

QUEMADOR Y MÉTODO PARA CALENTAMIENTO TRANSITORIO

REFERENCIA CRUZADA CON SOLICITUDES RELACIONADAS

La presente solicitud invoca prioridad sobre la Solicitud de Patente No Provisional de EE. UU. N.º 17/854,782 presentada el 30 de junio de 2022.

5 CAMPO TÉCNICO

La presente innovación se relaciona con quemadores y métodos de calentamiento transitorio, y aparatos que utilizan dichos quemadores y métodos para calentamiento transitorio (por ejemplo, hornos de reverbero, quemadores para hornos de reverbero, etc.), aspectos operativos de los aparatos y métodos para fabricarlos y utilizarlos.

10 ANTECEDENTES

Los quemadores de oxicomcombustible son conocidos por proporcionar calor primario o suplementario a hornos para una amplia gama de aplicaciones industriales. El presente solicitante es titular de varias patentes de este tipo, incluidas las patentes de EE. UU. N.º 7,390,189, 8,806,897 y 10,584,051 (varios diseños y aplicaciones de quemadores escalonados de llama plana) y de las patentes de EE. UU. N.º 9,360,257, 9,976,721, 9,657,945 y 9,689,312, y de la publicación de patente de EE. UU. N.º 2021/0116125 (varios diseños y aplicaciones de quemadores con múltiples elementos de quemador que pueden hacerse activos o pasivos para dirigir niveles de calor más altos o más bajos a ciertas partes de un horno).

20 BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

La presente solicitud describe realizaciones de un quemador que dirige selectivamente una llama más grande a una o más partes de un horno y una llama más pequeña a otra o más partes de un horno, para permitir un mejor control sobre la distribución de la temperatura en el horno.

Aspecto 1. Un quemador para calentamiento transitorio de un horno, comprendiendo el quemador: una cara del quemador configurada para estar posicionada en una superficie interior del horno cuando el quemador está montado en el horno, definiendo la cara del quemador un plano de la cara del quemador; un primer elemento del quemador que tiene una primera boquilla anular configurada para hacer fluir oxidante primario rodeando una primera boquilla interior configurada para hacer fluir combustible; un segundo elemento del quemador que tiene una segunda boquilla anular configurada para hacer fluir oxidante primario rodeando una segunda boquilla interior configurada para hacer fluir combustible, estando el segundo elemento del quemador posicionado adyacente y separado del primer elemento del quemador; una boquilla de escalonamiento configurada para hacer fluir oxidante secundario, estando la boquilla de escalonamiento posicionada adyacente y separada del segundo elemento del quemador, donde el segundo elemento del quemador está posicionado entre la boquilla de escalonamiento y el primer elemento del quemador; donde la primera boquilla interior y la segunda boquilla interior tienen cada una un eje mayor definido por una longitud de eje mayor L medida en el plano frontal del quemador, un eje menor definido por una altura de eje menor h_f medida en el plano frontal del quemador y una relación de aspecto de la boquilla de combustible de $5 \leq L/h_f \leq 15$; donde la boquilla de escalonamiento tiene un eje mayor definido por una longitud de eje mayor X medida en el plano frontal del quemador y un eje menor definido por una altura de eje menor Y medida en el plano frontal del quemador; y donde el eje mayor de la primera boquilla interior, el eje mayor de la segunda boquilla interior y el eje mayor de la boquilla de escalonamiento son sustancialmente paralelos entre sí con una desviación de entre menos o igual a 5° .

Aspecto 2. El quemador del Aspecto 1, donde la boquilla de escalonamiento tiene una relación de aspecto de $10 \leq X/Y \leq 40$.

Aspecto 3. El quemador del Aspecto 1 o del Aspecto 2, donde $1 \leq X/L \leq 2,5$.

Aspecto 4. El quemador de cualquiera de los Aspectos 1 a 3, donde el segundo elemento de quemador está separado del primer elemento de quemador por una distancia $H1$, donde $2 \leq H1/hf \leq 20$; y donde la boquilla de escalonamiento está separada del segundo elemento de quemador por una distancia $H2$, donde $2 \leq H2/hf \leq 20$.

Aspecto 5. El quemador de cualquiera de los Aspectos 1 a 4, donde el eje menor de la primera boquilla interior está desplazado del eje menor de la segunda boquilla interior por una distancia B , donde $0 < B/L \leq 1,5$; y donde el eje menor de la primera boquilla interior y el eje menor de la segunda boquilla interior son sustancialmente paralelos entre sí con una desviación de menos o igual a 5° .

Aspecto 6. El quemador de cualquiera de los Aspectos 1 a 5, que comprende además: un puerto de llama piloto colocado adyacente y separado del primer elemento de quemador por una distancia de $H3$; donde el primer elemento de quemador está posicionado entre el segundo elemento de quemador y el puerto de llama piloto; y donde $2 \leq H3/hf \leq 20$.

Aspecto 7. El quemador de cualquiera de los Aspectos 1 a 6, que comprende además: un primer conducto de combustible configurado para suministrar combustible a la primera boquilla interior, teniendo el primer conducto de combustible un eje longitudinal alineado con una dirección de flujo de combustible en el primer conducto de combustible, el eje longitudinal intersecta al plano de la cara del quemador en un ángulo α con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \alpha$) con respecto al eje mayor de la primera boquilla interior; un segundo conducto de combustible configurado para suministrar combustible a la segunda

boquilla interior, teniendo el segundo conducto de combustible un eje longitudinal alineado con una dirección de flujo de combustible en el segundo conducto de combustible, el eje longitudinal intersecta al plano de la cara del quemador en un ángulo α con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \alpha$) con respecto al eje mayor de la segunda boquilla interior; donde el eje longitudinal del primer conducto de combustible y el eje longitudinal del segundo conducto de combustible forman un ángulo entre sí de 2α ; y donde $0 < \alpha \leq 20^\circ$.

Aspecto 8. El quemador del Aspecto 7, donde $5^\circ < \alpha \leq 20^\circ$.

Aspecto 9. El quemador del Aspecto 7 o del Aspecto 8, donde el eje longitudinal del primer conducto de combustible intersecta al plano definido por el eje mayor y el eje menor de la primera boquilla interior en un ángulo β con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \beta$) con respecto al eje menor de la primera boquilla interior; donde el eje longitudinal del segundo conducto de combustible intersecta al plano definido por el eje mayor y el eje menor de la segunda boquilla interior en un ángulo β con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \beta$) con respecto al eje menor de la segunda boquilla interior; donde el eje longitudinal del primer conducto de combustible y el eje longitudinal del segundo conducto de combustible están cada uno en ángulo alejado de la boquilla de preparación; y donde $0 < \beta \leq 10^\circ$.

Aspecto 10. El quemador de cualquiera de los Aspectos 1 a 6, que comprende además: un primer conducto de combustible configurado para suministrar combustible a la primera boquilla interior, teniendo el primer conducto de combustible un eje longitudinal alineado con una dirección de flujo de combustible en el primer conducto de combustible, intersectando el eje longitudinal el plano de la cara del quemador en un ángulo β con respecto a la perpendicular

y en un ángulo complementario ($90^\circ - \beta$) con respecto al eje menor de la primera boquilla interior; un segundo conducto de combustible configurado para suministrar combustible a la segunda boquilla interior, teniendo el segundo conducto de combustible un eje longitudinal alineado con una dirección de flujo de combustible en el segundo conducto de combustible, intersectando el eje longitudinal al plano de la cara del quemador en un ángulo β con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \beta$) con respecto al eje menor de la segunda boquilla interior; donde el eje longitudinal del primer conducto de combustible y el eje longitudinal del segundo conducto de combustible están cada uno en ángulo alejándose de la boquilla de escalonamiento; y donde $0 < \beta \leq 10^\circ$.

Aspecto 11. El quemador de cualquiera de los Aspectos 1 a 10, donde se proporciona un flujo total de combustible y un flujo total de oxidante al quemador en una relación de equivalencia, donde una relación de equivalencia de 1 denota una relación estequiométrica de combustible a oxidante, una relación de equivalencia mayor que 1 denota una estequiometría rica en combustible, y una relación de equivalencia menor que 1 denota una estequiometría pobre en combustible, comprendiendo además el quemador: un controlador programado para controlar independientemente el flujo de combustible a cada una de la primera boquilla interna y la segunda boquilla interna; y para controlar la distribución del flujo total de oxidante para que consista en un flujo de oxidante primario repartido entre la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular y un flujo de oxidante secundario proporcionado a la boquilla de escalonamiento, donde el flujo de oxidante primario es de 60% a 95% del flujo total de oxidante.

Aspecto 12. El quemador del Aspecto 11, donde el flujo de oxidante primario se distribuye entre la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular en una relación de 0,9 a 1,1.

Aspecto 13. El quemador del Aspecto 11 o del Aspecto 12, donde el controlador está programado para operar el quemador en un modo proporcional en el que el flujo total de combustible se suministra a la primera boquilla interna y a la segunda boquilla interna de manera que la relación de equivalencia del primer elemento del quemador sea de 1,05 a 1,5 y la relación de equivalencia del segundo elemento del quemador sea de 1,05 a 1,5.

Aspecto 14. El quemador de cualquiera de los Aspectos 11 a 13, donde el controlador está programado para operar el quemador en un modo alterno en el que la distribución del flujo total de combustible entre la primera boquilla interna y la segunda boquilla interna cambia de un lado a otro entre un primer estado en el que el primer elemento del quemador está activo mientras que el segundo elemento del quemador está pasivo y un segundo estado en el que el primer elemento del quemador está pasivo mientras que el primer elemento del quemador está activo; donde un elemento del quemador activo se caracteriza por una relación de equivalencia de 1,4 a 3 y un elemento del quemador pasivo se caracteriza por una relación de equivalencia de 0,1 a 1.

Aspecto 15. El quemador del Aspecto 14, donde el controlador está programado para cambiar entre el primer estado y el segundo estado en función de uno o más pasajes de un período de tiempo predeterminado y los datos de un sensor posicionado para detectar al menos una condición en el horno.

Aspecto 16. El quemador de cualquiera de los Aspectos 1 a 15, donde la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular tienen cada una un eje mayor y un eje menor coincidentes con el eje mayor y el eje menor de la primera boquilla interior y la segunda boquilla interior, respectivamente, donde el eje menor de cada una de la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular está definido por una altura h_0 ; donde el combustible sale de cada una de la

primera boquilla interior y la segunda boquilla interior a una velocidad de combustible; donde el oxidante primario sale de cada una de la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular a una velocidad de oxidante primario; y donde una relación h_o/h_f está dimensionada para producir una relación de la velocidad del combustible con respecto a la velocidad del oxidante primario de entre 1 y 4.

Aspecto 17. El quemador de cualquiera de los Aspectos 1 a 16, que comprende además: un puerto de llama piloto situado debajo del primer elemento de quemador, estando la parte superior del puerto de llama piloto separada verticalmente de la parte inferior de la primera boquilla anular por una tercera separación vertical H_3 de modo que $2 \leq H_3/h_f \leq 20$; y donde la parte inferior del segundo elemento de quemador está separada de la parte superior de la primera boquilla anular por una primera distancia vertical H_1 , donde $2 \leq H_1/h_f \leq 20$; y donde la parte inferior de la boquilla de escalonamiento está separada de la parte superior de la segunda boquilla anular por una segunda distancia vertical H_2 , donde $2 \leq H_2/h_f \leq 20$; y donde el eje menor de la primera boquilla interior está desplazado del eje menor de la segunda boquilla interior por una distancia B , en el que $0 < B/L \leq 1,5$; y donde el eje menor de la primera boquilla interior y el eje menor de la segunda boquilla interior son sustancialmente paralelos entre sí con una desviación de menos o igual a 5° .

Aspecto 18. Un horno que comprende: una pared; un techo; un baño de material sólido y/o líquido; y el quemador de cualquiera de los Aspectos 1 a 17 colocado en la pared de manera que el primer elemento de quemador está más cerca del baño que el segundo elemento de quemador y la boquilla de escalonamiento está más cerca del techo que el segundo elemento de quemador.

Aspecto 19. Un método para operar el quemador de la reivindicación 1 en un horno, comprendiendo el método: hacer fluir un flujo total de oxidante al quemador que consiste en un flujo de oxidante primario repartido entre la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular y un flujo de oxidante secundario proporcionado a la boquilla de escalonamiento, donde el flujo de oxidante primario es de 60% a 95% del flujo total de oxidante, y donde el flujo de oxidante primario repartido entre la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular en una relación de 0,9 a 1,1; hacer fluir un flujo total de combustible al quemador, y cambiar la operación del quemador entre un modo proporcional y un modo alterno; donde en el modo proporcional, el flujo total de combustible se reparte entre la primera boquilla interna y la segunda boquilla interna de tal manera que la relación de equivalencia del primer elemento de quemador es de 1,05 a 1,5 y la relación de equivalencia del segundo elemento de quemador es de 1,05 a 1,5; y donde en el modo alterno, el flujo total de combustible repartido entre la primera boquilla interna y la segunda boquilla interna cambia de un lado a otro entre un primer estado en el que el primer elemento quemador está activo mientras que el segundo elemento quemador está pasivo y un segundo estado en el que el primer elemento quemador está pasivo mientras que el primer elemento quemador está activo, donde un elemento quemador activo se caracteriza por una relación de equivalencia de 1,4 a 3 y un elemento quemador pasivo se caracteriza por una relación de equivalencia de 0,1 a 1; y donde una relación de equivalencia de 1 denota una relación estequiométrica de combustible a oxidante, una relación de equivalencia mayor que 1 denota una estequiometría rica en combustible y una relación de equivalencia menor que 1 denota una estequiometría pobre en combustible.

La tecnología convencional de quemadores de oxicomcombustible es para quemadores de oxicomcombustible, que a menudo son de llama única dirigida a la masa fundida o se queman en

el espacio por encima de la superficie de baño. La mayoría de los quemadores multillama que se ofrecen actualmente se pueden montar en el techo de un horno de reverberación. Sin embargo, en muchos hornos es complicado montar el quemador en el techo y no están clasificados para funcionar como quemador de combustible flexible. Además, la próxima generación de combustibles descarbonizados y con menos emisiones de gases de efecto invernadero puede necesitar un quemador que se pueda utilizar con combustibles tradicionales como el gas natural y que también sea flexible en cuanto al tipo de combustible adecuado para que también se pueda utilizar con mezclas de gas natural e hidrógeno o con hidrógeno puro.

También determinamos que los hornos de fusión a menudo requieren que el calor se distribuya uniformemente en el horno para mejorar las características generales de fusión del horno. La combustión sin llama es una de esas formas de ayudar a proporcionar una uniformidad mejorada para la distribución del calor. Sin embargo, la combustión sin llama no tiene formación de hollín, lo que puede reducir la transferencia de calor general a la superficie del baño debido a la ausencia de transferencia de calor radiativo del hollín al baño. . Determinamos que es deseable en los hornos de fusión aumentar el flujo de calor radiativo de las partículas de hollín a la masa fundida y, al mismo tiempo, proporcionar una mejora en la uniformidad de la distribución del calor dentro del horno. Puede ser importante que la cantidad de hollín que se produce se oxide por completo dentro del volumen del horno y que no salga hollín por el conducto de humos del horno. Las realizaciones de nuestro aparato quemador pueden ayudar a resolver estos desafíos.

Las realizaciones de nuestro nuevo quemador se pueden configurar como un quemador de calentamiento transitorio de doble escalonamiento que ayuda a una mejor transferencia de calor al baño/fundición y reduce el potencial de sobrecalentamiento de la fusión. Además, el

quemador puede ser flexible en cuanto al combustible y funcionar con combustibles descarbonizados como hidrógeno y mezclas de hidrógeno/gas natural, por ejemplo. Además, las realizaciones pueden proporcionar bajas emisiones de óxido nitroso (NOx) en comparación con el quemador de oxicomcombustible convencional y pueden utilizar oxígeno a menor presión que puede ayudar a ahorrar costos de operación. Las realizaciones del nuevo quemador se pueden utilizar junto con otros quemadores de aire-combustible u oxicomcombustible o como un quemador de oxicomcombustible independiente en hornos de fusión para un mejor funcionamiento del horno que puede proporcionar tiempos de fusión más rápidos, mayor eficiencia energética, ahorro de combustible y aumento potencial de la producción.

Las realizaciones del quemador se pueden estructurar y configurar tanto como escalonadas con combustible como escalonadas con oxidante. El doble escalonamiento puede ayudar a lograr una baja generación de NOx dentro de un horno en comparación con los quemadores de oxicomcombustible de un solo combustible convencionales. El escalonamiento con oxidante del quemador puede ayudar a reducir el oxígeno cerca de la superficie del baño, lo que puede ayudar a evitar la oxidación de la superficie del baño. La evitación o reducción de la oxidación de la superficie del baño en comparación con los quemadores de aire-combustible o de oxicomcombustible convencionales puede mantener o mejorar el rendimiento del horno durante el funcionamiento del mismo.

Además, las realizaciones del nuevo quemador pueden ser flexibles en cuanto al combustible y funcionar con combustibles tradicionales (por ejemplo, gas natural) y combustibles de baja intensidad de carbono (por ejemplo, hidrógeno) y/o mezclas de combustibles alternativos tradicionales y emergentes.

En plantas que no tienen acceso a un techo, una realización de nuestro quemador se puede estructurar como un quemador de llama plana montado en la pared lateral que puede proporcionar una forma práctica de instalar la realización de nuestro quemador. Además, las dos configuraciones de nuestro quemador (montable en el techo y montable en la pared lateral, que también se pueden considerar realizaciones de quemador orientadas vertical y horizontalmente) se pueden utilizar juntas en el mismo horno para mejorar el funcionamiento general de un horno de fusión industrial.

Como se mencionó anteriormente, determinamos que sería deseable proporcionar un quemador para un horno que pudiera ayudar a mitigar, si no evitar, la formación de NOx durante la combustión de un combustible. Algunas realizaciones del quemador se pueden configurar para permitir que el quemador se adapte a un horno preexistente (por ejemplo, un horno de reverbero preexistente, que también se puede denominar horno de reverbero). Las realizaciones del quemador se pueden configurar para reemplazar quemadores convencionales en hornos preexistentes o se pueden utilizar junto con quemadores convencionales preexistentes para proporcionar un rendimiento mejorado al mismo tiempo que se proporcionan emisiones de NOx reducidas. Otras realizaciones se pueden utilizar para reemplazar por completo todos los quemadores preexistentes convencionales de un horno o se pueden incluir dentro de una nueva instalación de horno que se puede configurar para proporcionar calentamiento transitorio.

En algunas configuraciones, se pueden proporcionar realizaciones de modo que un quemador se pueda colocar en una pared lateral de un horno de reverbero por encima de un baño del horno y debajo de un techo (o tejado) del horno. El quemador se puede adaptar para permitir que el combustible que se alimenta al quemador sea completamente gas natural,

completamente hidrógeno o una mezcla de hidrógeno y gas natural. Otras realizaciones pueden utilizar una mezcla diferente de combustible que puede incluir hidrógeno solo, hidrógeno mezclado con un combustible de hidrocarburo (por ejemplo, gas natural, petróleo, etc.) y solo un combustible a base de hidrocarburo (por ejemplo, gas natural, petróleo, etc.).

5 El quemador se puede posicionar para proporcionar un calentamiento transitorio para un material metálico colocado en un baño debajo del quemador en algunas realizaciones. En algunas configuraciones, el material metálico dentro del baño puede ser metal para la fusión de aluminio, la fusión de hierro u otro tipo de operación de fusión de metales.

En algunas realizaciones, el quemador puede utilizar elementos de quemador primero y
10 segundo que están ubicados debajo de una boquilla de oxidante que está ubicada para emitir un flujo de oxidante. Los elementos de quemador primero y segundo pueden incluir cada uno una abertura interior para emitir un combustible y una abertura exterior con forma anular para emitir un flujo de oxidante que tiene oxígeno en su interior que está ubicada para rodear la
15 abertura interior que puede emitir el combustible. Los elementos de quemador de combustible primero y segundo pueden estar conectados a un conjunto de colector de control de flujo de combustible configurado para proporcionar combustible a los elementos de quemador primero y segundo. El combustible puede ser gas hidrógeno, un gas natural o una mezcla de gas natural e hidrógeno, por ejemplo. Las aberturas exteriores para los elementos de quemador de
20 combustible primero y segundo pueden estar conectadas a una fuente de oxidante para emitir oxígeno. La fuente de oxidante puede ser una salida de una unidad de separación de aire criogénica que proporciona un flujo de oxígeno a los elementos del quemador o puede ser otra fuente de un flujo de oxidante que puede incluir oxígeno en el mismo (por ejemplo, aire, una mezcla de gases que incluye una concentración suficiente de oxígeno, una mezcla de fluidos

que incluye una concentración suficiente de oxígeno, etc.). Los elementos del quemador primero y segundo pueden disponerse para que estén en una alineación preseleccionada entre sí para facilitar la formación de una llama estable que tenga un perfil de emisión de NOx bajo. Los elementos del quemador también pueden disponerse y posicionarse para que funcionen

5 junto con la boquilla de oxidante superior de modo que se proporcione una velocidad de combustible preseleccionada, una velocidad de flujo de oxidante preseleccionada, un nivel preseleccionado de escalonamiento de combustible y un nivel preseleccionado de escalonamiento de oxidante para ayudar a facilitar la formación de una llama estable que tenga un perfil de emisión de NOx bajo. La disposición preseleccionada puede incluir, por ejemplo,

10 (1) un posicionamiento descentrado de un primer elemento de quemador inferior y un segundo elemento de quemador superior en una dimensión horizontal a lo largo de una pared que cae dentro de un primer umbral de orientación preseleccionado mientras que también incluye (2) un espaciado vertical entre el primer y el segundo elementos de quemador que está dentro de un primer umbral de espaciado vertical preseleccionado y (3) un espaciado vertical entre el

15 segundo elemento de quemador superior y la boquilla de oxidante superior que está dentro de un primer umbral de espaciado de boquilla de oxidación preseleccionado, y (4) un espaciado vertical entre el primer elemento de quemador inferior y una salida de llama piloto ubicada debajo del primer elemento de quemador que está dentro de un primer umbral de espaciado de llama piloto preseleccionado. La longitud y el ancho de las diferentes boquillas de los

20 elementos de quemador también pueden estar dentro de rangos de longitud y ancho preseleccionados para funcionar en conjunto con estos umbrales preseleccionados para ayudar a facilitar la formación de una llama estable que tiene un perfil de emisión de NOx bajo. Los elementos de quemador primero y segundo también pueden configurarse para incluir una

inclinación preseleccionada que va de -10° a 10° para proporcionar un flujo inclinado, nivelado o declinado de combustible y oxidante y una orientación horizontal preseleccionada de modo que los elementos de quemador puedan hacer fluir combustible y/o flujos de oxidante hacia afuera en un ángulo horizontal con respecto a salir directamente de la pared (por ejemplo, en un ángulo de 0°) que va de -20° a 20° .

Las realizaciones de uno o más quemadores incluidos en un horno de reverbero pueden ayudar a limitar el oxígeno cerca de la superficie del baño. Tal característica puede ayudar a reducir o mantener la oxidación del baño de metal a un nivel base. Las realizaciones también pueden proporcionar una contrapresión baja de los flujos de oxígeno para evitar la necesidad de usar una fuente de oxígeno de alta presión para los flujos de oxidante. Por ejemplo, se ha descubierto que algunas realizaciones pueden reducir las emisiones de NOx hasta en un 50 %. Estos resultados mejorados podrían obtenerse al mismo tiempo que se mejora la eficiencia de las operaciones del horno. En algunas realizaciones, por ejemplo, se cree que la eficiencia de funcionamiento del horno en modo híbrido (reemplazando un quemador de aire-combustible por un quemador de calentamiento transitorio en un horno de reverbero) se puede mejorar en aproximadamente un 9 %, la producción se puede aumentar en aproximadamente un 26 % y se pueden lograr ahorros de combustible de aproximadamente un 26 %. Estas mejoras se pueden lograr mientras el horno también se puede adaptar para funcionar con una fuente de combustible descarbonizada (por ejemplo, hidrógeno como combustible) para reducir las emisiones de carbono además de reducir las emisiones de NOx.

Se proporciona un aparato para calentamiento transitorio. El aparato puede incluir al menos un quemador que se puede colocar en una pared o un techo del aparato para calentamiento transitorio por encima de un baño del aparato para calentamiento transitorio. Cada uno de los

al menos un quemador puede incluir: un primer elemento de quemador que tiene una primera salida de flujo de oxidante exterior que rodea una primera salida de combustible interior, un segundo elemento de quemador que tiene una segunda salida de flujo de oxidante exterior que rodea una segunda salida de combustible interior donde el segundo elemento de quemador está colocado por encima del primer elemento de quemador, y una boquilla de flujo de oxidante superior está colocada por encima del segundo elemento de quemador.

Las realizaciones del aparato para calentamiento transitorio pueden ser un horno de reverbero u otro tipo de horno o dispositivo de calentamiento transitorio. El al menos un quemador se puede colocar en una pared lateral del horno por encima del baño. El baño se puede colocar para retener metal para fundir el metal. El metal puede ser aluminio, acero u otro tipo de metal.

Las realizaciones se pueden adaptar de modo que el uno o más quemadores tengan una estructura y disposición particulares. Por ejemplo, la primera salida de combustible interna para un quemador puede tener una altura h_f y una longitud L medidas en el plano de la cara del quemador 10fp y la segunda salida de combustible interna también puede tener la h_f y la L medidas en el plano de la cara del quemador 10fp. Una parte superior de la primera salida de flujo de oxidante externa puede estar espaciada verticalmente de una parte inferior de la segunda salida de flujo de oxidante externa por una primera separación vertical H_1 y una parte superior de la segunda salida de flujo de oxidante externa puede estar espaciada verticalmente de una parte inferior de una salida de flujo de oxidante de la boquilla de flujo de oxidante superior por una segunda separación vertical H_2 de manera que (a) $2 \leq H_1/h_f \leq 20$ y (b) $2 \leq H_2/h_f \leq 20$ (donde “ $\leq$ ” es menor o igual a). La segunda salida de combustible interior y la primera salida de combustible interior también pueden estar dispuestas de modo que un centro de la primera salida de combustible interior esté separado horizontalmente de un centro

de la segunda salida de combustible interior por una distancia de desplazamiento B tal que $0 \leq B/L \leq 1,5$.

Cada quemador también puede incluir un puerto de llama piloto ubicado debajo del primer elemento de quemador en algunas realizaciones. Una parte superior del puerto de llama piloto puede estar separada verticalmente de una parte inferior de la primera salida de flujo de oxidante exterior por una tercera separación vertical H3 tal que $2 \leq H3/hf \leq 20$.

La boquilla de flujo de oxidante superior puede tener una salida de flujo de oxidante que tiene una longitud X medida en el plano de la cara del quemador 10fp y una altura Y medida en el plano de la cara del quemador 10fp tal que $10 \leq X/Y \leq 40$ y $1 \leq X/L \leq 2,5$. Otras realizaciones pueden utilizar diferentes especificaciones de longitud y altura para la salida de flujo de oxidante de la boquilla de flujo de oxidante superior.

Como se ha indicado anteriormente, la primera salida de combustible interior puede tener una altura hf y una longitud L y la segunda salida de combustible interior también puede tener la hf y la L. La segunda salida de combustible interior y la primera salida de combustible interior pueden disponerse de modo que un centro de la primera salida de combustible interior esté separado horizontalmente de un centro de la segunda salida de combustible interior por una distancia de desplazamiento B tal que $0,0 \leq B/L \leq 1,5$. En dichas realizaciones, la altura hf y la longitud L también pueden definirse de modo que $5 \leq L/hf \leq 15$.

Las realizaciones del aparato para calentamiento transitorio también pueden incluir otros elementos. Por ejemplo, las realizaciones pueden incluir un conducto de alimentación para la segunda salida de combustible interior del segundo elemento quemador que se extiende linealmente desde un segundo conducto de alimentación de combustible del elemento quemador hasta la segunda salida de combustible interior del segundo elemento quemador en

un primer ángulo horizontal preseleccionado con respecto a una dirección horizontal en la que un conducto de alimentación de llama piloto se extiende linealmente hasta el puerto de llama piloto. Además, puede haber un conducto de alimentación para la primera salida de combustible interna que se extiende linealmente desde un primer conducto de alimentación de combustible del elemento quemador hasta la primera salida de combustible interna en un segundo ángulo horizontal preseleccionado con respecto a la dirección horizontal en la que el conducto de alimentación de la llama piloto se extiende linealmente hasta el puerto de la llama piloto. El primer ángulo horizontal preseleccionado puede estar en un rango de $+5^\circ$ a $+20^\circ$ o mayor que 0° y menor o igual a 20° y el segundo ángulo horizontal preseleccionado puede estar en un rango de -5° a -20° o menor que 0° y menor o igual a -20° . Alternativamente, el primer ángulo horizontal preseleccionado puede estar en un rango de -5° a -20° o menor que 0° y menor o igual a -20° y el segundo ángulo horizontal preseleccionado puede estar en un rango de $+5^\circ$ a $+20^\circ$ o mayor que 0° y menor o igual a 20° . Se pueden utilizar alternativamente otros rangos de ángulos para el primer ángulo horizontal preseleccionado y el segundo ángulo horizontal preseleccionado.

Los elementos del quemador también pueden orientarse y posicionarse para proporcionar una salida inclinada o declinada. Por ejemplo, el primer y segundo elementos del quemador pueden configurarse para incluir una inclinación preseleccionada que va de -10° a 10° para proporcionar un flujo inclinado, nivelado o declinado de combustible y oxidante. Por ejemplo, la inclinación para los conductos de alimentación o las primera y segunda salidas de combustible internas puede ser mayor que 0° y menor o igual a $+10^\circ$ o menor que 0° y mayor o igual a -10° . La inclinación para el primer elemento del quemador (y la primera salida de combustible interna) puede ser diferente de la inclinación para el segundo elemento del

quemador (y la segunda salida de combustible interna) o la inclinación puede ser el mismo para el primer y segundo elementos del quemador (y la primera y segunda salidas de combustible internas). La inclinación para la primera salida de flujo de oxidante exterior puede ser la misma que la inclinación para el primer elemento de quemador y/o la primera salida de combustible interior y la inclinación para la segunda salida de flujo de oxidante exterior puede ser el mismo que la inclinación para el segundo elemento de quemador y/o la segunda salida de combustible interior (por ejemplo, su inclinación puede estar en un rango de -10° a $+10^{\circ}$, etc.).

Como otro ejemplo, las realizaciones del aparato para calentamiento transitorio también pueden incluir un sistema de control posicionado para controlar el funcionamiento del quemador para cambiar los modos operativos del primer elemento de quemador y del segundo elemento de quemador del quemador entre un modo de funcionamiento activo y un modo de funcionamiento pasivo. El sistema de control puede tener un bucle de control de retroalimentación definido para seleccionar entre el modo de funcionamiento activo y el modo pasivo para el primer elemento de quemador y el segundo elemento de quemador en función de los datos de los sensores colocados en el aparato o posicionados para detectar una o más condiciones en el aparato.

También se proporciona un método para operar un aparato para calentamiento transitorio. Las realizaciones del método pueden incluir la colocación de al menos un quemador en una pared del aparato para calentamiento transitorio por encima de un baño del aparato para calentamiento transitorio. Cada uno de los al menos un quemador puede ser una realización de un quemador descrito anteriormente. Por ejemplo, cada quemador puede incluir un primer elemento de quemador que tiene una primera salida de flujo de oxidante exterior que rodea una

primera salida de combustible interior, un segundo elemento de quemador que tiene una segunda salida de flujo de oxidante exterior que rodea una segunda salida de combustible interior donde el segundo elemento de quemador está colocado por encima del primer elemento de quemador, y una boquilla de flujo de oxidante superior colocada por encima del segundo elemento de quemador.

Las realizaciones del método pueden incluir otros pasos. Por ejemplo, el método también puede incluir la puesta en marcha del al menos un quemador de modo que el primer elemento de quemador y el segundo elemento de quemador estén en un modo activo de modo que el primer y el segundo elementos de quemador funcionen en una relación de equivalencia de entre 1,05 y 1,5. Como otro ejemplo, después de que el aparato para calentamiento transitorio esté funcionando a una temperatura operativa preseleccionada que esté por encima de una temperatura de autoencendido del combustible alimentado al menos a un quemador, el primer elemento del quemador puede cambiarse de un modo activo a un modo pasivo. A continuación, el primer elemento del quemador puede cambiarse del modo pasivo al modo activo mientras que el segundo elemento del quemador cambia del modo activo al modo pasivo después de un primer período de tiempo preseleccionado. El modo activo puede ser un modo en el que la relación de equivalencia esté entre 1,4 y 3,0 y el modo pasivo puede ser un modo en el que la relación de equivalencia esté entre 0,1 y 1,0.

Las realizaciones del método también pueden incluir el funcionamiento del al menos un quemador de manera que: (1) la salida de oxidante de una salida de flujo de oxidante de la boquilla de flujo de oxidante superior esté entre el 5 % y el 40 % en volumen de un caudal de oxidante total del quemador y (2) la salida de oxidante del primer elemento del quemador esté

a un caudal que esté dentro del 10 % de un caudal de oxidante de la salida de oxidante del segundo elemento del quemador.

También se proporcionan realizaciones de un quemador para un aparato de calentamiento transitorio. Las realizaciones del quemador pueden incluir realizaciones del quemador descrito anteriormente. Por ejemplo, el quemador puede incluir un primer elemento de quemador que tiene una primera salida de flujo de oxidante exterior que rodea una primera salida de combustible interior, un segundo elemento de quemador que tiene una segunda salida de flujo de oxidante exterior que rodea una segunda salida de combustible interior donde el segundo elemento de quemador está colocado por encima del primer elemento de quemador, y una boquilla de flujo de oxidante superior colocada por encima del segundo elemento de quemador. Las realizaciones del quemador también pueden incluir los otros elementos y características descritos anteriormente.

Por ejemplo, un quemador para calentamiento transitorio de un horno puede incluir una cara del quemador configurada para poder colocarse en una superficie interior del horno cuando el quemador está montado en el horno. La cara del quemador puede definir un plano de la cara del quemador. El quemador también puede incluir un primer elemento de quemador que tiene una primera boquilla anular configurada para hacer fluir oxidante primario rodeando una primera boquilla interior configurada para hacer fluir combustible y un segundo elemento de quemador que tiene una segunda boquilla anular configurada para hacer fluir oxidante primario rodeando una segunda boquilla interior configurada para hacer fluir combustible. El segundo elemento de quemador puede colocarse adyacente y separado del primer elemento de quemador. Una boquilla de escalonamiento puede configurarse para hacer fluir oxidante secundario. La boquilla de escalonamiento puede colocarse adyacente y separada del segundo

elemento de quemador de modo que el segundo elemento de quemador pueda colocarse entre la boquilla de escalonamiento y el primer elemento de quemador. La primera boquilla interior y la segunda boquilla interior pueden tener cada una un eje mayor definido por una longitud de eje mayor L medida en el plano de la cara del quemador, un eje menor definido por una altura de eje menor h_f medida en el plano de la cara del quemador y una relación de aspecto de la boquilla de combustible de $5 \leq L/h_f \leq 15$. La boquilla de escalonamiento puede tener un eje mayor definido por una longitud de eje mayor X medida en el plano de la cara del quemador y un eje menor definido por una altura de eje menor Y medida en el plano de la cara del quemador. El eje mayor de la primera boquilla interior, el eje mayor de la segunda boquilla interior y el eje mayor de la boquilla de escalonamiento pueden ser sustancialmente paralelos entre sí dentro de una desviación de menos o igual a 5° .

Las diferentes dimensiones de los elementos de quemador primero y segundo y de la boquilla de escalonamiento se pueden adaptar para cumplir con un conjunto preseleccionado de criterios de diseño. Por ejemplo, la longitud y la altura de la boquilla de escalonamiento se pueden seleccionar de modo que la boquilla de escalonamiento tenga una relación de aspecto de $10 \leq X/Y \leq 40$. Los elementos del quemador y la boquilla de escalonamiento también se pueden dimensionar y configurar de modo que $1 \leq X/L \leq 2,5$.

Los elementos del quemador y la boquilla de escalonamiento también se pueden espaciar entre sí para cumplir con un criterio de diseño preseleccionado. Por ejemplo, el segundo elemento del quemador se puede espaciar del primer elemento del quemador por una distancia H_1 donde $2 \leq H_1/h_f \leq 20$ y la boquilla de escalonamiento se puede espaciar del segundo elemento del quemador por una distancia H_2 donde $2 \leq H_2/h_f \leq 20$. El quemador también puede incluir

un puerto de llama piloto ubicado adyacente y espaciado del primer elemento del quemador por una distancia de H_3 donde $2 \leq H_3/h_f \leq 20$.

Los elementos del quemador también pueden tener otros criterios de diseño espacial. Por ejemplo, el eje menor de la primera boquilla interior también puede estar desplazado con respecto al eje menor de la segunda boquilla interior en una distancia B , donde $0 < B/L \leq 1,5$.

El eje menor de la primera boquilla interior y el eje menor de la segunda boquilla interior pueden ser sustancialmente paralelos entre sí con una desviación de menos o igual a 5° .

Como otro ejemplo más de los criterios de diseño espacial y de tamaño que se pueden utilizar para el quemador, el quemador también puede incluir un puerto de llama piloto como se indicó anteriormente. El puerto de llama piloto se puede colocar debajo del primer elemento del quemador. Una parte superior del puerto de llama piloto se puede separar verticalmente de una parte inferior de la primera boquilla anular por una tercera separación vertical H_3 de modo que $2 \leq H_3/h_f \leq 20$. Una parte inferior del segundo elemento del quemador se puede separar de una parte superior de la primera boquilla anular por una primera distancia vertical H_1 donde $2 \leq H_1/h_f \leq 20$. Una parte inferior de la boquilla de escalonamiento se puede separar de una parte superior de la segunda boquilla anular por una segunda distancia vertical H_2 donde $2 \leq H_2/h_f \leq 20$. El eje menor de la primera boquilla interior también se puede desplazar del eje menor de la segunda boquilla interior por una distancia B donde $0 < B/L \leq 1,5$. El eje menor de la primera boquilla interior y el eje menor de la segunda boquilla interior pueden ser sustancialmente paralelos entre sí con una desviación de menos o igual a 5° .

El quemador también puede incluir conductos de combustible que pueden suministrar combustible a la primera y segunda boquillas interiores de los elementos de quemador primero y segundo. Por ejemplo, puede haber un primer conducto de combustible configurado para

suministrar combustible a la primera boquilla interior. El primer conducto de combustible puede tener un eje longitudinal alineado con una dirección de flujo de combustible en el primer conducto de combustible. El eje longitudinal puede intersectar al plano de la cara del quemador en un ángulo α con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \alpha$) con respecto al eje mayor de la primera boquilla interior. Un segundo conducto de combustible puede estar configurado para suministrar combustible a la segunda boquilla interior. El segundo conducto de combustible puede tener un eje longitudinal alineado con una dirección de flujo de combustible en el segundo conducto de combustible. El eje longitudinal del segundo conducto de combustible puede intersectar al plano de la cara del quemador en un ángulo α con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \alpha$) con respecto al eje mayor de la segunda boquilla interior. El eje longitudinal del primer conducto de combustible y el eje longitudinal del segundo conducto de combustible pueden estar en ángulo entre sí en un ángulo de 2α u otro valor de ángulo preseleccionado. En algunas configuraciones, el ángulo α puede estar en un rango de $0 < \alpha \leq 20^\circ$ o $5^\circ < \alpha \leq 20^\circ$.

El primer conducto de combustible configurado para suministrar combustible a la primera boquilla interior que tiene un eje longitudinal alineado con una dirección de flujo de combustible en el primer conducto de combustible también puede estructurarse de modo que el eje longitudinal intersecte al plano de la cara del quemador en un ángulo β con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \beta$) con respecto al eje menor de la primera boquilla interior. Una configuración de este tipo puede proporcionar una inclinación al primer conducto de combustible, por ejemplo. El segundo conducto de combustible configurado para suministrar combustible a la segunda boquilla interior que tiene un eje longitudinal alineado con la dirección del flujo de combustible en el segundo conducto de combustible también

puede estructurarse de manera que el eje longitudinal intersecte al plano de la cara del quemador en un ángulo β con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \beta$) con respecto al eje menor de la segunda boquilla interior. En dichas configuraciones, el eje longitudinal del primer conducto de combustible y el eje longitudinal del segundo conducto de combustible pueden estar cada uno en ángulo alejándose de la boquilla de escalonamiento y el ángulo β puede estar en un rango de $0 < \beta \leq 10^\circ$ o $0 < \beta \leq 5^\circ$.

Se puede proporcionar un flujo total de combustible y un flujo total de oxidante al quemador en una relación de equivalencia donde una relación de equivalencia de 1 denota una relación estequiométrica de combustible a oxidante, una relación de equivalencia mayor que 1 denota una estequiometría rica en combustible y una relación de equivalencia menor que 1 denota una estequiometría pobre en combustible. Se puede programar un controlador para controlar de forma independiente el flujo de combustible a cada una de las boquillas internas primera y segunda y para controlar la distribución del flujo total de oxidante para que consista en un flujo de oxidante primario repartido entre la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular y un flujo de oxidante secundario proporcionado a la boquilla de escalonamiento de tal manera que el flujo de oxidante primario sea del 60 % al 95 % del flujo de oxidante total y el flujo de oxidante secundario sea un resto del flujo de oxidante total (por ejemplo, del 5 % al 40 % del flujo de oxidante total). El flujo de oxidante primario se puede distribuir entre la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular en una relación de 0,9 a 1,1.

El controlador también se puede programar para que opere el quemador en un modo proporcional en el que el flujo total de combustible se suministra a la primera boquilla interna y a la segunda boquilla interna de manera que la relación de equivalencia del primer elemento

del quemador sea de 1,05 a 1,5 y la relación de equivalencia del segundo elemento del quemador sea de 1,05 a 1,5.

El controlador puede programarse para operar el quemador en un modo alterno. Por ejemplo, el controlador puede programarse para operar el quemador en un modo alterno en el que la distribución del flujo total de combustible entre la primera boquilla interna y la segunda boquilla interna cambia de un estado a otro entre un primer estado en el que el primer elemento del quemador está activo mientras que el segundo elemento del quemador está pasivo y un segundo estado en el que el primer elemento del quemador está pasivo mientras que el primer elemento del quemador está activo. Un elemento del quemador activo puede caracterizarse por una relación de equivalencia de 1,4 a 3 y el elemento del quemador pasivo puede caracterizarse por una relación de equivalencia de 0,1 a 1. El controlador puede programarse para cambiar entre el primer estado y el segundo estado en función de uno o más pasajes de un período de tiempo predeterminado y los datos de al menos un sensor colocado para detectar al menos una condición en el horno.

La primera boquilla anular y la segunda boquilla anular pueden tener cada una un eje mayor y un eje menor coincidentes con el eje mayor y el eje menor de la primera boquilla interior y la segunda boquilla interior, respectivamente. El eje menor de cada una de la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular puede definirse por una altura h_o . El combustible puede salir de cada una de la primera boquilla interior y la segunda boquilla interior a una velocidad de combustible, el oxidante primario puede salir de cada una de la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular a una velocidad de oxidante primario, y la relación h_o/h_f puede dimensionarse para producir una relación de la velocidad del combustible a la velocidad del oxidante primario de 1 a 4.

También se proporciona un horno. El horno puede incluir una pared, un techo, un baño de material sólido y/o líquido, y una realización del quemador posicionado en la pared de modo que el primer elemento del quemador esté más cerca del baño que el segundo elemento del quemador y la boquilla de escalonamiento esté más cerca del techo que el segundo elemento del quemador. La realización del quemador utilizado en el horno puede ser cualquiera de las realizaciones descritas en este documento, por ejemplo.

También se proporciona un método para hacer funcionar un quemador en un horno. El método puede incluir hacer fluir un flujo total de oxidante al quemador que consiste en un flujo de oxidante primario repartido entre la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular y un flujo de oxidante secundario proporcionado a la boquilla de escalonamiento donde el flujo de oxidante primario es de 60 % a 95 % del flujo total de oxidante, y donde el flujo de oxidante primario repartido entre la primera boquilla anular y la segunda boquilla anular en una relación de 0,9 a 1,1. El flujo de oxidante secundario puede ser de 40% a 5 % del flujo total de oxidante. El método también puede incluir hacer fluir un flujo total de combustible al quemador.

El método también puede incluir la operación de conmutación del quemador entre un modo proporcional y un modo alterno. Cuando está en el modo proporcional, el flujo total de combustible se puede distribuir entre la primera boquilla interna y la segunda boquilla interna de tal manera que la relación de equivalencia del primer elemento quemador sea de 1,05 a 1,5 y la relación de equivalencia del segundo elemento quemador sea de 1,05 a 1,5. Cuando se encuentra en un modo alterno, el flujo total de combustible distribuido entre la primera boquilla interna y la segunda boquilla interna puede alternar entre un primer estado en el que el primer elemento quemador está activo mientras que el segundo elemento quemador está pasivo y un segundo estado en el que el primer elemento quemador está pasivo mientras que el segundo

elemento quemador está activo y donde un elemento quemador activo se caracteriza por una relación de equivalencia de 1,4 a 3 y un elemento quemador pasivo se caracteriza por una relación de equivalencia de 0,1 a 1. En dichas realizaciones del método, una relación de equivalencia de 1 denota una relación estequiométrica de combustible a oxidante, una relación de equivalencia mayor que 1 denota una estequiometría rica en combustible y una relación de equivalencia menor que 1 denota una estequiometría pobre en combustible.

Otros detalles, objetos y ventajas de los métodos de calentamiento transitorio, aparatos para calentamiento transitorio, quemadores para hornos de reverbero y métodos para fabricarlos y utilizarlos se harán evidentes a medida que avance la siguiente descripción de ciertas realizaciones a modo de ejemplo de los mismos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

En los dibujos se muestran realizaciones a modo de ejemplo de quemadores para calentamiento transitorio y métodos para fabricarlos y utilizarlos. Los mismos caracteres de referencia en los dibujos identifican componentes similares.

La Figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de un horno de reverbero 1 en el que se monta un quemador de calentamiento transitorio 10 en una pared lateral 6.

La Figura 2 es una vista en perspectiva frontal de una primera realización a modo de ejemplo de un quemador de calentamiento transitorio 10.

La Figura 3 es una vista esquemática en sección transversal superior de la primera realización a modo de ejemplo del quemador 10 en la figura 2.

La Figura 4 es otra vista esquemática en sección transversal de la primera realización a modo de ejemplo del quemador 10 en la figura 2.

La Figura 5 es una ilustración esquemática de una disposición a modo de ejemplo de conducto de combustible para alimentar combustible a los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 de la primera realización a modo de ejemplo del quemador 10.

La Figura 6 es una vista frontal de la primera realización a modo de ejemplo del quemador 10.

5 La Figura 7 es una vista fragmentaria ampliada del segundo elemento de quemador superior 15 rodeado por el círculo F7 en las figuras 6 y 8.

La Figura 8 es una vista frontal de la primera realización a modo de ejemplo del quemador 10.

La Figura 9 es una vista frontal de la primera realización a modo de ejemplo del quemador 10 similar a las vistas de las figuras 6 y 8 y que ilustra un ejemplo de una orientación alternativa
10 de los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15.

La Figura 10 ilustra los resultados de una evaluación de dinámica de fluidos computacional de una realización del quemador 10 en un horno.

La Figura 11 ilustra los resultados de una evaluación computacional de la dinámica de fluidos de una realización del quemador 10 en un horno.

15 La Figura 12 es un gráfico que compara el NO_x normalizado en libras por millón de unidades térmicas británicas (lbs/MMBtu) como una función del porcentaje de fuga de aire en el horno para un quemador de oxcombustible convencional y realizaciones de un quemador de calentamiento transitorio.

20 DESCRIPCIÓN DETALLADA

Como se puede observar mejor en las Figuras 2 a 9, un quemador de calentamiento transitorio 10 puede incluir una pluralidad de elementos de quemador y estar posicionado entre un puerto de llama piloto inferior 11 que puede emitir una llama piloto y una boquilla de escalonamiento

17 que puede emitir un flujo de oxidante desde una salida de flujo de oxidante 17o definida en un lado caliente 10h del cuerpo del quemador 10. El lado caliente 10h del cuerpo del quemador 10 se puede posicionar para que mire hacia el interior de la cámara del aparato para calentamiento transitorio por encima del baño 2. La boquilla de escalonamiento 17 también se puede denominar boquilla de flujo de oxidante superior 17 para algunas realizaciones.

La pluralidad de elementos quemadores puede incluir un primer elemento quemador 13 que está separado de un segundo elemento quemador superior 15. El primer elemento quemador inferior 13 puede estar entre el puerto de llama piloto inferior 11 y el segundo elemento quemador 15. El segundo elemento quemador 15 puede estar posicionado entre el primer elemento quemador 13 y la boquilla de escalonamiento 17 (por ejemplo, la boquilla de flujo de oxidante superior 17).

El primer elemento quemador inferior 13 puede incluir una primera boquilla interior 13IN que tiene una primera salida de combustible interior 13f que puede emitir un flujo de combustible a la cámara por encima del baño 2 y por debajo del segundo elemento quemador superior 15.

La primera salida de combustible interior 13f de la primera boquilla interior 13IN puede estar rodeada por una primera salida de flujo de oxidante exterior 13o de la primera boquilla anular 13AN del primer elemento quemador 13 (por ejemplo, un perímetro de la primera salida de combustible interior 13f puede estar completamente rodeado o circundado por la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o). La primera salida de flujo de oxidante exterior 13o puede emitir un flujo de oxidante a la cámara situada por encima del baño 2. La salida de combustible de la salida de combustible interior 13f del primer elemento quemador 13 puede estar dentro de un rango de caudal de combustible del primer elemento quemador preseleccionado y la salida de flujo de oxidante de la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o puede estar

dentro de un rango de caudal de oxidante del primer elemento quemador preseleccionado. La salida de flujo de oxidante de la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o puede tener una concentración de oxígeno preseleccionada que se encuentra dentro de un rango de concentración de oxígeno del flujo de oxidante del primer elemento quemador preseleccionado. La concentración de oxígeno para la salida de flujo de oxidante de la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o puede ser de 90 por ciento en volumen (vol%) de oxígeno a 100 por ciento en volumen de oxígeno en algunas realizaciones. Otras realizaciones pueden utilizar una concentración de oxígeno de entre 21 y 100 por ciento en volumen de oxígeno. Otras realizaciones pueden utilizar una concentración de oxígeno de menos de 21 % en volumen de oxígeno y más de 10 % en volumen de oxígeno o una concentración de al menos 26 % en volumen de oxígeno, al menos 40 % en volumen de oxígeno, al menos 70 % en volumen de oxígeno o al menos 98 % en volumen de oxígeno.

El segundo elemento quemador 15 puede incluir una segunda boquilla interior 15IN que está colocada dentro de una segunda boquilla anular 15AN (por ejemplo, la segunda boquilla anular puede rodear la segunda boquilla interior). Por ejemplo, la segunda boquilla interior 15IN puede tener una segunda salida de combustible interior 15f que puede hacer salir un flujo de combustible a la cámara por encima del baño. La segunda salida de combustible interior 15f del segundo elemento quemador 15 puede estar rodeada por la segunda boquilla anular 15AN del segundo elemento quemador 15, que puede configurarse para tener una segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o. La segunda boquilla anular 15AN puede emitir un flujo de oxidante a la cámara situada por encima del baño 2 (por ejemplo, un perímetro de la segunda salida de combustible interior 15f puede estar completamente rodeado o cercado por la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o). La salida de combustible de la salida de combustible

interior 15f del segundo elemento quemador 15 puede estar dentro de un rango de caudal de combustible del segundo elemento quemador preseleccionado y la salida de flujo de oxidante de la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o puede estar dentro de un rango de caudal de combustible del segundo elemento quemador preseleccionado. La salida de flujo de oxidante de la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o puede tener una concentración de oxígeno preseleccionada que se encuentra dentro de un rango de concentración de oxígeno del flujo de oxidante del segundo elemento quemador preseleccionado. La concentración de oxígeno para la salida de flujo de oxidante de la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o puede ser de 90 por ciento en volumen (vol%) de oxígeno a 100 por ciento de volumen de oxígeno en algunas realizaciones. Otras realizaciones pueden utilizar una concentración de oxígeno de entre 21 y 100 por ciento en volumen de oxígeno. Otras realizaciones pueden utilizar una concentración de oxígeno de menos de 21 % en volumen de oxígeno y más de 10 % en volumen de oxígeno o una concentración de al menos 26 % en volumen de oxígeno, al menos 40 % en volumen de oxígeno, al menos 70 % en volumen de oxígeno o al menos 98 % en volumen de oxígeno.

La boquilla de escalonamiento 17 puede configurarse como una boquilla de flujo de oxidante 17 que puede incluir una salida de flujo de oxidante 17o que produce un flujo de oxidante a un caudal que puede estar dentro de un rango de caudal de oxidante superior preseleccionado. El flujo de oxidante de cada una de la primera boquilla de oxidante 13o, la segunda boquilla de oxidante 15o y la boquilla de escalonamiento 17 tiene generalmente una concentración volumétrica de oxígeno molecular (O₂) de 21 por ciento en volumen a 100 por ciento en volumen. De manera más general, un oxidante puede ser aire, aire viciado (es decir, gas con menos de aproximadamente 20,9 % de oxígeno), aire enriquecido con oxígeno (es decir, gas

con más de aproximadamente 20,9 % de oxígeno) u oxígeno esencialmente puro (es decir, gas con aproximadamente 100 % de oxígeno). En realizaciones preferidas, el oxidante es un aire enriquecido con oxígeno que tiene una concentración de oxígeno de al menos 26 % en volumen de oxígeno, al menos 40 % en volumen de oxígeno, al menos 70 % en volumen de oxígeno o al menos 98 % en volumen de oxígeno.

El combustible y el oxidante se suministran al quemador 10 mediante conductos que se extienden desde la cara del quemador 10h hacia atrás a través del cuerpo del quemador y hacia afuera más allá del lado trasero 10c, como se muestra en las figuras 3 y 4. El oxidante se suministra al quemador a través de un conducto de oxidante que alimenta una cámara de distribución de oxidante, que sirve como un colector para distribuir oxidante a la primera boquilla anular 13o, la segunda boquilla anular 15o y la boquilla de escalonamiento 17o. Se distribuyen caudales aproximadamente iguales de oxidante a cada una de las primeras boquillas anulares 13o y a la segunda boquilla anular 15o, mientras que la cantidad de oxidante distribuida a la boquilla de escalonamiento 17o se controla mediante una válvula (no mostrada).

El combustible para el primer elemento quemador 13 se suministra a un primer conducto de combustible 13c que define un eje longitudinal 13L que se extiende a través de la primera boquilla interior 13f. El combustible para el segundo elemento quemador 15 se suministra a un segundo conducto de combustible 15c que define un eje longitudinal 15L que se extiende a través de la segunda boquilla interior 15f.

El combustible se suministra a los elementos de quemador 13 y 15 mediante un dispositivo de control de flujo como se muestra en la Figura 5. Una fuente de suministro de combustible 28 proporciona combustible a un primer tren de flujo que tiene una válvula 30 y una derivación

31b que evita la válvula 30, y a un segundo tren de flujo que tiene una válvula 30 y una derivación 31b que evita la válvula 30.

El primer tren de flujo suministra combustible a la primera boquilla interior 13f del primer elemento de quemador 13 mientras que el segundo tren de flujo suministra combustible a la segunda boquilla interior 15f del segundo elemento de quemador 15, como se muestra en las Figuras 6A y 6B.

Cuando la válvula 30 del primer tren de flujo está abierta y el combustible fluye a través de la válvula 30 y su derivación correspondiente 31b del primer tren de flujo, el flujo de combustible a la primera boquilla interior 13f es mayor que cuando la válvula 30 está cerrada y el combustible fluye solo a través de la derivación 31b. De manera similar, cuando la válvula 30 del segundo tren de flujo está abierta y el combustible fluye a través de la válvula 30 y de la derivación 31b del segundo tren de flujo, el flujo de combustible hacia la segunda boquilla interior 15f es mayor que cuando la válvula 30 está cerrada y el combustible fluye únicamente a través de la derivación 31b.

Las dos válvulas 30 están controladas por un controlador CTRL programado para operar el quemador 10 de tal manera que al menos una de las válvulas 30 esté siempre abierta, y a veces ambas válvulas 30 estén abiertas. Cuando la válvula 30 del primer tren de flujo está abierta y la válvula 30 del segundo tren de flujo está cerrada, el primer elemento quemador 13 está en un modo activo mientras que el segundo elemento quemador 15 está en un modo pasivo; y a la inversa, cuando la válvula 30 del primer tren de flujo está cerrada y la válvula 30 del segundo tren de flujo está abierta, el primer elemento quemador 13 está en un modo pasivo mientras que el segundo elemento quemador 15 está en un modo activo. Cuando ambas válvulas 30 están abiertas, ambos elementos del quemador 13 y 15 están en un modo activo. El quemador

10 normalmente no se hace funcionar con ambas válvulas 30 cerradas, ya que no se esperaría que este fuera un modo de funcionamiento útil, aunque si más tarde se determina que es útil, el controlador CTRL se puede programar para incluir ese modo de funcionamiento del quemador 10.

5 El combustible se suministra por separado a un conducto piloto 24 que se conecta al puerto de llama piloto que se utiliza para fines de encendido y para cuando el horno está por debajo de la temperatura de autoencendido del combustible.

Un lado más frío 10c del quemador 10 puede estar opuesto al lado caliente 10h. Como se puede apreciar mejor en las figuras 3 a 5, el lado más frío 10c del quemador 10 puede incluir
10 una disposición de conductos a través de los cuales se pueden transportar flujos de combustible y oxidante al puerto de llama piloto inferior 11, los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 y la boquilla de escalonamiento 17 (que se puede considerar una boquilla de flujo de oxidante superior 17 para la realización ilustrada). Por ejemplo, el combustible se puede extraer de un colector de control de combustible 28 para alimentar combustible a un primer
15 conducto de alimentación de combustible del elemento de quemador 29a y un segundo conducto de alimentación de combustible del elemento de quemador 29b para alimentar combustible a las primera y segunda boquillas internas de los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 del quemador.

Los flujos de oxidante se pueden alimentar al primer elemento de quemador 13, segundo
20 elemento de quemador 15 y boquilla de escalonamiento 17 (por ejemplo, boquilla de flujo de oxidante superior 17) a través de conductos de suministro de oxígeno que proporcionan fluido oxidante que contiene oxígeno desde una fuente de oxígeno a la primera boquilla anular 13AN del primer elemento de quemador 13, segunda boquilla anular 15AN del segundo elemento de

quemador 15 y boquilla de escalonamiento 17 de modo que los flujos de oxidante se pueden emitir desde la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o, la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o y la boquilla de escalonamiento 17. Ejemplos de la fuente de oxígeno pueden ser una unidad de separación de aire criogénica que emite uno o más flujos de oxígeno que se pueden alimentar a las boquillas o una unidad de adsorción por oscilación de vacío (VSA) que puede emitir al menos un flujo de oxígeno. Otras fuentes de oxidante para los flujos de oxidante pueden ser otras unidades de planta que puedan proporcionar un flujo de oxidante al quemador (por ejemplo, un compresor para alimentar aire como flujo de oxidante, un compresor para alimentar aire enriquecido con oxígeno como flujo de oxidante, etc.).

El quemador 10 es capaz de funcionar con cualquier combustible gaseoso, incluidos, entre otros, gas natural (es decir, principalmente metano), hidrógeno o una mezcla de gas natural e hidrógeno en cualquier relación deseada. En algunas realizaciones, el combustible que proporciona el colector de control de combustible 28 puede incluir gas natural, hidrógeno o una mezcla de hidrógeno y gas natural. Por ejemplo, una fuente de hidrógeno 26 y una fuente de gas natural 25 se pueden conectar al colector de control de combustible 28 a través de conductos de alimentación para alimentar hidrógeno y/o gas natural al colector de control de combustible 28. El colector de control de combustible se puede configurar para retener el combustible y/o mezclar el combustible (por ejemplo, mezclar el hidrógeno con el gas natural cuando ambos se alimentan al colector de control de combustible para proporcionar un combustible que incluye hidrógeno y gas natural como combustible) y alimentar el combustible a uno o más conductos de alimentación de combustible a través de una disposición de válvulas y uno o más recipientes. El colector de control de combustible 28 se puede conectar al primer y segundo elementos de quemador 13 y 15 del quemador 10 a través de conductos

de alimentación de combustible (por ejemplo, el conducto de alimentación de combustible del primer elemento de quemador 29a, el conducto de alimentación de combustible del segundo elemento de quemador 29b, etc.) para alimentar el combustible de modo que el combustible pueda salir a través de la abertura de combustible interna de la boquilla interna de cada elemento de quemador.

El conducto de alimentación del primer elemento quemador 29a y el conducto de alimentación de combustible del segundo elemento quemador 29b pueden incluir cada uno un conjunto de conductos y una válvula de control 30 de manera que al menos una cantidad mínima de combustible se alimente a la abertura de la boquilla de combustible interna a la que está conectado el conducto de alimentación. Por ejemplo, el combustible recibido desde el colector de control de combustible 28 puede pasar a un segmento de conducto de alimentación de combustible corriente abajo 31a de un conducto de alimentación de elemento quemador de modo que el combustible pueda pasar a lo largo de un segmento de conducto de flujo de derivación 31b y/o pasar a través de una válvula de control 30 a un segmento de conducto corriente abajo 31c conectado a una abertura de boquilla de combustible interna para sacar el combustible a la cámara por encima del baño 2. El segmento de conducto de alimentación de combustible corriente abajo 31a puede colocarse entre la válvula de control 30 y el colector de control de combustible 28 de modo que esté corriente arriba de la válvula de control 30 y corriente abajo del colector de control de combustible 28. El segmento de conducto de flujo de derivación 31b puede colocarse entre el segmento de conducto de alimentación de combustible corriente arriba 31a y el segmento de conducto de alimentación de combustible corriente abajo 31c de modo que el combustible del segmento de conducto de alimentación de combustible corriente arriba 31a pueda pasar al segmento de conducto corriente abajo 31c sin

tener que fluir a través de la válvula de control 30. El segmento de conducto corriente abajo 31c se puede posicionar entre la boquilla interior del elemento quemador al que está conectado el conducto de alimentación de combustible y la válvula de control 30. El segmento de conducto de corriente abajo 31c también se puede posicionar entre la boquilla interior a la que está conectado el conducto de alimentación de combustible y la salida del segmento de conducto de flujo de derivación 31b.

Para aumentar la cobertura de la llama del horno, el primer elemento quemador 13 puede estar inclinado en una o ambas direcciones, es decir, con respecto a su eje mayor y/o con respecto a su eje menor. De manera similar, el segundo elemento quemador 15 puede estar inclinado en una o ambas direcciones, es decir, con respecto a su eje mayor y/o con respecto a su eje menor.

Como se puede apreciar mejor en las Figuras 3 y 4, el primer elemento quemador 13 y el segundo elemento quemador 15 pueden estar alineados de manera que el flujo de salida de combustible desde cada una de las primera y segunda boquillas internas de estos elementos quemadores esté en un ángulo horizontal α con respecto a un ángulo recto centrado (por ejemplo, un ángulo de 0° con respecto a la cara de la pared en la que está montado el quemador, o el ángulo en el que la llama piloto emite combustible para esa llama a través del puerto de llama piloto 11). El ángulo horizontal α puede estar en un rango de $\pm 5^\circ$ a $\pm 20^\circ$.

Los límites inferior y superior del ángulo horizontal α se pueden definir o determinar de modo que el combustible se queme por completo antes de salir del horno. Si el ángulo incluido es demasiado grande, el combustible y el oxidante no se mezclarán adecuadamente dentro del volumen del horno. Si el ángulo es demasiado bajo, las dos llamas pueden no cubrir adecuadamente el ancho del horno, lo que deja puntos fríos en el horno. El ángulo final entre las boquillas se puede determinar por el ancho del horno. Además, el ancho del horno es otro

parámetro que determina este ángulo horizontal incluido α . El ancho puede afectar el ángulo horizontal deseado α porque se desea evitar que la salida de llama de la boquilla impacte la pared del horno.

Por ejemplo, el conducto de alimentación 15c para la segunda salida de combustible interior 15f del segundo elemento quemador 15 puede extenderse linealmente desde el conducto de alimentación de combustible del segundo elemento quemador 29b hasta la segunda salida de combustible interior 15f del segundo elemento quemador 15 en un ángulo horizontal α con respecto a la dirección horizontal en la que el conducto de alimentación de llama piloto 11c se extiende linealmente hasta el puerto de llama piloto 11. Este ángulo horizontal puede considerarse un primer ángulo horizontal preseleccionado o un ángulo horizontal preseleccionado del segundo elemento quemador 15. Debe apreciarse que al menos una parte del conducto de alimentación 15c puede incluir el segmento de conducto descendente 31c o ser completamente este segmento.

El ángulo horizontal α del segundo elemento quemador 15 también puede considerarse como un ángulo α en el que el eje longitudinal 15L del conducto de alimentación 15c del segundo elemento quemador 15 intersecta la cara frontal del quemador 10fp con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \alpha$) con respecto al eje mayor de la segunda boquilla interior 15IN del segundo elemento quemador 15 (por ejemplo, la longitud L de la segunda salida de combustible interior 15f). El ángulo α puede ser mayor que 0° y menor o igual a 20° o menor que 0° y mayor o igual a -20° en algunas realizaciones.

Como otro ejemplo, el conducto de alimentación 13c para la primera salida de combustible interior 13f del primer elemento quemador 13 puede extenderse linealmente desde el conducto de alimentación de combustible del primer elemento quemador 29a hasta la primera salida de

combustible interior 13f del primer elemento quemador 13 en un ángulo horizontal α con respecto a la dirección horizontal en la que el conducto de alimentación de llama piloto 11c se extiende linealmente hasta el puerto de llama piloto 11. Este ángulo horizontal puede considerarse un segundo ángulo horizontal preseleccionado o un ángulo horizontal preseleccionado del primer elemento quemador 13. El ángulo horizontal α puede estar en un rango de $\pm 5^\circ$ a $\pm 20^\circ$. Debe apreciarse que al menos una parte del conducto de alimentación 15c puede incluir el segmento de conducto descendente 31c o ser completamente este segmento.

El ángulo horizontal α del primer elemento quemador 13 también puede considerarse como un ángulo α en el que el eje longitudinal 13L del conducto de alimentación 13c del primer elemento quemador 13 intersecta la cara frontal del quemador 10fp con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \alpha$) con respecto al eje mayor de la primera boquilla interior 13IN del primer elemento quemador 13 (por ejemplo, la longitud L de la primera salida de combustible interior 13f). El ángulo α puede ser mayor que 0° y menor o igual a 20° en algunas realizaciones o menor que 0° y mayor o igual a -20° en algunas realizaciones.

El eje longitudinal 15L del conducto de alimentación 15c para el segundo elemento quemador 15 puede ser un eje que se extiende en una dirección de flujo de combustible, que puede ser la dirección en la que el combustible pasa a través del conducto de alimentación 15c para ser expulsado desde la segunda salida de combustible interior 15f de la segunda boquilla interior 15IN. Además, el eje longitudinal 13L del conducto de alimentación 13c para el primer elemento quemador 13 puede ser un eje que se extiende en una dirección de flujo de combustible, que puede ser la dirección en la que el combustible pasa a través del conducto de

alimentación 13c para ser expulsado desde la primera salida de combustible interior 13f de la primera boquilla interior 13IN. En una disposición de este tipo, los ejes longitudinales 13L y 15L pueden estar alineados con la dirección de flujo de combustible para el combustible que pasa a través de los conductos de alimentación 13c y 15c para ser expulsado desde la primera y la segunda boquillas interiores 13IN y 15IN.

Como se puede apreciar a partir de las Figuras 3 y 4, en algunas realizaciones, el ángulo horizontal α en el que se extiende linealmente el conducto de alimentación 15c para la segunda salida de combustible interior 15f puede estar en un rango de -5° a -20° y el ángulo horizontal α en el que se extiende linealmente el conducto de alimentación 13c para la primera salida de combustible interior 13f puede estar en un rango de 5° a 20° . En otras realizaciones, el ángulo horizontal α en el que se extiende linealmente el conducto de alimentación 15c para la segunda salida de combustible interior 15f puede estar en un rango de 5° a 20° y el ángulo horizontal α en el que se extiende linealmente el conducto de alimentación 13c para la primera salida de combustible interior 13f puede estar en un rango de -5° a -20° .

Se debe tener en cuenta que el valor del ángulo horizontal α puede ser el mismo valor nominal para los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 (por ejemplo, cuando el ángulo α es 5° y -5° para los elementos de quemador, el mismo valor nominal para el ángulo α es 5° , etc.). En tales realizaciones, el eje longitudinal 13L del conducto de alimentación 13c para el primer elemento de quemador 13 puede estar en ángulo con respecto al eje longitudinal 15L del conducto de alimentación 15c para el segundo elemento de quemador 13 en un ángulo que es el doble del valor nominal del ángulo α (por ejemplo, es 2α o $2*\alpha$).

El conducto de alimentación 15c para la segunda salida de combustible interior 15f se puede colocar para que se extienda linealmente de modo que el conducto 15c esté en una orientación

nivelada (por ejemplo, no tenga inclinación) a medida que se extiende desde el segundo conducto de alimentación de combustible de la boquilla 29b hasta la segunda salida de combustible interior 15f. Alternativamente, el conducto de alimentación 15c para la segunda salida de combustible interior 15f se puede colocar para que se extienda linealmente a lo largo de un ángulo vertical (por ejemplo, tenga una inclinación de hasta $\pm 10^\circ$ con respecto al nivel). El ángulo vertical en el que se puede extender el conducto de alimentación 15c para la segunda salida de combustible interior 15f se puede considerar una inclinación. La inclinación también puede denominarse ángulo β , que es un ángulo en el que el eje longitudinal 15L del conducto de alimentación 15c puede intersectar un plano definido por el eje mayor y el eje menor de la segunda boquilla interior 15IN del segundo elemento quemador (por ejemplo, un plano definido por la longitud L y la altura h_f de la segunda salida de combustible interior 15f) con respecto a la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \beta$) con respecto al eje menor de la segunda boquilla interior 15IN (por ejemplo, la altura h_f de la segunda salida de combustible interior 15f). La inclinación (o ángulo β) puede ser de hasta $+10^\circ$ con respecto a una orientación de nivel que no tiene un componente de dirección vertical o de hasta -10° con respecto a una orientación de nivel que no tiene un componente de dirección vertical, de modo que el conducto 15c se extiende linealmente a lo largo de la inclinación vertical en un rango de -10° a $+10^\circ$.

El conducto de alimentación 13c para la primera salida de combustible interior 13f también se puede colocar para extenderse linealmente de modo que el conducto 13c esté en una orientación nivelada (por ejemplo, no tenga inclinación) a medida que se extiende desde el primer conducto de alimentación de combustible de la boquilla 29a hasta la primera salida de combustible interior 13f. Alternativamente, el conducto de alimentación 13c para la primera

salida de combustible interior 13f se puede colocar para extenderse linealmente a lo largo de un ángulo vertical (por ejemplo, tener una inclinación de hasta $\pm 10^\circ$ con respecto al nivel).

El ángulo vertical en el que se puede extender el conducto de alimentación 13c para la primera salida de combustible interior 13f se puede considerar una inclinación. La inclinación también

5 puede denominarse ángulo β , que es un ángulo en el que el eje longitudinal 13L del conducto de alimentación 13c puede intersectar un plano definido por el eje mayor y el eje menor de la primera boquilla interior 13IN del primer elemento quemador (por ejemplo, un plano definido por la longitud L y la altura h_f de la primera salida de combustible interior 13f) con respecto a

la perpendicular y en un ángulo complementario ($90^\circ - \beta$) con respecto al eje menor de la primera boquilla interior 13IN (por ejemplo, la altura h_f de la primera salida de combustible interior 13f).

10 La inclinación (o ángulo β) puede ser de hasta $+10^\circ$ con respecto a una orientación de nivel que no tiene un componente vertical de dirección o de hasta -10° con respecto a una orientación de nivel que no tiene un componente vertical de dirección, de modo

que el conducto 13c se extiende linealmente a lo largo de la inclinación vertical en un rango

15 de -10° a $+10^\circ$. Se debe tener en cuenta que una inclinación mayor que 0° (por ejemplo, $+1^\circ$ o $+10^\circ$, etc.) puede considerarse una dirección inclinada que puede dirigir el combustible hacia

arriba y una inclinación menor que 0° (por ejemplo, -1° o -10° , etc.) puede considerarse una dirección declinada que puede dirigir el combustible hacia abajo.

En algunas realizaciones, la inclinación del conducto de alimentación 13c para la primera

20 salida de combustible interna 13f puede ser un valor opuesto a la inclinación del conducto de alimentación 15c para la segunda salida de combustible interna 15f. Por ejemplo, la

inclinación del conducto de alimentación 13c para la primera salida de combustible interna 13f puede variar de más de 0° a $+10^\circ$ y la inclinación del conducto de alimentación 15c para la

segunda salida de combustible interna 15c puede variar de menos de 0° a -10°. Como otro ejemplo, la inclinación del conducto de alimentación 13c para la primera salida de combustible interna 13f puede variar de menos de 0° a -10° y la inclinación del conducto de alimentación 15c para la segunda salida de combustible interna 15c puede variar de más de 0° a +10°. En otras realizaciones, la inclinación de los conductos de alimentación 13c y 15c para la primera y segunda salidas de combustible internas 13f y 15f puede tener cada uno una orientación de nivel con una inclinación de 0° o cada uno puede tener el mismo tipo de inclinación (por ejemplo, ambos pueden tener una inclinación que va de 0° a +10° o de 0° a -10°). En algunas realizaciones preferidas, la inclinación de los conductos de alimentación 13c y 15c para las primera y segunda salidas de combustible internas 13f y 15f están orientadas paralelas a la superficie del baño (por ejemplo, tienen una inclinación de 0° o aproximadamente 0°, que puede ser una inclinación que está dentro de 1° de ser 0°).

El eje longitudinal 13L del conducto de alimentación 13c puede estar en ángulo alejándose de la boquilla de escalonamiento 17. El eje longitudinal 15L del conducto de alimentación 15c también puede estar en ángulo alejándose de la boquilla de escalonamiento 17.

La segunda salida de combustible interior 15f del segundo elemento de quemador 15 puede estar empotrada en relación con la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o del segundo elemento de quemador 15. Por ejemplo, la segunda salida de flujo de oxidante 15o del segundo elemento de quemador 15 puede estar posicionada en el lado caliente 10h del quemador mientras que la segunda salida de combustible 15f del segundo elemento de quemador está empotrada de 0,25 pulgadas a 0,75 pulgadas del lado caliente 10h del quemador (por ejemplo, está empotrada de 0,635 cm a 1,905 cm). Como otro ejemplo, la segunda salida de flujo de oxidante 15o del segundo elemento de quemador 15 se puede colocar en el lado caliente 10h

del quemador mientras que la segunda salida de combustible 15f del segundo elemento de quemador 15 está empotrada de 0,15 pulgadas a 1,0 pulgadas del lado caliente 10h del quemador (por ejemplo, está empotrada de 0,381 cm a 2,54 cm). La posición empotrada de la segunda salida de combustible interior 15f en relación con la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o puede ayudar a proteger la línea de combustible (por ejemplo, la línea de combustible de gas natural, etc.) de cualquier daño debido a los gases calientes corrosivos del horno. Esto puede ayudar a aumentar la vida útil de las líneas de combustible antes de que sea necesario reemplazarlas.

La primera salida de combustible interna 13f del primer elemento de quemador 13 puede estar empotrada con respecto a la primera salida de flujo de oxidante externa 13o del primer elemento de quemador 13. Por ejemplo, la primera salida de flujo de oxidante 13o del primer elemento de quemador 13 puede estar ubicada en el lado caliente 10h del quemador mientras que la primera salida de combustible 13f del primer elemento de quemador 13 está empotrada de 0,25 pulgadas a 0,75 pulgadas con respecto al lado caliente 10h del quemador (por ejemplo, está empotrada de 0,635 cm a 1,905 cm). Como otro ejemplo, la primera salida de flujo de oxidante 13o del primer elemento de quemador 13 se puede colocar en el lado caliente 10h del quemador mientras que la primera salida de combustible 13f del primer elemento de quemador 13 está empotrada de 0,15 pulgadas a 1,0 pulgadas del lado caliente 10h del quemador (por ejemplo, está empotrada de 0,381 cm a 2,54 cm).

Además de una inclinación, un ángulo horizontal α y una disposición empotrada, el espaciado y posicionamiento de las boquillas vertical y horizontalmente (por ejemplo, espaciado vertical a lo largo de la altura de la pared, posicionamiento descentrado horizontal, etc.) se puede adaptar para cumplir con un conjunto particular de criterios de diseño para proporcionar una

llama estable que pueda proporcionar una baja emisión de NOx y al mismo tiempo permitir que la llama se genere a partir de un combustible de gas natural, un combustible de hidrógeno o un combustible que sea una mezcla de hidrógeno y gas natural. Por ejemplo, la posición horizontal del primer elemento quemador 13 y del segundo elemento quemador 15 se puede adaptar para permitir que estos elementos quemadores se alineen entre sí en el centro o se desplacen horizontalmente dentro de un rango de desplazamiento horizontal preseleccionado. Por ejemplo, la longitud horizontal L de la primera salida de combustible interior 13f y la longitud horizontal L de la segunda salida de combustible interior 15f pueden ser cada una la misma o similares (por ejemplo, la longitud L de la primera salida de combustible 13f puede ser el 90 %-110 % de la longitud L de la segunda salida de combustible interior 15f). La longitud L de cada salida puede ser la longitud de un eje mayor de la salida. Por ejemplo, la longitud L puede definir la longitud del eje mayor medida en el plano de la cara del quemador para la salida de la primera boquilla interior 13IN (por ejemplo, la primera salida de combustible 13f) del primer elemento quemador 13 y la longitud L puede definir la longitud del eje mayor medida en el plano de la cara del quemador para la salida de la segunda boquilla interior 15IN (por ejemplo, la segunda salida de combustible interior 15f) del segundo elemento quemador 15. El eje mayor de la primera boquilla interior 13IN que tiene la primera salida de combustible interior 13f puede ser sustancialmente paralelo al eje mayor de la segunda boquilla interior 15IN que tiene la segunda salida de combustible interior 15f de modo que estos ejes mayores sean paralelos o estén a 5° de ser paralelos.

La posición de la segunda salida de combustible superior 15f y la primera salida de combustible inferior 13f se puede disponer de modo que el centro de la primera salida de combustible 13f esté separado horizontalmente de un centro de la segunda salida de combustible 15f por una

distancia de desplazamiento B. La distancia de desplazamiento B puede ser una distancia entre un eje menor de la primera boquilla interior 13IN que tiene la primera salida de combustible interior 13f y un eje menor de la segunda boquilla interior 15IN que tiene la segunda salida de combustible interior 15f. Los ejes menores se pueden definir por las alturas de las salidas. Las alturas de las salidas se pueden extender perpendicularmente a las longitudes L de las salidas. El eje menor de la primera boquilla interior 13IN que tiene la primera salida de combustible interior 13f puede ser sustancialmente paralelo al eje menor de la segunda boquilla interior 15IN que tiene la segunda salida de combustible interior 15f de modo que estos ejes menores sean paralelos o estén a 5° de ser paralelos.

La Figura 8 y la Figura 9 ilustran ejemplos de diferentes disposiciones de distancia de desplazamiento B, por ejemplo (debe apreciarse que la Figura 6 ilustra una disposición de distancia de desplazamiento B que es similar a la que se muestra en la Figura 8). La característica de superposición de los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 puede ayudar a facilitar la mezcla del combustible y el oxidante dentro del volumen del horno para una combustión completa del combustible antes de salir por la salida del horno.

En la Figura 7, la longitud horizontal L de la primera salida de combustible interna 13f puede ser menor que una longitud horizontal Lo de la primera salida de flujo de oxidante externa 13o del primer elemento de quemador 13. Además, la altura hf de la primera salida de combustible interna 13f medida en el plano de la cara del quemador 10fp puede ser menor que una altura ho de la primera salida de flujo de oxidante externa 13o del primer elemento de quemador 13 medida en el plano de la cara del quemador 10fp. Como se explicó anteriormente, cada una de estas alturas hf y ho puede extenderse a lo largo de un eje menor de la salida perpendicular al eje mayor de la salida que define la longitud (L o Lo) de la salida. La primera salida de flujo

de oxidante exterior 13o del primer elemento quemador 13 puede tener forma anular de modo que la primera salida de combustible interior 13f esté posicionada dentro de una abertura central de la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o.

La longitud horizontal L de la segunda salida de combustible interior 15f puede ser menor que una longitud horizontal Lo de la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o del segundo elemento de quemador 15 medida en el plano de la cara del quemador 10fp. Además, la altura hf de la segunda salida de combustible interior 15f puede ser menor que una altura ho de la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o del segundo elemento de quemador 15 medida en el plano de la cara del quemador 10fp. Como se explicó anteriormente, cada una de estas alturas hf y ho puede extenderse a lo largo de un eje menor de la salida perpendicular al eje mayor de la salida que define la longitud de la salida. La segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o del segundo elemento de quemador 15 puede tener forma anular de modo que la segunda salida de combustible interior 15f esté posicionada dentro de una abertura central de la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o.

El tamaño y la forma del primer elemento quemador 13 pueden ser los mismos que el tamaño y la forma del segundo elemento quemador 15. Por ejemplo, el tamaño y la forma de la segunda salida de combustible interior 15f a pueden ser los mismos que el tamaño y la forma de la primera salida de combustible interior 13f y el tamaño y la forma de la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o pueden ser los mismos que el tamaño y la forma de la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o.

La salida de flujo de oxidante 17o de la boquilla de escalonamiento 17 (que puede configurarse y posicionarse como una boquilla de flujo de oxidante superior 17) puede tener una longitud X y una altura Y medidas en el plano de la cara del quemador 10fp. La longitud X puede

definirse de modo que la boquilla de escalonamiento 17 tenga una salida de flujo de oxidante 17o que se extienda desde una posición más a la izquierda de la primera salida de combustible 13f y/o la segunda salida de combustible 15f hasta una posición más a la derecha de la primera salida de combustible 13f y/o la segunda salida de combustible 15f. La altura Y de la salida de flujo de oxidante 17o puede ser la distancia vertical de la porción más grande de la salida, una altura de la salida o un diámetro de la salida (dependiendo de la forma de la salida, que puede tener forma ovalada, circular o poligonal). La longitud X de la salida de flujo de oxidante 17o puede definirse de modo que la salida de flujo de oxidante 17o esté posicionada sobre los elementos de quemador primero y segundo y se extienda lateralmente sobre la totalidad de la longitud L de la primera salida de combustible 13f y también se extienda lateralmente sobre la totalidad de la longitud L de la segunda salida de combustible 15f en una posición que esté separada verticalmente de y por encima de la primera salida de combustible interna 13f y la segunda salida de combustible interna 15f.

El espaciado vertical entre los elementos quemadores primero y segundo 13 y 15, la salida de flujo de oxidante 17o de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 y el puerto 11 para la llama piloto también se pueden definir para cumplir con un conjunto de criterios preseleccionados para ayudar a facilitar la provisión de una llama estable que pueda proporcionar un perfil de emisión de NOx bajo mientras que también permite que la llama se genere a partir de un combustible de gas natural, un combustible de hidrógeno o un combustible que sea una mezcla de hidrógeno y gas natural. Como se puede apreciar mejor a partir de la Figura 6, la parte superior de la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o del primer elemento quemador 13 puede estar espaciada verticalmente de la parte inferior de la segunda salida de flujo de oxidante 15o del segundo elemento quemador 15 por un primer espaciado

vertical H1. La parte superior de la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o del segundo elemento quemador 15 puede estar espaciada verticalmente de la parte inferior de la salida de flujo de oxidante 17o de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 por un segundo espaciado vertical H2. La parte superior del puerto de llama piloto 11 también puede estar
5 espaciada verticalmente desde la parte inferior de la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o del primer elemento de quemador 13 mediante un espaciado vertical de llama piloto H3 (que también puede considerarse un tercer espaciado vertical H3).

La posición de la boquilla para los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15, el puerto de llama piloto 11 y la boquilla de flujo de oxidante superior 17 se pueden disponer para
10 cumplir con los siguientes criterios para proporcionar un rendimiento mejorado, una estabilidad mejorada de una llama generada y menores emisiones de NOx:

(a) $2 \leq H1/hf \leq 20$, donde $H1/hf$ es el primer espaciado vertical H1 dividido por la altura hf de la salida de combustible interior;

(b) $2 \leq H2/hf \leq 20$, donde $H2/hf$ es el segundo espaciado vertical H2 dividido por la altura
15 hf de la salida de combustible interior;

(c) $2 \leq H3/hf \leq 20$, donde $H3/hf$ es el tercer espaciado vertical H3 dividido por la altura hf de la salida de combustible interior; y

(d) $0,0 \leq B/L \leq 1,5$, donde B es la distancia de desplazamiento B y L es la longitud horizontal L de la salida de combustible interior.

20 Los criterios de superposición de boquillas de (d) indicados anteriormente pueden ayudar a evitar que las boquillas estén demasiado separadas para ayudar a garantizar que el combustible y el oxidante se puedan mezclar lo suficientemente bien dentro de un horno para proporcionar

una combustión completa del combustible (o al menos una combustión casi completa del combustible).

Además, los criterios de diseño (a), (b) y (c) mencionados anteriormente pueden ayudar a garantizar la implementación de un encendido seguro del quemador en un horno frío sin ninguna fuga de CO en los gases de combustión (un encendido puede ser una condición en la que se genera inicialmente una llama en un horno frío al poner en marcha el quemador). Una secuencia de encendido a modo de ejemplo puede ser que el quemador piloto 11 se utilice para ayudar a encender la primera salida de combustible 13f de la boquilla inferior, y la llama del primer elemento del quemador inferior 13 a su vez encienda posteriormente la salida de combustible de la segunda salida de combustible 15f. Los límites operativos superiores para el inicio de la generación de llama a través de la secuencia de encendido pueden estar cerca o en una condición en la que puede ocurrir una combustión incompleta del combustible que sale del horno durante el arranque del quemador, mientras que se pueden definir límites operativos inferiores para ayudar a reducir la generación de NO_x y minimizar los efectos de interacción de llama y/o flujo entre la boquilla de flujo de oxidante superior 17, el primer elemento de quemador 13 y el segundo elemento de quemador 15.

La colocación de la boquilla de los criterios (a)-(d) mencionados anteriormente se puede mejorar aún más si la primera salida de combustible 13f y la segunda salida de combustible 15f tienen las siguientes dimensiones: una relación de aspecto de $5 \leq L/h_f \leq 15$ (donde L es la longitud horizontal L de la salida de combustible interna y h_f es la altura de la salida de combustible interna) mientras se opera de modo que el combustible salga a un rango de velocidad de 50-300 pies por segundo (ft/s), que es de 15,24 metros por segundo (m/s) a 91,44 m/s, y el oxidante sale del primer oxidante externo. salida de flujo 13o y la segunda salida de

flujo de oxidante exterior 15o a una velocidad de oxígeno de 25 pies/s a 150 pies/s, que es de 7,62 m/s a 45,72 m/s. El rango de relación L/hf se puede definir para ayudar a desarrollar llamas planas que cubran una mayor superficie del baño en comparación con los quemadores de oxicombustible simples de tubo redondo convencionales. La mayor superficie de llama orientada hacia la superficie del baño que se puede formar puede ayudar a irradiar una mayor superficie del baño, reduciendo así los puntos fríos en el lado del horno del baño. Además, la relación ho/hf se puede dimensionar para los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 para obtener una relación de la salida de velocidad de combustible de los elementos de quemador con la salida de velocidad de oxidante primario de los elementos de quemador de 1 a 4.

Además, la salida de flujo de oxidante 17o de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 puede tener una dimensión de $10 \leq X/Y \leq 40$, y $1 \leq X/L \leq 2,5$ (donde L es la longitud horizontal L de la salida de combustible interior, X es la longitud de la boquilla de flujo de oxidante superior 17, e Y es la altura de la boquilla de flujo de oxidante superior 17). La salida de velocidad de oxidante de la salida de flujo de oxidante 17o de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 puede variar de 25 pies/s a 150 pies/s, lo que es una velocidad de 7,62 m/s a 45,72 m/s.

El funcionamiento de las boquillas y de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 se puede adaptar para facilitar la generación de una llama estable con bajas emisiones de NOx y una mínima liberación de CO del horno. Los límites inferior y superior de la distribución gradual del oxidante en la boquilla de flujo de oxidante superior 17 se pueden definir en función de un funcionamiento óptimo del quemador en un horno. Por ejemplo, la salida de oxidante de la salida de flujo de oxidante 17o de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 puede ser del 5

% al 30 % de la salida de flujo de oxidante total del quemador (por ejemplo, del 5 % al 30 % de la salida de flujo de oxidante total del primer elemento de quemador 13, el segundo elemento de quemador 15 y la boquilla de flujo de oxidante superior 17). El límite superior de la distribución gradual del oxidante se puede establecer de modo que se evite el sobrecalentamiento de la pared superior del horno debido a la liberación de calor en la parte superior del horno. Esta condición de salida de flujo de oxidante se puede acoplar a un requisito de que la salida de oxidante del primer elemento de quemador 13 sea el mismo caudal de oxidante que la salida de oxidante del segundo elemento de quemador 15 o aproximadamente el mismo caudal de oxidante (por ejemplo, la salida de oxidante de la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o es la misma tasa de salida que la salida de oxidante de la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o o está dentro del 10 % o dentro del 15 % de ser la misma tasa de salida de oxidante de la salida de flujo de oxidante del otro elemento de quemador). Este oxidante de salida de los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 puede ser del 95 % al 70 % de la salida de flujo de oxidante total de la primera salida de flujo de oxidante exterior 13o, la segunda salida de flujo de oxidante exterior 15o y la salida de flujo de oxidante 17o de la boquilla de flujo de oxidante superior 17.

Los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 se pueden configurar para proporcionar diferentes tipos de escalonamiento de combustible. Por ejemplo, el caudal de salida de combustible de la primera salida de combustible 13f y de la segunda salida de combustible 15f puede ser el mismo cuando ambos elementos del quemador están en modo activo. Cuando un elemento del quemador está en modo activo y el otro elemento del quemador está en modo pasivo, la salida de combustible de cada elemento del quemador puede ser diferente. Por ejemplo, el elemento quemador pasivo puede generar combustible desde la salida de

combustible de ese elemento quemador de modo que la salida de combustible de ese elemento quemador activo sea del 65 % al 95 % de la salida total de combustible del quemador 10 y la salida de combustible del elemento quemador pasivo puede ser del 35 % al 5 % de la salida total de combustible del quemador 10.

5 El funcionamiento en modo activo de un elemento quemador (por ejemplo, el primer elemento quemador 13, el segundo elemento quemador 15 o ambos elementos quemadores, etc.) se puede apreciar en la Figura 5. Por ejemplo, en un modo activo, el combustible se puede generar desde el colector de control de combustible 28 y pasar a un elemento quemador que funciona en el modo activo de modo que la válvula de control 30 esté abierta y el combustible se
10 alimente a un alto caudal al elemento quemador que esté por encima de un caudal mínimo de combustible. Cuando el elemento quemador está en un modo pasivo, la válvula de control 30 puede cerrarse completamente de modo que solo se alimente un caudal mínimo de combustible al elemento quemador a través del combustible que puede pasar a través del segmento de conducto de derivación 31b que permite que un caudal mínimo de combustible evite la válvula
15 de control cerrada 30 para que fluya combustible al elemento quemador.

Las válvulas de control 30 pueden controlarse para permitir que todos los elementos quemadores estén en un modo activo al mismo tiempo o pueden configurarse para cambiar cuál de los elementos quemadores está en un modo activo y cuál está en un modo pasivo (por ejemplo, alternar los ciclos de modo activo y pasivo durante un ciclo de tiempo de modo activo
20 preseleccionado). Una vez transcurrido este período de tiempo, las válvulas de control se pueden ajustar de modo que la válvula de control del primer conducto de alimentación de combustible 29a se pueda cerrar completamente y la válvula de control 30 del segundo conducto de alimentación de combustible 29b se pueda abrir completamente durante un

segundo período de tiempo de modo activo preseleccionado (por ejemplo, 15 segundos, 5 minutos, 3 horas, etc.). Una vez transcurrido este período de tiempo, las válvulas de control se pueden ajustar de modo que la válvula de control del primer conducto de alimentación de combustible 29a se pueda cerrar completamente y la válvula de control 30 del segundo conducto de alimentación de combustible 29b se pueda abrir completamente durante un segundo período de tiempo de modo activo preseleccionado (por ejemplo, 15 segundos, 5 minutos, 3 horas, etc.). Este cambio entre qué elemento del quemador está activo y qué elemento del quemador está pasivo se puede continuar durante varios ciclos. Dichos ciclos pueden ayudar a proporcionar bajas emisiones, evitar el sobrecalentamiento del metal en el lado caliente 10h del quemador y/o la parte cercana de una pared lateral en la que está montado el quemador, y mantener o mejorar el rendimiento debido a la atmósfera de bajo oxígeno cerca de la superficie del baño. Esto es particularmente cierto después de que se haya puesto en marcha un aparato de calentamiento 1 y la temperatura promedio esté por encima de una temperatura de autoencendido del combustible. Por el contrario, tener ambos elementos del quemador activos puede ayudar a prevenir una fuga de monóxido de carbono (CO) y ayudar a proporcionar una combustión completa durante el arranque de un horno frío (por ejemplo, mientras el aparato de calentamiento está por debajo de la temperatura de autoencendido del combustible).

El funcionamiento del quemador cuando tanto el primer como el segundo elemento del quemador 13 y 15 están en un modo activo se puede configurar para proporcionar una relación de equivalencia de entre 1,05 y 1,5 (por ejemplo, $1,05 < \text{relación de equivalencia} < 1,5$ o una relación de equivalencia que sea mayor o igual a 1,05 y menor o igual a 1,5). Debe tenerse en cuenta que, para un caudal de combustible determinado, la relación de equivalencia se puede

determinar como la relación entre el flujo de oxidante estequiométrico teórico y el flujo de oxidante real.

En situaciones en las que un elemento del quemador está en un modo activo y el otro funciona en un modo pasivo, cada elemento del quemador puede funcionar con una relación de equivalencia diferente. Se debe tener en cuenta que la relación de equivalencia es una relación de combustible a oxidante, donde una relación de equivalencia de 1,0 es una mezcla de combustible y oxidante para una combustión completa, una relación de equivalencia de más de 1 es una mezcla de combustible y oxidante que es rica en combustible (por ejemplo, más combustible en comparación con oxidante, de modo que puede ocurrir una combustión incompleta del combustible) y una relación de equivalencia que es menor que 1 es una mezcla de combustible y oxidante que es rica en oxidante (por ejemplo, más oxidante del que se necesita para una combustión completa). La estrategia de funcionamiento rico y pobre de los elementos del quemador puede ayudar a reducir el NOx térmico generado en el proceso de combustión en comparación con el funcionamiento de los elementos del quemador en condiciones cercanas a las estequiométricas.

Por ejemplo, el elemento quemador pasivo puede funcionar con una relación de equivalencia que esté entre 0,1 y 1,0 (por ejemplo, $0,1 < \text{relación de equivalencia} < 1,0$ o una relación de equivalencia que sea mayor o igual a 0,1 y menor o igual a 1,0) y el elemento quemador activo puede funcionar con una relación de equivalencia que esté entre 1,4 y 3,0 (por ejemplo, $1,4 < \text{relación de equivalencia} < 3,0$ o una relación de equivalencia que sea mayor o igual a 1,4 y menor o igual a 3). Debe apreciarse que el oxidante adicional que puede proporcionar la boquilla de escalonamiento superior 17 puede proporcionar oxidante adicional para ayudar a facilitar la combustión completa del combustible aunque uno o todos los elementos del

quemador puedan funcionar en una condición rica en combustible (por ejemplo, con una relación de equivalencia que sea mayor que 1).

La función de las válvulas de control 30 puede controlarse mediante un controlador CTRL conectado comunicativamente a las válvulas de control. El controlador puede estar conectado

5 comunicativamente a uno o más sensores del aparato para monitorear las condiciones en el horno y/o los conductos. Al menos uno de los sensores puede estar ubicado en el horno o

cámara sobre el baño 2 o puede estar ubicado para detectar una o más condiciones en la cámara sobre el baño o en el horno. Dichos sensores pueden incluir, por ejemplo, sensores de

temperatura, sensores de presión y sensores de caudal o de flujo másico. El controlador puede

10 estar configurado para controlar automáticamente la apertura y el cierre de las válvulas de control 30 de acuerdo con un algoritmo de control predefinido definido en código almacenado

en la memoria no transitoria del controlador de modo que cuando el procesador del controlador ejecuta el código, el controlador se comunica con las válvulas de control 30 para ajustar sus

15 posiciones en función de los datos del sensor y cualquier entrada del operador que pueda proporcionarse a través de uno o más dispositivos de entrada (por ejemplo, una computadora conectada comunicativamente al controlador, etc.). El controlador CTRL puede configurarse

para supervisar y/o controlar las operaciones del quemador 10 durante el arranque de al menos un quemador de modo que el primer elemento del quemador 13 y el segundo elemento del

quemador 15 estén en un modo activo de modo que el primer y el segundo elementos del

20 quemador funcionen en una relación de equivalencia de entre 1,05 y 1,5.
Una vez que el aparato para calentamiento transitorio 1 está funcionando a una temperatura operativa preseleccionada que está por encima de una temperatura de autoencendido del combustible alimentado al menos a un quemador, el controlador puede comunicarse con las

válvulas de control 30 para conmutar el primer elemento de quemador 13 de un modo activo a un modo pasivo y posteriormente conmutar el primer elemento de quemador 13 del modo pasivo al modo activo mientras que también conmuta el segundo elemento de quemador 15 del modo activo al modo pasivo después de un primer período de tiempo preseleccionado. Esta conmutación de modos activo y pasivo para los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 puede ocurrir varias veces en numerosos ciclos. En algunas configuraciones, el controlador CTRL y las válvulas de control 30 pueden configurarse de modo que el modo activo para los elementos de quemador sea un modo en el que una relación de equivalencia esté entre 1,4 y 3,0 y el modo pasivo sea un modo en el que la relación de equivalencia esté entre 0,1 y 1,0.

El controlador CTRL también se puede configurar de modo que uno o más quemadores 10 funcionen de modo que la salida de oxidante de una salida de flujo de oxidante 17o de la boquilla de escalonamiento 17 esté entre el 5 % y el 30 % de una salida de flujo de oxidante total del quemador 10 y la salida de oxidante del primer elemento de quemador 13 tenga un caudal que esté dentro del 10 % de un caudal de oxidante de la salida de oxidante del segundo elemento de quemador 15.

El controlador CTRL se puede configurar para controlar de forma independiente el flujo de combustible a cada una de la primera boquilla interna 13IN y la segunda boquilla interna 15IN para los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 y también para controlar la distribución del flujo de oxidante total para que consista en un flujo de oxidante primario repartido entre la primera boquilla anular 13AN y la segunda boquilla anular 15AN de los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 (por ejemplo, primera salida de flujo de oxidante externa 13o y segunda salida de flujo de oxidante externa 15o) y un flujo de oxidante

secundario proporcionado a la boquilla de escalonamiento 17. El flujo de oxidante primario puede ser de entre el 60 % y el 95 % del flujo de oxidante total y el flujo de oxidante secundario puede ser el resto (por ejemplo, entre el 40 % y el 5 % del flujo de oxidante total). El flujo de oxidante primario se puede distribuir entre la primera boquilla anular 13AN y la segunda boquilla anular 15AN en una relación de entre 0,9 y 1,1 para el primer y el segundo elemento de quemador.

El controlador también puede programarse para operar el quemador 10 en un modo proporcional en el que el flujo total de combustible se suministra a la primera boquilla interna y a la segunda boquilla interna de los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 (por ejemplo, la primera salida de combustible interna 13f y la segunda salida de combustible interna 15f) de manera que la relación de equivalencia del primer elemento de quemador sea de 1,05 a 1,5 y la relación de equivalencia del segundo elemento de quemador sea de 1,05 a 1,5.

El controlador CTRL puede programarse para operar el quemador 10 en un modo alterno en el que la distribución del flujo total de combustible entre la primera boquilla interna del primer elemento de quemador 13 (por ejemplo, la primera salida de combustible interna 13f) y la segunda boquilla interna (por ejemplo, la segunda salida de combustible interna 15f) del segundo elemento de quemador 15 cambia de un lado a otro entre un primer estado en el que el primer elemento de quemador está activo mientras que el segundo elemento de quemador está pasivo y un segundo estado en el que el primer elemento de quemador está pasivo mientras que el primer elemento de quemador está activo. En tales estados operativos, el controlador CTRL puede configurarse de modo que el elemento de quemador activo pueda caracterizarse

por operar en una relación de equivalencia de 1,4 a 3 y el elemento de quemador pasivo pueda caracterizarse por operar en una relación de equivalencia de 0,1 a 1.

El controlador CTRL puede configurarse para controlar el flujo de combustible y oxidante al quemador de modo que el quemador cambie entre el modo alterno y el modo proporcional.

5 Este cambio puede producirse en función de criterios operativos preseleccionados, de la entrada del operador u otros criterios. El cambio entre estos modos de funcionamiento puede producirse de ida y vuelta en función de ciclos preseleccionados, de la entrada del usuario y/u otros criterios.

10 Las realizaciones del controlador CTRL pueden tener o utilizar de otro modo un bucle de control de retroalimentación definido para seleccionar entre el modo de funcionamiento activo y el modo de funcionamiento pasivo para los elementos del quemador 10 en función de los datos de los sensores ubicados en el aparato. El código ejecutado por el procesador del controlador puede definir el bucle de control de retroalimentación o, al menos, definir parcialmente el bucle de control.

15 Las realizaciones del controlador pueden incluir una estación de trabajo que ejecuta un programa de control de proceso automatizado que también está conectado comunicativamente a las válvulas de control 30, sensores y otros elementos de control. El controlador también puede incluir otros tipos de dispositivos informáticos que tienen un procesador conectado a un medio legible por ordenador no transitorio que tiene el código del programa de control
20 almacenado en el mismo y al menos un transceptor para conexiones comunicativas a las válvulas de control y sensores (por ejemplo, a través de una conexión de red, conexión de red inalámbrica o conexión comunicativa por cable, etc.). Uno o más dispositivos de entrada pueden conectarse al controlador para permitir que un usuario proporcione una entrada al

controlador. Uno o más dispositivos de salida (por ejemplo, una pantalla, una impresora, etc.) pueden conectarse comunicativamente al controlador para proporcionar también una salida al usuario.

El quemador 10 puede desplegarse en un horno 1, como se muestra en la Figura 1. El horno 1 puede ser un horno de reverbero u otro tipo de horno que pueda hacer uso del quemador de calentamiento transitorio 10. El aparato para el calentamiento transitorio puede incluir un baño que puede dimensionarse para retener el metal para fundir el metal a través del calentamiento transitorio en algunas realizaciones. Las paredes laterales 6 pueden extenderse verticalmente por encima del baño y un techo o cielorraso puede colocarse por encima del baño y unirse a las paredes laterales para encerrar el baño 2. Se puede colocar una serie de quemadores 3 para quemar un combustible y proporcionar una llama dentro de una cámara por encima del baño. Los gases calientes de la(s) llama(s) formada(s) pueden arremolinarsse o fluir de otra manera dentro de la cámara por encima del baño de metal para proporcionar un calentamiento transitorio al metal para fundir el metal dentro del baño 2.

El metal puede ser, por ejemplo, hierro, aluminio, un metal no ferroso u otro tipo de metal. Los gases calientes de la llama pueden pasar hacia un conducto de humos 5 para ser expulsados de la cámara y alejados del baño 2. Los gases calientes de salida pueden emitirse a la atmósfera directamente o pueden alimentarse a otro proceso de la planta para otros usos (por ejemplo, un medio de calentamiento para un intercambiador de calor, etc.).

Al menos una pared lateral 6 y/o el techo pueden incluir al menos un quemador de calentamiento transitorio 10 que puede utilizarse junto con otros quemadores (por ejemplo, quemadores de oxcombustible, quemadores regenerativos, etc.) y/o como sustituto de dichos quemadores. En algunas realizaciones, cada quemador 10 de la matriz de quemadores puede

ser un quemador 10 de este tipo. En otras realizaciones, uno o más de los quemadores 10 pueden ser un quemador de calentamiento transitorio que se coloca para generar una llama junto con otros quemadores convencionales preexistentes 3 que pueden colocarse para generar una llama para el calentamiento transitorio del metal dentro del baño 2. La disposición de los quemadores se puede utilizar junto con un funcionamiento controlado de los quemadores para proporcionar un perfil de calentamiento deseado para un flujo de calentamiento de gases calientes dentro de la cámara por encima del baño para calentar el metal en el baño 2.

Cada quemador 10 puede incluir una cara del quemador configurada para poder colocarse en una superficie interior de un horno. Por ejemplo, el quemador 10 se puede montar de modo que esté al ras de una superficie interior del horno. Por ejemplo, la cara del quemador puede configurarse para que quede a ras de la pared lateral 6 cuando el quemador 10 está montado en la pared lateral 6. Como otro ejemplo, la cara del quemador también puede configurarse para que quede a ras de un techo cuando el quemador 10 está montado en el techo. Como otro ejemplo más, el quemador 10 puede montarse en la pared lateral 6 o en el techo para poder colocarse en una superficie interior del horno para introducir combustible y oxidante en una cámara por encima del baño 2. La cara del quemador 10f del quemador puede definir un plano de la cara del quemador 10fp. El plano de la cara del quemador 10fp puede ser un plano en el que el combustible y el oxidante salen del quemador 10 para introducirse en la cámara por encima del baño 2.

Se llevó a cabo un análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) para un horno que tenía una configuración de la realización a modo de ejemplo que se muestra en la Figura 1 utilizando diferentes configuraciones de quemador. Las dos simulaciones de CFD utilizaron condiciones idénticas en el mismo tipo de horno, pero tenían diferentes configuraciones de

quemador. La primera evaluación de CFD se realizó para una realización del quemador que es similar a la realización que se muestra en la Figura 8. La segunda evaluación de CFD fue para un quemador que tenía un diseño similar a la realización que se muestra en la Figura 8 pero sin la boquilla de flujo de oxidante superior 17. El combustible utilizado en esta simulación fue gas natural y se utiliza oxígeno al 100% por volumen como oxidante. Los resultados para la concentración de oxígeno disperso cerca de la superficie del baño para estas dos evaluaciones de CFD se muestran en las Figuras 10 (sin la boquilla de flujo de oxidante superior 17) y la Figura 11 (con la boquilla de flujo de oxidante superior 17).

Las figuras 10 y 11 ilustran cada una un gráfico de concentración de oxígeno 2a en la superficie del baño 2. El gráfico ilustra los resultados de las evaluaciones CFD realizadas. La figura 10 ilustra una región de alta concentración de oxígeno cerca del quemador 10. La figura 11 muestra que el uso de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 permitió eliminar esta región y que se proporcionó una concentración de oxígeno más uniforme y baja en todo el baño 2.

Nuestras realizaciones evaluadas del quemador 10 utilizando los análisis CFD encontraron que el uso de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 puede ayudar a reducir la concentración de oxígeno cerca de la superficie del baño a ~5 % (con esta boquilla presente) en comparación con ~15 % (con esta boquilla omitida) cuando la boquilla de flujo de oxidante superior 17 no se utiliza en el quemador. El uso de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 puede ayudar a reducir o mantener una oxidación del baño de metal a un nivel base. Se descubrió que la ubicación de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 por encima de los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 (y/o cualquier otra tercera boquilla adicional que pueda emitir combustible y oxígeno) ayudaba a alejar el oxígeno de la superficie del baño de metal, ya que las boquillas ubicadas entre la boquilla de flujo de oxidante superior 17 y la superficie

del baño creaban una superficie de protección que ayudaba a evitar que la salida de oxígeno ovoide del quemador 10 fluyera por debajo del puerto de llama piloto 11 hacia el baño 2.

Las evaluaciones de realizaciones de nuestro quemador que realizamos también mostraron que la utilización de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 por encima de los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 (y/o cualquier otro tercer elemento de quemador adicional que pueda emitir combustible y oxígeno) ayudó a reducir las emisiones de NOx. Se descubrió que el uso de la boquilla de flujo de oxidante superior 17 reducía las emisiones de NOx hasta en un 50 % en comparación con una realización del quemador que solo utiliza los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15 sin la boquilla de flujo de oxidante superior 17.

También se probó de manera confidencial un quemador de ejemplo 10 en nuestro horno de laboratorio a escala industrial a una velocidad de encendido de 5 MMBtu/h. El oxidante utilizado en la prueba fue 100 % en volumen de oxígeno. La Tabla 1 a continuación presenta los puntos de prueba experimentales y las emisiones de escape correspondientes obtenidas de esta prueba realizada. En la Tabla 1 a continuación, el tipo de combustible NG es gas natural y el tipo de combustible H2 es gas hidrógeno, CO2 es dióxido de carbono presente en las emisiones, O2 es oxígeno presente en las emisiones, NOx es óxido nitroso en las emisiones y CO es monóxido de carbono en las emisiones.

Tabla 1:

Velocidad de encendido y emisiones de escape en un horno de prueba de laboratorio operado a una temperatura de horno promedio de 1900 °F

	Velocidad de encendido	Combustible	CO2	O2	NOx	CO	NOx @ 3%O2
--	------------------------	-------------	-----	----	-----	----	------------

		MMBtu/hr	% por valor calentamiento	%	%	ppm	ppm	ppm	lb/MMBtu
Una boquilla de combust. activa y la otra boquilla de combust. pasiva	5	100% NG	85	7,96	514	14	711	0,06	
Ambas boquillas de comb. activas	5	100%NG	90,8	4,87	565	31	630	0,052	
		80%NG-20%H2	88,1	8,7	416	14	610	0,042	
		60%NG-40%H2	88	8,6	450	16	654	0,034	

La Tabla 1 anterior muestra que el quemador 10 puede funcionar en ambos modos operativos para el quemador, primero con una boquilla de combustible interna de un elemento del quemador activa mientras que la otra boquilla de combustible interna del otro elemento del quemador es pasiva y segundo, donde tanto el primer como el segundo elemento del quemador de combustible 13 y 15 están activos. Se demostró que este rendimiento del quemador 10 ayuda a proporcionar flexibilidad operativa al quemador 10 en función de las necesidades operativas de la planta. Los datos obtenidos de las pruebas muestran que las realizaciones del quemador 10 pueden ser flexibles en cuanto al combustible (por ejemplo, puede funcionar con gas natural como combustible y también con una mezcla de gas natural e hidrógeno). Además, las emisiones de NO_x y CO son muy bajas, lo que creemos que se debe a la estructura y configuración de la versión de del quemador de escalamiento dual. El doble escalonamiento y las dimensiones apropiadas del quemador de acuerdo con los criterios de diseño (a)-(d) mencionados anteriormente, por ejemplo, ayudan a crear dos llamas que salen del quemador

10 con interacciones mínimas entre las llamas, evitan el funcionamiento estequiométrico de los elementos individuales del quemador 10 y aún así proporcionan una combustión casi completa de los combustibles que salen del quemador 10.

La Figura 12 es un gráfico que ilustra una comparación de las emisiones de NO_x normalizadas (lbs/MMBtu) entre un quemador de oxcombustible convencional y realizaciones de nuestro nuevo quemador de calentamiento transitorio en función del porcentaje de fuga de aire en el horno. Los resultados de las realizaciones de nuestro quemador de calentamiento transitorio (un elemento de quemador activo y otro pasivo en funcionamiento cíclico como se analiza en este documento) se presentan para dos casos con dos tipos diferentes de combustible: uno con gas natural (GN), que se etiqueta como "Nuevo quemador transitorio (combustible GN)" en la Figura 12 y otro que utiliza una mezcla de gas natural con un 70 % de valor calorífico e hidrógeno con un 30 % de valor calorífico, que se etiqueta como "Nuevo quemador transitorio (combustible NG/H₂)". Los gráficos ilustrados en la Figura 12 muestran que las realizaciones del nuevo quemador transitorio generan emisiones totales de NO_x inferiores en hasta un 40 % en comparación con los quemadores de oxcombustible convencionales. La emisión total de NO_x del nuevo quemador transitorio es, considerando la incertidumbre de la medición y los factores de funcionamiento del horno, similar cuando funciona con gas natural o una mezcla de combustibles de hidrógeno y natural.

También se descubrió que las realizaciones de nuestro quemador proporcionaban mejoras en la eficiencia del combustible y en el rendimiento según el análisis CFD que se realizó para algunas realizaciones del quemador 10 y del aparato de calentamiento transitorio 1.

Por ejemplo, se realizaron dos simulaciones CFD utilizando combustible de gas natural para un quemador en un horno para una carga de lote de 62.000 lb (28.122,7 kg). La primera

simulación CFD utilizó una disposición de combustión de aire-combustible utilizando quemadores convencionales ("Aire" en la Tabla 2). La segunda simulación CFD fue para una realización de nuestro quemador 10 utilizado en el horno de la Figura 1 que se simuló para utilizar combustión híbrida proporcionada a través de una realización de nuestro quemador de calentamiento transitorio de escalonamiento múltiple 10 ("Híbrido" en la Tabla 2, un quemador de aire-combustible se reemplazó por un quemador de calentamiento transitorio de escalonamiento múltiple). La Tabla 2 muestra el balance de energía para el horno. Se descubrió que la realización de nuestro quemador 10 ayudó a mejorar la eficiencia de funcionamiento en aproximadamente un 9 %. El tiempo de fusión del metal dentro de un baño se pudo reducir de 4,1 horas a 3,0 horas (lo que proporcionó un aumento de producción de aproximadamente el 26 % al acelerar la producción en 1,1 horas) y proporcionó una disminución en el uso de combustible del 26,6 % al reducir el consumo de combustible de 1328 unidades térmicas británicas (BTU) por libra (lb) a 975 BTU/lb.

Tabla 2: Comparación de la combustión con aire frente a la combustión híbrida

	Aire	Híbrido
Encendido (MMBtu/hr)	20,00	21,50
Precalentamiento	1,00	0,50
Total Entrada	21,00	22,00
	(MMBtu/hr)	(MMBtu/hr)
Restos	5,51	7,86
Combustible	2,06	1,92
Regen.	9,43	7,31
Pared	2,85	3,49

Combustible no quemado	1,06	1,19
Total Salida (MMBtu/hr)	20,92	21,76
Eficiencia	27.5%	36.2%

5 También comparamos aplicaciones de nuestro quemador en las que se utilizó gas natural como combustible y en las que se utilizó una mezcla de 30 % de hidrógeno (H₂) por valor calorífico y 70 % de gas natural (GN) por valor calorífico. La siguiente Tabla 3 muestra los resultados de estos análisis. Como se puede apreciar en la Tabla 3, el quemador 10 pudo mantener su rendimiento utilizando tanto gas natural como mezclas de gas natural/hidrógeno para la evaluación realizada.

Tabla 3; comparación del balance energético del horno utilizando combustible mezclado (GN+H₂) y funcionamiento solo con GN:

Parámetro	Mezcla: NG+H₂ (Caliente)	Base: NG (Caliente)
Encendido	21.50	21.50
Precalentamiento	0.5	0.50
Total Entrada (MMBtu/hr)	22.00	22.00
Restos (MMBtu/hr)	8.06	7.86
Combustible (MMBtu/hr)	1.88	1.92
Regen. (MMBtu/hr)	7.01	7.31

Pared (MMBtu/hr)	3.60	3.49
Combustible no quemado (MMBtu/hr)	0.76	1.19
Total Salida (MMBtu/hr)	21.31	21.76
Eficiencia	37.1%	36.2%

Las realizaciones del quemador 10 también pueden utilizar elementos de quemador adicionales. Por ejemplo, puede haber un tercer elemento de quemador que esté entre el puerto de llama piloto 11 y el primer elemento de quemador 13. Esta tercera boquilla puede colocarse y alinearse para que el combustible y el oxidante salgan al aparato de calentamiento 1 de modo que salgan en alineación central (por ejemplo, con una inclinación de 0° y un ángulo horizontal α de 0°). Se contempla que otras realizaciones también pueden utilizar uno o más terceros elementos de quemador que tengan cada uno una salida de combustible interna rodeada por una salida de flujo de oxidante externa. Los elementos de quemador pueden configurarse de la misma manera que los elementos de quemador primero y segundo 13 y 15, por ejemplo, pero pueden disponerse para proporcionar una trayectoria de flujo de combustible y/u oxidante diferente (por ejemplo, combustible de salida para proporcionar una inclinación de 0° y un ángulo horizontal α de 0° , etc.).

Como se puede apreciar a partir de lo anterior, los aparatos para calentamiento transitorio (por ejemplo, hornos de reverbero) y quemadores que se pueden incorporar en dichos dispositivos se pueden configurar para incluir elementos de control de proceso ubicados y configurados

para monitorear y controlar operaciones (por ejemplo, sensores de temperatura y presión, sensores de flujo, un sistema de control de proceso automatizado que tiene al menos una estación de trabajo que incluye un procesador, memoria no transitoria y al menos un transceptor para comunicaciones con los elementos sensores, válvulas y controladores para proporcionar una interfaz de usuario para un sistema de control de proceso automatizado que se puede ejecutar en la estación de trabajo y/o en otro dispositivo informático del sistema, etc.).

Las realizaciones del quemador 10 pueden utilizar diferentes tipos de combustible. Por ejemplo, como alternativa (o además) al uso de gas natural e hidrógeno como posibles fuentes de combustible, las realizaciones pueden utilizar un combustible líquido atomizado o un combustible sólido pulverizado (por ejemplo, carbón pulverizado) en un gas portador u otra fuente de combustible.

Se debe tener en cuenta que “ $\leq$ ” se refiere a menor o igual que y “ $\geq$ ” se refiere a mayor o igual que. También se debe tener en cuenta que un combustible puede incluir un material combustible. Los ejemplos de un combustible pueden incluir gas natural, gas hidrógeno, diésel, carbón u otras fuentes de combustible que se pueden quemar. El combustible se puede hacer pasar a través de una boquilla interior de un elemento quemador. El oxidante puede referirse a un fluido que incluye una concentración de oxígeno en el mismo que se puede utilizar para la combustión del combustible. El oxidante se puede hacer pasar a través de una boquilla anular de un elemento quemador que rodea una boquilla interior del elemento quemador. En algunas realizaciones, se puede incluir un combustible u otro material con el oxidante que se hace pasar a través de la boquilla anular.

Las realizaciones se pueden adaptar para abordar especialmente un conjunto particular de criterios de diseño. Por ejemplo, se contempla que una característica particular descrita, ya sea

individualmente o como parte de una realización, se puede combinar con otras características descritas individualmente o partes de otras realizaciones. Por lo tanto, los elementos y actos de las diversas realizaciones descritas en el presente documento se pueden combinar para proporcionar realizaciones adicionales. Por lo tanto, si bien se han mostrado y descrito

5 anteriormente ciertas realizaciones a modo de ejemplo de métodos de calentamiento transitorio, aparatos para calentamiento transitorio, quemadores para hornos de reverbero y métodos para fabricarlos y utilizarlos, se debe entender claramente que la invención no se limita a ellos, sino que puede implementarse y practicarse de diversas maneras dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.