potencia total de combustión, como se ilustra en la Figura 11. En modo aire-combustible, la llama se ancla en dos puntos: uno cerca de la placa de purga de aire (73) y otro en la pared interna periférica del plano de salida del remolino. En modo aire-oxicomcombustible (con mayores niveles de enriquecimiento de oxígeno) y en modo aire-combustible con potencia reducida y baja relación de equivalencia, la llama permanece anclada en la placa de purga de aire (73) sin que se produzca ningún apagado, gracias a la zona de recirculación creada por el diseño escalonado de dicha placa. Además, la placa de purga de aire (73) está empotrada L1 con respecto al plano de salida del remolino (34), lo que permite que el anclaje de la llama no se vea afectado significativamente por la atmósfera del horno.

Las características de diseño del quemador permiten la purga radial y axial del oxidante en la copa de encendido, lo que mantiene la pared periférica refrigerada al protegerla del contacto directo con la llama.

El robusto mecanismo de anclaje de la llama de este quemador, descrito anteriormente, ofrece ventajas adicionales para su funcionamiento, permitiendo la transición del modo aire-combustible al modo aire-oxicomcombustible sin necesidad de modificaciones. La posición de anclaje estable permite que una mayor proporción de oxígeno sea suministrada por el oxidante secundario, manteniendo una llama estable en el centro sin desprendimiento. El oxígeno suministrado por el oxidante secundario puede representar hasta el 90 % del oxígeno total requerido para la combustión estequiométrica del combustible. Si el horno supera la temperatura de autoencendido del combustible y si es necesario, el quemador puede funcionar en modo oxicomcombustible completo.

En esta invención, los dos conductos de suministro de combustible con técnicas de inyección únicas (un conducto cuenta con múltiples inyectores de combustible y el otro con una punta generadora de turbulencia), junto con las características de la copa de encendido descritas anteriormente, que proporcionan un anclaje de llama robusto, ofrecen flexibilidad de combustible al quemador. Para la misma entrada térmica del quemador, al aumentar la fracción de hidrógeno en el gas natural, la velocidad del combustible aumenta debido al mayor caudal volumétrico de hidrógeno (poder calorífico del hidrógeno ~330 Btu/scf) necesario para igualar la entrada térmica del gas natural (poder calorífico del gas natural ~1000 Btu/scf). Este aumento de velocidad puede provocar el desprendimiento de

la llama o afectar la tasa de liberación de calor del quemador. En el nuevo quemador, la ubicación de anclaje de la llama ayuda a desarrollar una llama estable en el centro. Esta llama estable en el centro actúa como llama piloto para el combustible suministrado por el conducto de combustible secundario. Como resultado, el quemador actual puede producir una llama estable con gas natural y/o mezclas de gas natural/H₂.

Finalmente, el quemador se enciende correctamente con una relación de equivalencia tan baja como 0,25. Esto permite arrancar el quemador con una baja relación de equivalencia (arranque con mezcla pobre). Esto es posible gracias al diseño exclusivo de la copa de encendido, que proporciona una zona donde el encendido puede iniciarse y mantenerse por debajo del límite inferior de inflamabilidad del gas natural. Una porción del oxidante principal se introduce en la cámara de encendido a través de la pared periférica, perpendicular a la boquilla de distribución de combustible. Esto permite una mezcla vigorosa del combustible y el aire de encendido, logrando así un encendido fiable y repetible de una mezcla gaseosa con una concentración de combustible dentro del rango inflamable.

Ejemplo 2

En el siguiente ejemplo, se describe un método detallado, a modo de ejemplo no limitativo, para operar un quemador (1) de la presente invención, tal como se muestra en la Figura 7:

Paso 1: Encienda el oxidante principal (esto también permitirá la entrada de aire a través de la copa), encienda el encendedor ubicado en el centro del quemador y encienda el combustible primario. Esto enciende la llama primaria.

Paso 2: Una vez encendida la llama, aumente gradualmente la potencia del quemador hasta alcanzar un determinado valor de MMBtu/h. En este punto, se inicia el combustible secundario. Dado que la salida del combustible secundario se encuentra cerca de la llama del combustible primario, el combustible secundario se enciende con la energía suministrada por la combustión del combustible primario.

Paso 3: Aumente gradualmente la potencia del quemador hasta alcanzar la potencia óptima.

Paso 4: Cuando el proceso lo requiera, se puede suministrar oxidante secundario al quemador.