



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 844**

51 Int. Cl.:
F23N 1/02 (2006.01)
F23N 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08826095 .5**
96 Fecha de presentación : **26.11.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2142855**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.01.2010**

54 Título: **Procedimiento de optimización de la eficiencia de un proceso de combustión de tipo oxi-combustible.**

30 Prioridad: **11.09.2008 US 96106 P**
21.11.2008 US 275456

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
09.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
09.06.2011

73 Titular/es: **JUPITER OXYGEN CORPORATION**
4825 N. Scott Street, Suite 200
Schiller Park, Illinois 60176, US

72 Inventor/es: **Gross, Dietrich, M.;**
Patrick, Brian, R. y
Schoenfield, Mark

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 360 844 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de optimización de la eficiencia de un proceso de combustión de tipo oxi-combustible

Antecedentes de la invención**1. Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un sistema de combustión de tipo oxígeno combustible (oxi-combustible) y, más particularmente, a un sistema de combustión para combustibles fósiles que utiliza oxígeno para la combustión, que incluye un control en bucle cerrado de la temperatura de la llama con el fin de maximizar la transferencia de radiación de calor de la combustión, optimizando, de esta manera, la eficiencia del sistema de combustión, mientras se mantiene la temperatura de mantenimiento o de fusión de aluminio de diseño o la temperatura de proceso o de vapor y las temperaturas del material interior.

2. Descripción de la técnica anterior

15 Los sistemas de combustión para combustibles fósiles, es decir, combustibles basados en carbón, que utilizan oxígeno para la combustión, en lugar de aire, son relativamente bien conocidos en la técnica. Los ejemplos de dichos sistemas se divulgan en la publicación de solicitud de patente internacional No. WO 02/088400, asignada al mismo cesionario de la presente invención, y la patente US No. 6.398.547. La patente US No. 6.042.365 muestra un procedimiento y un aparato para supervisar el estado de la combustión de combustible en un quemador. El aparato comprende una serie de supervisores de llama de fibra óptica para determinar la temperatura, la frecuencia de destellos de la llama y la densidad de partículas de combustible quemado. La combustión se mejora supervisando el estado de la combustión, comparando los datos detectados por los supervisores de llama con datos óptimos y ajustando, correspondientemente, las descargas de aire u oxígeno. El documento WO 2006/054990 A1 muestra una caldera diseñada o retroalimentada para producir menos gases de efecto invernadero mediante el uso de una atmósfera de oxígeno sustancialmente puro, en la que se quema el combustible. Dichos sistemas de combustión han llegado a conocerse como sistemas de combustión oxi-combustible y son usados en varios procesos industriales, incluyendo la producción de vapor en relación con procesos de generación de energía eléctrica y el fundido de aluminio, por ejemplo. Estos sistemas de combustión oxi-combustible han sido desarrollados para superar varias desventajas de los sistemas de combustión aire-combustible.

25 Por ejemplo, una desventaja principal de los sistemas de combustión aire-combustible es la producción de gases de efecto invernadero, que se conoce que son dañinos para el medio ambiente. En particular, el aire comprende aproximadamente el 79% de nitrógeno y el 21% de oxígeno. En dichos procesos de combustión con aire, NO_x y otros gases de efecto invernadero, tales como dióxido de carbono CO₂ y dióxido de azufre SO₂, son producidos como resultado del proceso de combustión. La patente US No. 6.659.026 B1 muestra un sistema de control para ajustar la combustión de combustible y aire para reducir las emisiones de NO_x; la enseñanza se basa en la utilización de mediciones reales de flujo de masa de combustible para calcular las demandas ajustadas de aire de interposición y secundario.

30 Otra desventaja de dichos procesos de combustión aire-combustible se refiere a la eficiencia de combustible. En dichos procesos de combustión aire-combustible, se gasta una cantidad considerable de combustible para calentar el nitrógeno en la caldera o en el horno. Por ejemplo, considerando un proceso para la producción de vapor, debe crearse suficiente calor en la caldera, mediante el proceso de combustión, para causar una cantidad de energía suficiente para ser transferida al agua para que el agua se transforme en vapor. Debido a la vasta cantidad de nitrógeno en la caldera o en el horno, se gasta una cantidad considerable de calor y, por lo tanto, de combustible, en el calentamiento del nitrógeno en la caldera o en el horno, que es procesado y liberado como pérdida.

35 Dichos sistemas de combustión oxi-combustible resuelven estos problemas y utilizan oxígeno relativamente puro, con una pureza de aproximadamente del 85% a más del 99%+. Al usar oxígeno relativamente puro, la cantidad de gases de efecto invernadero se reduce y la eficiencia del combustible se mejora considerablemente. Debido a los costos de producción relativamente altos para producir dicho oxígeno relativamente puro, se han realizado intentos adicionales para incrementar adicionalmente la eficiencia de dichos sistemas de combustión oxi-combustible. Por ejemplo, las patentes US Nos. 5.545.031 y 5.575.637 divulgan quemadores mejorados para su uso en sistemas de combustión oxi-combustible, que están configurados para proporcionar una superficie de llama relativamente mayor para mejorar la transferencia de calor radiante. Los sistemas divulgados en las patentes 5.545.031 y 5.575.637 se comportan bien a la hora de mejorar la transferencia de calor radiante en un proceso de combustión oxi-combustible y, de esta manera, mejoran la eficiencia de los procesos de combustión oxi-combustible. Sin embargo, las mejoras divulgadas en estas patentes implican variables fijas en el proceso de combustión, concretamente, la forma de la llama, y no tienen en cuenta otras variables, tales como la cantidad de combustible usada en el proceso de combustión.

40 Así, otros desarrollos se han concentrado en controlar la cantidad de combustible suministrado a los quemadores

individuales con la caldera o el horno para diferentes relaciones estequiométricas. Más particularmente, la patente US No. 6.398.547 divulga un sistema de combustión oxi-combustible que incluye un sistema de control de quemador, en el que el combustible de cada quemador individual oscila periódicamente entre un control de modo pobre en combustible y un modo rico en combustible sobre un intervalo relativamente amplio de relaciones estequiométricas. Al oscilar la cantidad de combustible proporcionada a los quemadores individuales, la cantidad de oxígeno y combustible en exceso en la caldera o en el horno puede ser controlada, para mejorar la eficiencia del proceso de combustión.

Aunque el sistema divulgado en la patente 6.398.547 mejora la eficiencia del uso de combustible en sistemas de combustión oxi-combustible, el sistema de control es fijo y está basado en una forma de onda fija, que es cargada en el sistema previamente al inicio del proceso de combustión. Sin embargo, se conoce también que las variables dinámicas en el proceso de combustión, tales como temperatura de llama, afectan a la eficiencia del proceso de combustión oxi-combustible. En particular, se conoce que la temperatura de la llama es una función de la cantidad de oxígeno suministrado al quemador. Tal como se expone en la literatura, por ejemplo, "Spectrometer-Based Combustion Monitoring for Flame Stoichiometry and Temperature Control", por Carlos Romero, Xianchang Li, Shahla Keyvan y Rodney Rossow, Applied Thermal Engineering, Volumen 25, Ejemplares 5-6, Abril 2005, Páginas 659-676, "un control global de la estequiometría de un horno (o caldera) no excluye una operación ineficiente de los quemadores individuales, debido a malas distribuciones locales de aire y combustible, o a un mal funcionamiento del hardware del quemador". De esta manera, aunque se conocen hornos y calderas oxi-combustible que son controlados desde un punto de vista estequiométrico hasta $\pm 5\%$, la temperatura de la llama puede variar durante un ciclo de combustión debido a las razones expuestas anteriormente.

Según el documento GB 1091893 A, las temperaturas de los tubos metálicos de las supercalderas se miden y comparan con un valor de valor de referencia. Una tasa de suministro de combustible, es decir, una tasa de combustión, es derivada, a continuación, como una función de la diferencia entre estos valores. La señal de tasa de combustión es usada como un valor de referencia para los reguladores de velocidad del molino suministrador y para la válvula de control de la tubería de suministro de combustible. En el caso de una tubería de suministro de combustible, el valor de referencia es comparado con una retroalimentación desde un transductor de presión en la tubería de combustible.

De esta manera, existe una necesidad de un sistema que sea sensible a los cambios en las variables dinámicas de combustión, tales como la temperatura de la llama, para mejorar la eficiencia del proceso de combustión.

Resumen de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de control para un proceso de combustión oxi-combustible, para su uso con una caldera o un horno, que controla dinámicamente la temperatura de la llama de cada quemador implicado en el proceso de combustión, para maximizar dinámicamente la temperatura de la llama. La caldera o el horno usados en conjunción con el proceso de combustión, según la presente invención, están configurados con una zona de calor radiante, es decir, línea de visión, y una zona de calor convectivo. Al maximizar dinámicamente la temperatura de la llama de los diversos quemadores dentro de la caldera o del horno, se optimiza la transferencia de calor radiante. Al optimizar la transferencia de calor radiante dentro de la caldera o del horno, se mejora considerablemente la eficiencia de la caldera o del horno.

Descripción de los dibujos

Estas y otras ventajas de la presente invención se comprenderán fácilmente con referencia a la especificación siguiente y a los dibujos adjuntos, en los que:

La Fig. 1 es un diagrama físico simplificado de una caldera para su uso con el proceso de combustión, según la presente invención.

La Fig. 2 es una ilustración gráfica de la temperatura de la llama, como una función de porcentaje de la transferencia de calor radiante.

Las Figs. 3 y 4 representan un diagrama de control de proceso para el sistema de control de bucle cerrado, según la presente invención.

La Fig. 5 es una ilustración de un quemador de gas ejemplar, para su uso con la presente invención.

La Fig. 6 es una ilustración de un quemador de carbón pulverizado ejemplar, para su uso con la presente invención.

La Fig. 7 es una ilustración de un quemador de gas alternativo, para su uso con la presente invención.

Descripción detallada

La presente invención se refiere a un sistema de control para un proceso de combustión oxi-combustible, que controla

5 dinámicamente la temperatura de la llama de cada quemador implicado en el proceso de combustión, para maximizar dinámicamente la temperatura de la llama, mientras se mantiene la temperatura de diseño, vapor o proceso y las temperaturas del material interior. Aunque el proceso de combustión según la presente invención se describe en términos de una caldera, los principios de la presente invención pueden aplicarse igualmente a hornos, por ejemplo, para el procesamiento de aluminio, mientras se mantenga la temperatura de mantenimiento o fusión de aluminio de diseño o las temperaturas de proceso o vapor y las temperaturas del material interno.

10 Tal como se expondrá en mayor detalle, más adelante, la caldera usada en conjunción con el proceso de combustión, según la presente invención, está configurada con una zona de calor radiante, es decir, línea de visión, y una zona de calor convectivo. Al maximizar dinámicamente la temperatura de la llama de los diversos quemadores dentro de la caldera, se optimiza la transferencia de calor radiante. Al optimizar la transferencia de calor radiante dentro de la caldera, se mejora considerablemente la eficiencia de la caldera.

15 Con referencia a la Fig. 1, se ilustra una caldera ejemplar para su uso en conjunción con el proceso de combustión según la presente invención. La caldera, identificada generalmente mediante el número de referencia 10, incluye una serie de tubos 12 de agua, que conjuntamente forman una pared 13 de agua, tal como se muestra en la sección de despiece en la Fig. 1. La pared 13 de agua en la caldera 10 puede estar formada por una miriada de tubos 13a de agua, que se extienden desde la zona 15 de quemador primario a las regiones superiores de la caldera 10.

20 La caldera 10 incluye además al menos un quemador 14 primario, localizado en la zona 15 de quemador primario, conectado a una fuente de combustible 16 y oxígeno 18. Tal como se usa en la presente memoria, el término "oxígeno sustancialmente puro" debe entenderse que significa el grado de pureza de oxígeno que se necesita para proporcionar la relación correcta de combustible y oxígeno para la combustión deseada y productos secundarios sin alejarse del novedoso alcance de la presente invención, por ejemplo, oxígeno sustancialmente puro del 85% al 99% +.

25 La caldera 10 puede incluir además un super-calentador 20 y/o un re-calentador 21, de los tipos bien conocidos en la técnica. Dichos super-calentadores 20 son alimentados, generalmente, con vapor que ha sido producido en la caldera 10, en una zona 22 de transferencia de vapor. El vapor pasa al interior del super-calentador 20, y las corrientes de convección transportan calor o energía de la combustión, y el calor y la energía irradiados desde los tubos 13a de agua, sobre o alrededor del super-calentador 20, calentando el vapor transportado por los mismos. Los re-calentadores 21 son alimentados, típicamente, con vapor que vuelve a la caldera desde una turbina, requiriendo ese vapor un calentamiento adicional antes de ser devuelto a la turbina para un uso adicional. Este calor o energía es transferido al vapor, haciendo que su temperatura se eleve por encima del punto de saturación del vapor; haciendo que el vapor sea más adecuado para su uso en las turbinas. Se entenderá que pueden incluirse características de refrigeración, tales como que el vapor que tenga una temperatura demasiado alta y/o demasiada energía para la tarea deseada pueda ser atenuado según sea necesario.

35 La caldera 10 puede incluir un quemador 24 secundario, colocado en localizaciones por encima de la zona 15 de quemador I de una caldera 10 y por debajo de la zona 22 de transferencia de vapor, por ejemplo, tal como se describe en la solicitud de patente US No. US 2005/0072379 A1, asignada al mismo cesionario que la presente invención. Al menos un quemador 24 secundario puede estar colocado en la zona 26 supercaliente. Los quemadores 24 secundarios pueden estar localizados también en numerosas localizaciones diferentes de la caldera 10.

40 La Fig. 1 ilustra las zonas de calor radiante y convectivo para la caldera 10, para una caldera configurada sin ningún quemador 16 secundario. Tal como se muestra, la zona 15 de quemador corresponde a una zona de calor radiante. En la medida en que la pared 13 de agua está en la línea de visión de los quemadores 16, la zona radiante es esencialmente toda la transferencia de calor radiante. La zona a la derecha de la zona radiante se identifica como la zona de transición. Se conoce que la zona de transición contiene tanto transferencia de calor radiante como convectiva. A la derecha de la zona de transición, hay una zona de transferencia de calor convectivo. La zona de calor convectivo incluye básicamente toda la transferencia de calor convectivo.

45 Tal como se muestra en la Fig. 2, el porcentaje de transferencia de calor radiante en relación a la transferencia de calor total se muestra como una función de la transferencia de calor. El eje horizontal representa la temperatura de la llama en °C (°F). El eje vertical representa transferencia de calor radiante como un porcentaje de la transferencia de calor total. La curva ilustrada en la Fig. 2 indica que la transferencia de calor radiante es proporcional a T^4 , donde T = la temperatura de la llama. Tal como se muestra, la transferencia de calor radiante incrementa con el incremento de la temperatura de la llama y se aproxima asintóticamente a 90%+, a una temperatura superior máxima de la llama superior a 2.760°C (5.000°F). De esta manera, manteniendo dinámicamente la temperatura máxima de la llama, la transferencia de calor radiante es optimizada para un ciclo de combustión.

55 Se conocen varias técnicas para determinar la temperatura de la llama. Por ejemplo, la temperatura de la llama puede ser calculada. En particular, para un proceso de combustión que tiene lugar adiabáticamente, la temperatura de los productos de reacción, en este caso el oxígeno relativamente puro y un combustible fósil, tal como, gas natural o carbón pulverizado, es referida como la temperatura adiabática de la llama. Esta temperatura adiabática es la máxima

temperatura posible para los reactivos. La transferencia de calor, la combustión incompleta y la disociación de los productos de reacción pueden resultar, todos ellos, en una temperatura más baja. Tal como se conoce en la técnica, la máxima temperatura adiabática de la llama, para una combinación determinada de combustible y oxidizante, ocurre cuando los reactivos son mezclados en una relación estequiométrica, es decir, proporciones correctas del combustible y el oxígeno, de manera que todo el combustible y todo el oxidizante se consumen totalmente durante la combustión. De esta manera, la máxima temperatura de la llama puede ser mantenida manteniendo la relación estequiométrica del combustible y el oxígeno.

Las ecuaciones ejemplares para determinar la relación estequiométrica del oxígeno y del carbón pulverizado se proporcionan a continuación. Las ecuaciones (1) y (2) son para la determinación de la cantidad de oxígeno requerida para la combustión con carbón pulverizado a la relación estequiométrica. La ecuación (3) es para la determinación de la cantidad de oxígeno requerida para la combustión con gas natural en la relación estequiométrica.

(1) (tasa de alimentación de carbón en kg/h (LB/hr)) * (contenido de carbón en % en peso) * (1/12) * 32 = tasa de flujo de oxígeno en kg/h (lb/hr)

Como alternativa, la Ecuación (1) se expresa tal como se muestra a continuación en la Ecuación (2)

(2) (tasa de alimentación de carbón en kg/h (LB/hr)) * (contenido de carbón en % en peso) * (1/12) * 386,8 = tasa de flujo de oxígeno en 62,43 l/h (en SCFG@70F)

Las Ecuaciones (1) y (2) se usan para proporcionar una relación estequiométrica sin dilución del carbón pulverizado por el oxígeno u otro gas, tal como CO₂ o N₂.

Se conocen alimentadores de cinta tanto volumétricos como gravimétricos, para carbón pulverizado. Cada tipo incluye un controlador de flujo de combustible total (no mostrado), por ejemplo, ilustrado en "Steam: Its Generation and Use", por Stultz et al, edición 40, publicado por the Babcock & Wilcox Company, Copyright 1992, páginas 12-3. La tasa de alimentación de carbón puede medirse en el controlador de flujo de combustible total. Como alternativa, para los sistemas de carbón pulverizado de tipo volumétrico, puede derivarse fácilmente una señal representativa del flujo de combustible. Más particularmente, en dichos sistema de carbón pulverizado, de tipo volumétrico, el carbón pulverizado es impulsado por una bomba de husillo rotatorio, que, a su vez, es impulsada por un motor eléctrico. Las revoluciones del motor eléctrico son indicativas del volumen del carbón pulverizado. De esta manera, las revoluciones por minuto (RPM) del motor eléctrico pueden ser usadas para proporcionar una señal indicativa de la tasa de flujo de carbón pulverizado.

El contenido de carbón del carbón pulverizado es generalmente estable para un tipo particular de carbón. El contenido de carbón de un tipo particular de carbón se basa en un análisis del carbón particular, por ejemplo, mediante un ensayo convencional. La señal de tasa de flujo pulverizado y una señal representativa del contenido de carbón pueden ser aplicadas a una unidad de procesamiento de ordenador (CPU) o a un controlador programable, para determinar la cantidad de oxígeno requerida para mantener la relación estequiométrica del oxígeno y del combustible, en tiempo real, en respuesta a cambios en la tasa de flujo de carbón pulverizado debidos, por ejemplo, a cambios en las condiciones del proceso. Al mantener la relación estequiométrica del carbón pulverizado y del oxígeno, el sistema es capaz de mantener dinámicamente la máxima temperatura de llama para un intervalo relativamente amplio de condiciones de proceso.

Para combustibles de gas natural, la relación estequiométrica puede ser determinada mediante la Ecuación (3), despreciando los hidrocarburos que son, normalmente, relativamente bajos.

(3) l por hora (SCFG) = 2 * (tasa de flujo de gas natural en l por hora (SCFG)) * (1-(% de inertes en NG/100))

Los "inertes" se refieren a los gases inertes contenidos en el gas natural y se determinan mediante ensayos convencionales. En los sistemas de combustión oxi-combustible, que usan gas natural como combustible fósil, la tasa de flujo del gas natural se obtiene en una manera convencional. Las señales representativas de la tasa de flujo del gas natural y el % de inertes en el gas natural por 2.831 m³ (100 pies cúbicos) ("NG100") pueden ser aplicados a una CPU o a un controlador programable para determinar la cantidad de oxígeno requerida para mantener la relación estequiométrica del oxígeno y el combustible, en tiempo real, en respuesta a cambios en la tasa de flujo del gas natural debidos, por ejemplo, a cambios en las condiciones del proceso. Al mantener la relación estequiométrica del carbón pulverizado y el oxígeno, el sistema es capaz de mantener dinámicamente la máxima temperatura de llama, para un intervalo relativamente amplio de condiciones de proceso.

Con cualquier combustible, el sistema puede comprobar el nivel de oxígeno sin quemar en el gas de combustión para ajustar la tasa de flujo del oxígeno. El nivel de oxígeno sin quemar en el gas de combustión puede ser detectado mediante un sensor de oxígeno convencional en la corriente del gas de combustión.

También se conoce que la temperatura de la llama puede medirse por medio de una radiación de partículas de hollín.

En particular, se conoce que los procesos de combustión resultan en la emisión de partículas de hollín. La radiación emitida por las partículas de hollín puede ser usada como una medida de la temperatura adiabática de la llama. Más particularmente, tal como se expone en la patente US No. 6.318.891, la radiación quimioluminiscente emitida por la llama es detectada usando un sensor de fibra óptica y un espectrógrafo. La temperatura adiabática de la llama es determinada a partir de la radiación quimioluminiscente. Los procedimientos numéricos para calcular la temperatura de la llama, en base a las mediciones de la intensidad espectral de la radiación de la llama, se describen en detalle en "Stochastic Time Series Analysis of Pulsating Buoyant Pool Fires", por Kaushik Biswas, Yuan Zheng, Chul Han Kim y Jay Gore, Proceedings of the Combustion Institute 31 (2007), publicado por Elsevier, Inc, Copyright 2006, páginas 2581-2588.

5

Un diagrama de control ejemplar, que implementa la presente invención, se ilustra en las Figs. 3 y 4. La Fig. 3 ilustra el bucle de control del sistema de combustión. La Fig. 4 ilustra el bucle de control del sistema de caldera.

10

Con referencia primero a la Fig. 3, tal como se indica mediante el bloque 50, el valor de referencia de la temperatura objetivo primario es el valor de referencia de la temperatura de la pared 13 de agua (Fig. 1) de la caldera. Esta temperatura se mide, por ejemplo, mediante termopares dispuestos contiguos al objetivo de temperatura.

15

La temperatura de la pared 13 de agua (Fig. 1) se compara con un valor de referencia. La temperatura medida se compara con el valor de referencia de temperatura para la pared 13 de agua. Si la temperatura medida difiere del valor de referencia de temperatura, se genera una señal 52 de error (Fig. 3). La señal 52 de error (diferencia) es usada para generar una señal representativa de la demanda 54 de transferencia de calor total. En condiciones en estado estable, la señal 54 de demanda de transferencia de calor total es usada para generar una señal de demanda de tasa de combustión, que es usada para mantener la tasa de combustión de la caldera a un nivel predeterminado. Más particularmente, la señal de demanda de tasa de combustión, disponible en la línea 57, es suministrada a un controlador 58 de tasa de combustión correlacionada. La tasa de combustión correlacionada, tal como se representa mediante la caja 58, es una señal representativa del incremento en la demanda de combustible del sistema de combustión, que, según la presente invención, es reducida por la transferencia de calor radiante optimizada, lo que resulta en un incremento en la eficiencia y, de esta manera, en ahorros de combustible.

20

25

En condiciones en estado estable, la señal de comando de tasa de combustión, disponible en la línea 57, es aplicada al controlador 58 de tasa de combustión correlacionada a lo largo de la línea 60. Esta señal 57 de demanda de tasa de combustión es comparada con una señal 62 de referencia de tasa de suministro de combustible; por ejemplo, una señal de referencia de velocidad del alimentador de carbón. Si la tasa de suministro de combustible, disponible desde la señal 62 de referencia de suministro de tasa de combustible, corresponde a la tasa de combustión actual, la señal 66 de error será cero y la tasa de suministro de combustible actual se mantendrá.

30

En caso de que la señal de demanda de tasa de combustión, disponible en la línea 57, indique una demanda adicional o reducida, se genera la señal 66 de error de tasa de combustión, en base a la diferencia entre la señal 57 de demanda de tasa de combustión y la señal 62 de referencia de tasa de combustión de combustible, con el fin de ajustar el flujo actual de carbón u otro combustible, a la cantidad deseada. La señal de tasa de combustión correlacionada es aplicada también a un controlador 68 de tasa de flujo de oxígeno, para controlar la tasa de flujo de oxígeno y la tasa de flujo de combustible, es decir, el pulverizador 70, por ejemplo. En este ejemplo, el pulverizador 70 genera su propia señal 64 de error, para correlacionar la tasa de flujo de carbón deseada con la tasa de flujo actual, determinada por factores en el pulverizador, tal como se conoce, en general, en la técnica.

35

En aplicaciones de combustible sólido, es decir, carbón, un controlador 72 primario de tasa de flujo de reciclado es usado para controlar la cantidad del gas de combustión reciclado que se necesita para impulsar el combustible sólido a través del pulverizador, por ejemplo, al quemador 14 (Fig. 1). El gas de combustión reciclado está disponible normalmente a partir de ventiladores primarios de suministro de gas de combustión. La salida del controlador 72 primario de tasa de flujo de reciclado es supervisada y se genera una señal 74 de error con el fin de mantener la velocidad de transporte y la tasa de flujo de combustible deseadas y para minimizar la cantidad de gas de combustión reciclado para mantener la máxima temperatura de llama.

45

El controlador 68 de tasa de flujo de oxígeno recibe una entrada desde el controlador 58 de tasa de combustión correlacionada, que se fija a estequiometría $\pm 5\%$. Un dispositivo de supervisión de flujo (no mostrado) puede ser usado para medir el flujo actual de oxígeno y se genera una señal de error con el fin de mantener la cantidad apropiada de oxígeno.

50

Un almacenamiento temporal de oxígeno, tal como se indica mediante la caja 78, puede ser adecuado para dividir el oxígeno en caminos de flujo primario y secundario. Pueden usarse múltiples caminos de flujo de oxígeno para cambiar la geometría de la llama, ajustar la estabilidad de la llama y minimizar las emisiones de NO_x . Cada camino de flujo de oxígeno puede estar equipado con un dispositivo de supervisión de flujo (no mostrado) que genera una señal 80, 82 de error que es usada, a continuación, para corregir la tasa de flujo real de los quemadores 14 (Fig. 1) a la tasa de flujo deseada. Los quemadores 14 reciben entradas de flujo físicas desde los caminos de oxígeno primario y secundario y la

55

fuelle de combustible; un pulverizador 70, en este ejemplo.

Tal como se ha indicado anteriormente, la temperatura de la llama, representada mediante la caja 83, puede ser calculada mediante una computación adiabática basada en las entradas químicas del combustible, oxígeno y gas de combustión reciclado o, como alternativa, puede ser medida mediante la radiación de partículas de hollín. Puede generarse la señal 74 de error cuando se usan combustibles sólidos, para ajustar la entrada del gas de combustión reciclado primario y oxígeno para mantener la máxima temperatura de la llama. El exceso de oxígeno es supervisado tras la combustión, tal como se indica mediante la caja 84, y se genera una señal 86 de error al valor de referencia, por ejemplo, estequiometría $\pm 5\%$. A continuación, esta señal de error es retroalimentada en la tasa 68 de flujo de oxígeno.

Según un importante aspecto de la invención, la máxima temperatura de la llama se mantiene mediante un control de bucle cerrado. Para calderas con múltiples quemadores, esto se lleva a cabo quemador a quemador. En particular, en caso de que la temperatura 83 de llama, para cualquiera de los quemadores, caiga por debajo de la máxima temperatura de llama esperada, se genera una señal 88 de error y la misma es retroalimentada al controlador 68 de tasa de flujo de oxígeno. Cuando la temperatura 83 de llama cae por debajo de la temperatura máxima de llama, por ejemplo 2.815°C (5.100°F), se incrementa la tasa de flujo de oxígeno. La máxima temperatura de llama está predeterminada para diferentes niveles de pureza de oxígeno. La máxima temperatura predeterminada se compara con la señal 83 de temperatura de llama, tal como se ha indicado anteriormente, y es usada para generar la señal 88 de error.

Con referencia a la Fig. 4, se ilustra el bucle de control de la caldera. En general, la señal de demanda de la caldera, indicada en la línea 90, llega desde los controles de la estación de energía. En este ejemplo, es una entrada de tasa de flujo de vapor deseada desde la caldera. El controlador 92 de suministro de agua es impulsado por el maestro 90 de caldera, para incrementar o decrementar o mantener el flujo de vapor. Por ejemplo, si la tasa de flujo del suministro de agua es incrementada, la temperatura en la caldera decrecerá, incrementando, de esta manera, la necesidad de temperatura de la pared de agua, incrementando, de esta manera, la demanda de combustible. El controlador de la pared de agua o control 94 primario se refiere al control de temperatura de bucle cerrado, ilustrado en la Fig. 3.

El controlador 96 de temperatura secundario o demanda de flujo reciclado, en este ejemplo, es para controlar la temperatura del vapor del re-calentador 21 (Fig. 1). La temperatura del vapor re-calentado es un controlador de bucle cerrado para mantener la temperatura del vapor re-calentado a un valor de referencia. La demanda de flujo reciclado se refiere a gases de combustión reciclados para su uso con combustibles sólidos, tales como carbón pulverizado. Esta demanda de flujo reciclado impulsa un controlador 98 de flujo reciclado CO₂, usado para controlar la entrada de flujo de CO₂, desde los ventiladores de gas de combustión CO₂ reciclado. La salida del controlador 98 de flujo reciclado es usada para controlar la tasa de combustible del pulverizador 70 (Fig. 1) y la tasa 100 de flujo de gas de combustión reciclado (gas de combustión reciclado para el control de temperatura secundario, en este ejemplo, re-calentado). El flujo es supervisado y se genera una señal 102 de error y la tasa de flujo del gas de combustión reciclado es ajustada, según sea necesario. Además, se deriva una señal 102 de error a partir de un valor de referencia de temperatura secundaria, en este caso, una temperatura de re-calentamiento, y la cantidad de gas de combustión reciclado es ajustada a la demanda 96 de gas de combustión reciclado.

El controlador 104 de demanda total de flujo de gas es usado para determinar la demanda total de flujo de gas. La salida del controlador 104 de demanda total de flujo de gas es usada para controlar los ventiladores 106 de reciclaje de gas de combustión. Se genera una señal 108 de error en base a la diferencia entre la demanda y el flujo real de gas de combustión reciclado. A continuación, la diferencia de demanda es sacada al ventilador, para incrementar o decrementar o mantener el flujo de gas de combustión.

Pueden usarse varios tipos de quemadores con la presente invención. Por ejemplo, los quemadores 14 pueden ser diseñados con requerimientos específicos en relación al dimensionado de los orificios y a las velocidades, para producir una llama con una forma y una geometría específicas. Por ejemplo, las patentes US Nos. 5.545.031 y 5.575.637 divulgan quemadores ejemplares para su uso con la presente invención, para proporcionar formas de llama ejemplares.

Otros quemadores son también adecuados para su uso con la presente invención. Por ejemplo, la Fig. 7 ilustra un quemador de gas ejemplar. Las Figs. 8 y 9 ilustran quemadores ejemplares para gas y carbón, respectivamente, en los que la boquilla de entrada de oxígeno está configurada de manera que el oxígeno es mezclado con el combustible en la punta del quemador, para prevenir un pre-encendido potencial del combustible fuera de la cavidad de combustión del horno.

Con referencia primero a la Fig. 5, el quemador 150 incluye un cuerpo 152 de boquilla de entrada principal que se extiende al interior del horno 158. Una entrada 154 de gas combustible se extiende al interior del cuerpo 152 de entrada principal exterior a la pared 160 de horno. El oxígeno es introducido al cuerpo 152 de boquilla de entrada principal por medio de la boquilla 162 de oxígeno y se mezcla con el gas combustible. Un encendedor (no mostrado) se extiende a través de una abertura 156 central en el cuerpo 152 de entrada principal, pasando justo la punta 164 del quemador. El

encendedor proporciona una chispa para el encendido de la mezcla combustible/oxígeno en el horno 158.

La Fig. 6 ilustra un quemador alternativo para su uso en aplicaciones con carbón pulverizado, identificado generalmente con el número de referencia 170, incluye una boquilla 172 de oxígeno, y una boquilla 174 de combustible. En esta aplicación, la boquilla 174 de combustible es usada para una mezcla de carbón pulverizado y un gas portador, por ejemplo, gas de combustión reciclado. Más particularmente, el carbón pulverizado es mezclado con un gas portador, aguas abajo del quemador, para "fluidizar" virtualmente el polvo de carbón pulverizado. A continuación, el polvo de carbón fluidizado es aplicado a la boquilla 174 de combustible.

Tal como se muestra en la Fig. 6, la salida de la boquilla 172 de oxígeno y la boquilla 174 de combustible descargan conjuntamente al interior de una abertura 176, que define una cámara en el cuerpo 178 del quemador principal, donde el combustible y el oxígeno son mezclados y encendidos por un encendedor (no mostrado). Las salidas de la boquilla 172 de oxígeno y la boquilla 174 de combustible están generalmente alineadas, tal como se muestra, y descargan, generalmente, en el mismo límite de la cámara 176. Así, la cámara 176 define una punta de quemador virtual donde el combustible y el oxígeno se mezclan y encienden.

El cuerpo 178 de quemador principal puede estar rodeado por una o más aberturas, para recibir las boquillas 180, 182 de salida de CO₂. El CO₂ puede ser usado para templar o ajustar la cantidad de transferencia de calor en los pasos convectivos de la caldera, bajo ciertas condiciones. El CO₂ puede ser requerido en ciertas aplicaciones en las que las superficies de transferencia de calor de una caldera, en la sección convectiva de una caldera, requieren una cierta cantidad o una cantidad predeterminada de flujo de gas convectivo sobre los tubos, para mantener las temperaturas de proceso correctas. Las boquillas 180 y 182 de salida de CO₂ están en comunicación fluida con una cámara de CO₂, que es suministrada mediante una boquilla 186 de entrada de CO₂. Las boquillas 180 y 182 de salida de CO₂ descargan en el límite de la cámara de combustión del horno, identificado mediante el número de referencia 186.

La Fig. 7 ilustra un quemador de gas natural alternativo, identificado, en general, mediante el número de referencia, que incluye una boquilla 202 de oxígeno y una boquilla 204 de combustible. En esta aplicación, la boquilla 174 de combustible se usa para gas natural.

Tal como se muestra en la Fig. 7, las salidas de la boquilla 202 de oxígeno y la boquilla 204 de combustible descargan conjuntamente al interior de una abertura 206, que define una cámara en el cuerpo 208 de quemador principal, donde el combustible y el oxígeno son mezclados y encendidos por un encendedor (no mostrado). Las salidas de la boquilla 202 de oxígeno y la boquilla 204 de combustible están, generalmente, alineadas tal como se muestra, y descargan, generalmente, en el mismo límite de la cámara 206. Así, la cámara 206 define una punta de quemador virtual donde el combustible y el oxígeno se mezclan y encienden.

El cuerpo 208 del quemador principal puede incluir una o más aberturas para recibir las boquillas 210 y 212 de salida de CO₂. Las boquillas 210 y 212 de salida de CO₂ están en comunicación fluida con una cámara 214 de CO₂ que es suministrada mediante una boquilla 216 de entrada de CO₂. Las boquillas 210 y 212 de salida de CO₂ descargan en el límite de la cámara de combustión del horno, identificado mediante el número de referencia 218.

Obviamente, son posibles muchas modificaciones y variaciones de la presente invención, a la luz de las enseñanzas anteriores. De esta manera, debe entenderse que, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, la invención puede ser practicada de manera diferente a la descrita específicamente anteriormente.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento de optimización de la eficiencia de un proceso de combustión oxi-combustible para una caldera (10) que tiene al menos un quemador (14) para recibir oxígeno y un combustible fósil, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

5 (a) medir una temperatura de una pared de agua, para su comparación con un valor de referencia de dicha temperatura (50);

(b) generar una señal (52) de error a partir de la diferencia entre dicha temperatura medida y dicho valor de referencia de temperatura (50), usando dicha señal (52) de error para generar una señal representativa de la demanda (54) total de transferencia de calor, usando dicha señal (54) de demanda total de transferencia de calor para generar una señal (57) de demanda de tasa de combustión, comparando dicha señal (57) de demanda de tasa de combustión con una señal (62) de referencia de tasa de combustión y generando una señal (66) de error de tasa de combustión en base a la diferencia entre estas dos señales, controlando la cantidad de combustible fósil suministrada a dicho al menos un quemador (14) como una función de dicha señal (66) de error de tasa de combustión;

10 (c) determinar dinámicamente la temperatura (83) de la llama de al menos un quemador (14) y generar una señal representativa de dicha temperatura (83) de llama y generar un señal (88) de error cuando dicha temperatura de llama se desvía de una temperatura máxima de llama para el valor de referencia de temperatura; y

15 (d) controlar dinámicamente el oxígeno (68) suministrado a cada quemador (14) como un función de dicha señal (88) de error.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, que incluye además una etapa (e) que comprende:

20 (e) controlar el oxígeno (68) suministrado a dicho al menos un quemador (14), de manera que la temperatura (83) de la llama se mantenga a un valor predeterminado, como una función de la relación estequiométrica del oxígeno y del combustible.

3. Procedimiento según se la reivindicación 2, en el que la etapa (d) comprende:

25 (d) controlar dinámicamente el oxígeno (68) suministrado a cada quemador (14), de manera que la temperatura (83) de la llama se mantenga a un valor predeterminado, como una función de la tasa (62) de suministro de combustible.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la etapa (d) comprende:

(d) controlar dinámicamente el oxígeno (68) suministrado a cada quemador (14), de manera que la temperatura (83) de la llama se mantenga a un valor predeterminado, como una función del contenido de carbón de dicho combustible.

5. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la etapa (d) comprende:

30 (d) controlar dinámicamente el oxígeno (68) suministrado a cada quemador (14), de manera que la temperatura (83) de la llama se mantenga a un valor predeterminado, como una función de la tasa de suministro del carbón pulverizado suministrado a dicho quemador (14).

6. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la etapa (d) comprende:

35 (d) controlar dinámicamente el oxígeno (68) suministrado a cada quemador (14), de manera que la temperatura (83) de la llama se mantenga a un valor predeterminado, como una función del contenido de carbón del carbón pulverizado suministrado a dicho quemador (14).

7. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la etapa (d) comprende:

40 (d) controlar dinámicamente el oxígeno (68) suministrado a cada quemador (14), de manera que la temperatura (83) de la llama se mantenga a un valor predeterminado, como una función de la tasa de flujo del gas natural suministrado a dicho quemador (14).

8. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la etapa (d) comprende:

(d) controlar dinámicamente el oxígeno (68) suministrado a cada quemador (14), de manera que la temperatura (83) de la llama se mantenga a un valor predeterminado, como una función del contenido de carbón del gas natural suministrado a dicho quemador (14).

45 9. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa (d) comprende:

(d) comprobar el oxígeno no quemado en el gas de combustión y ajustar la tasa de flujo del oxígeno suministrado (68)

al horno, como una función de dicho oxígeno no quemado.

10. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa (c) comprende determinar la temperatura (83) de la llama en base a la radiación de partículas de hollín.

11. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa (c) comprende:

- 5 (c) controlar dinámicamente el oxígeno (68) suministrado a cada quemador (14), de manera que la temperatura (83) de la llama sea un valor máximo predeterminado, mediante un control de bucle cerrado.

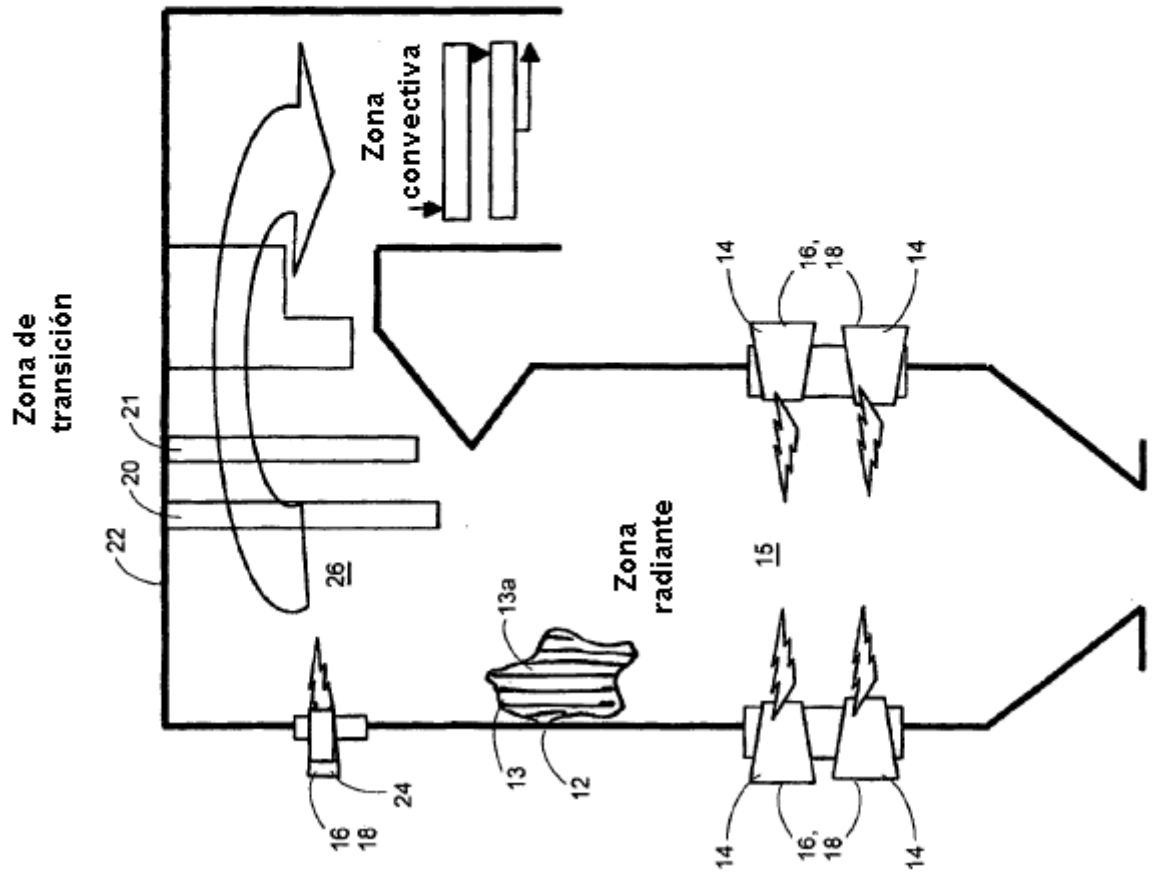


Fig. 1

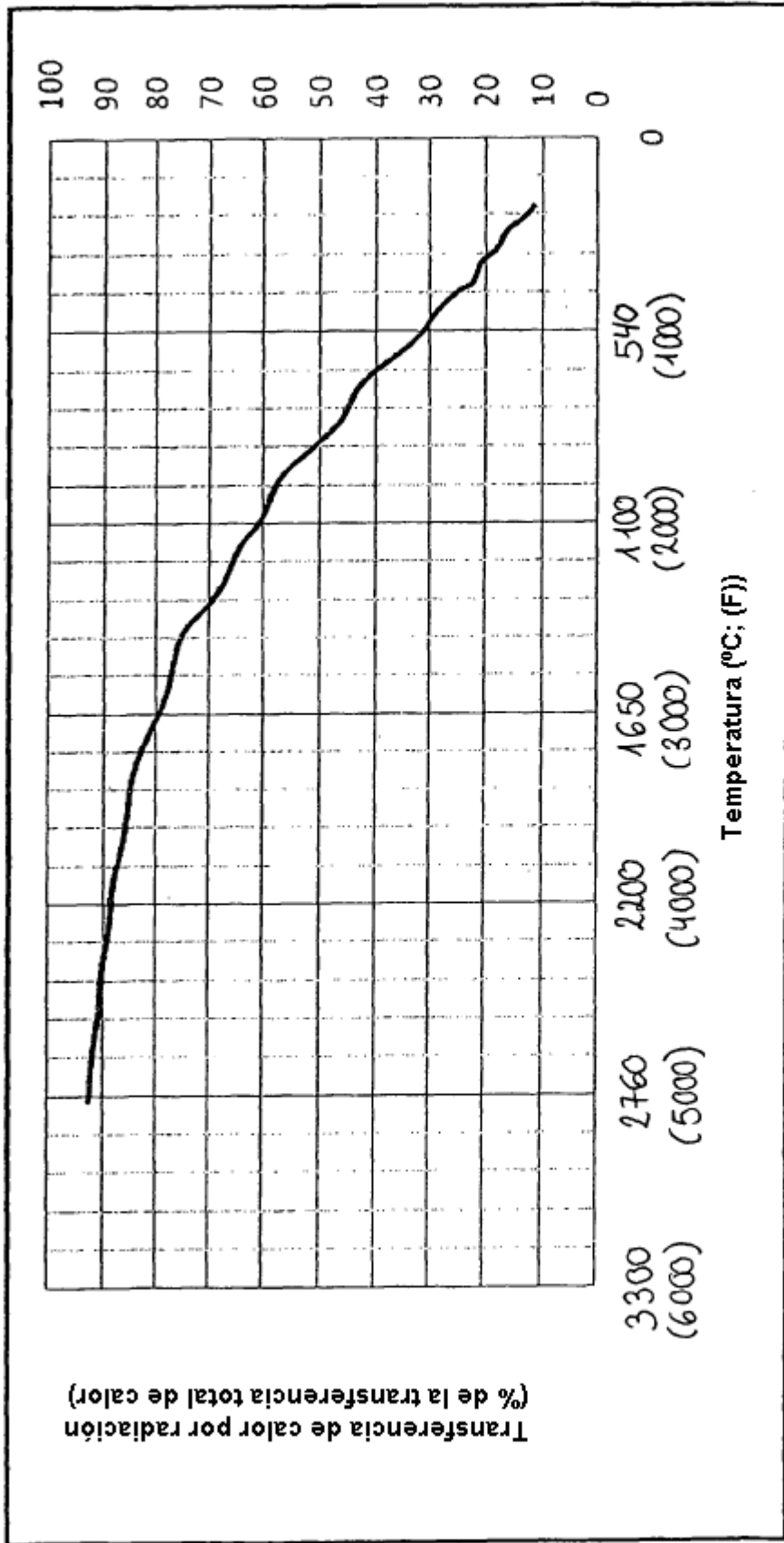


Fig. 2

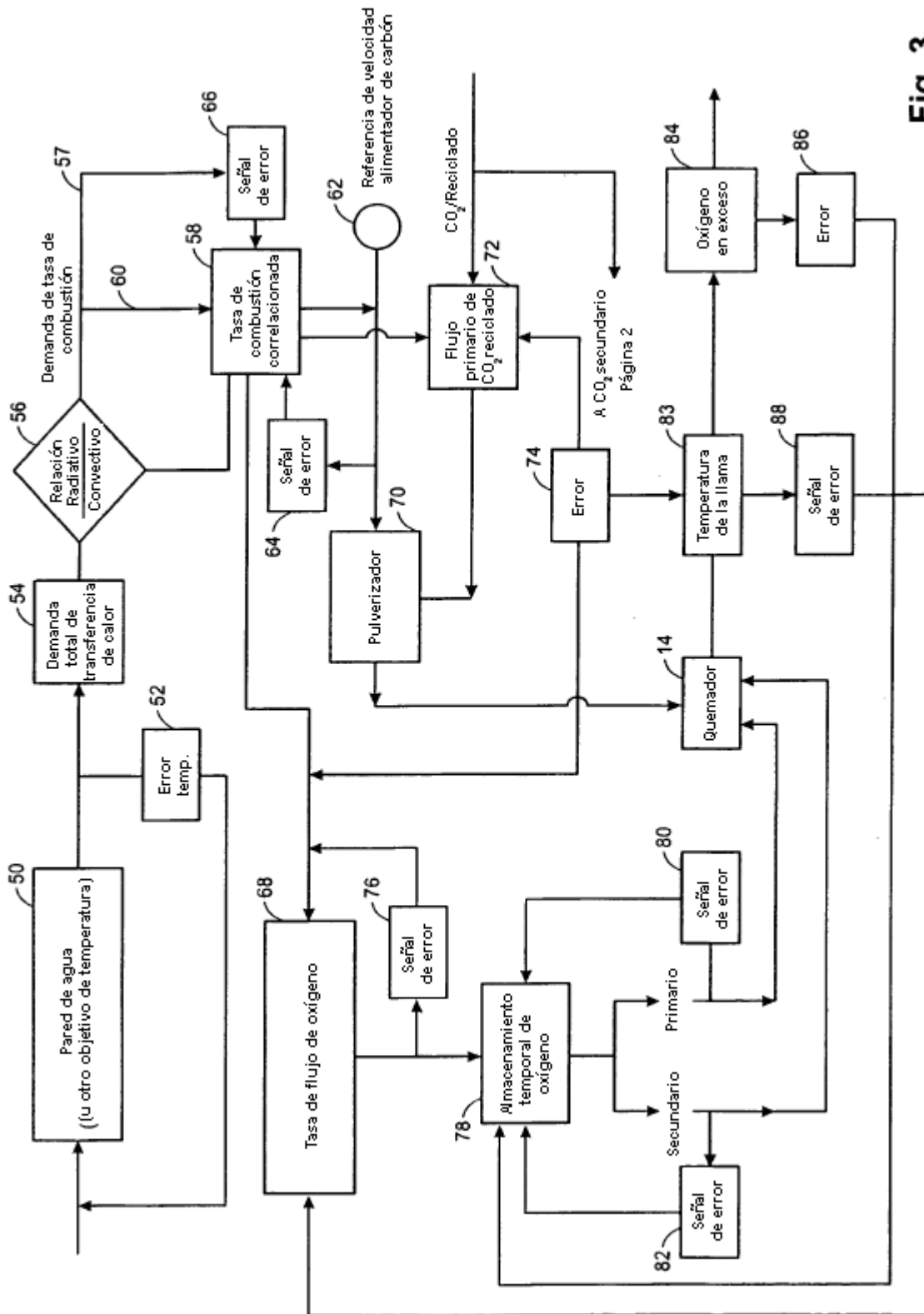


Fig. 3

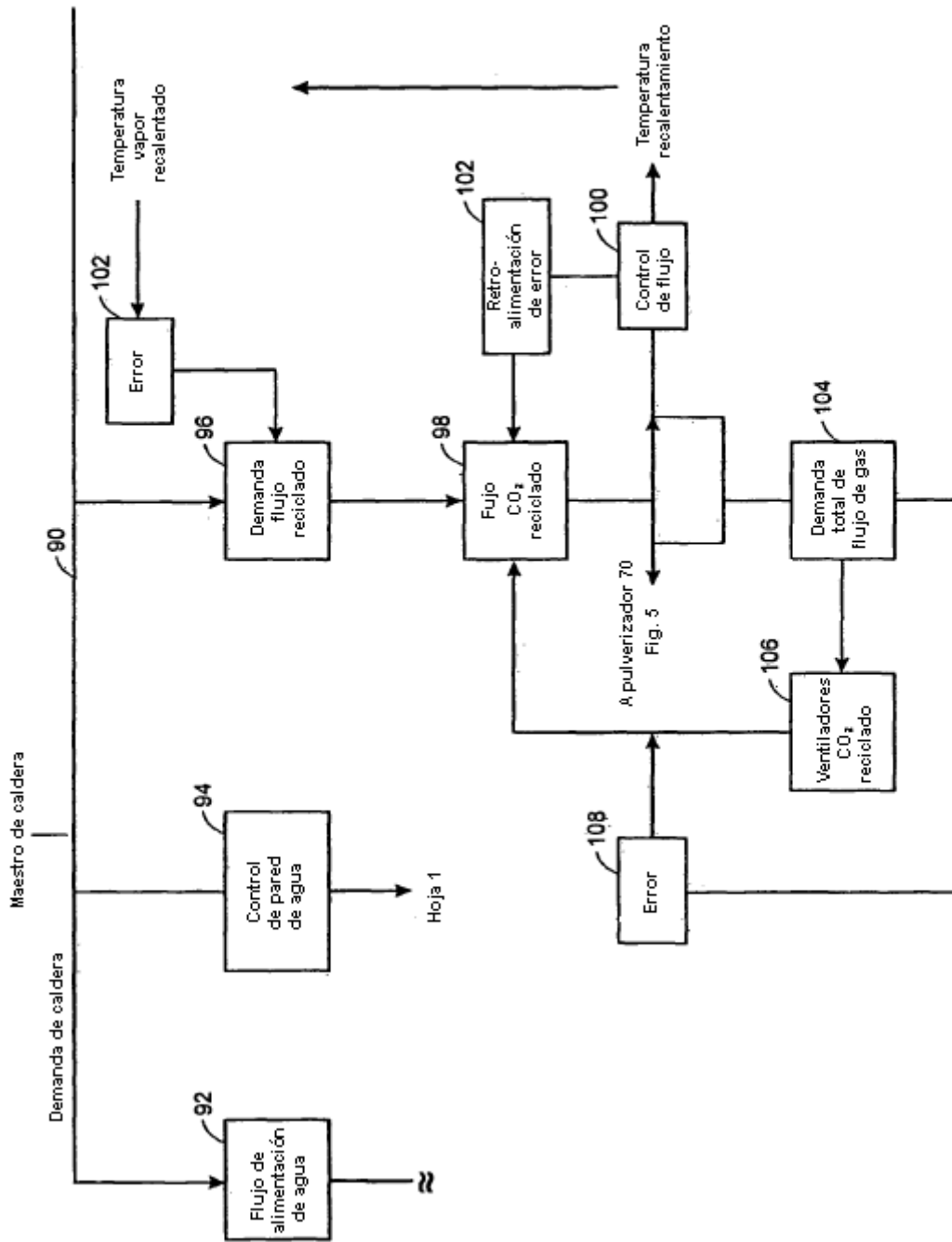


Fig. 4

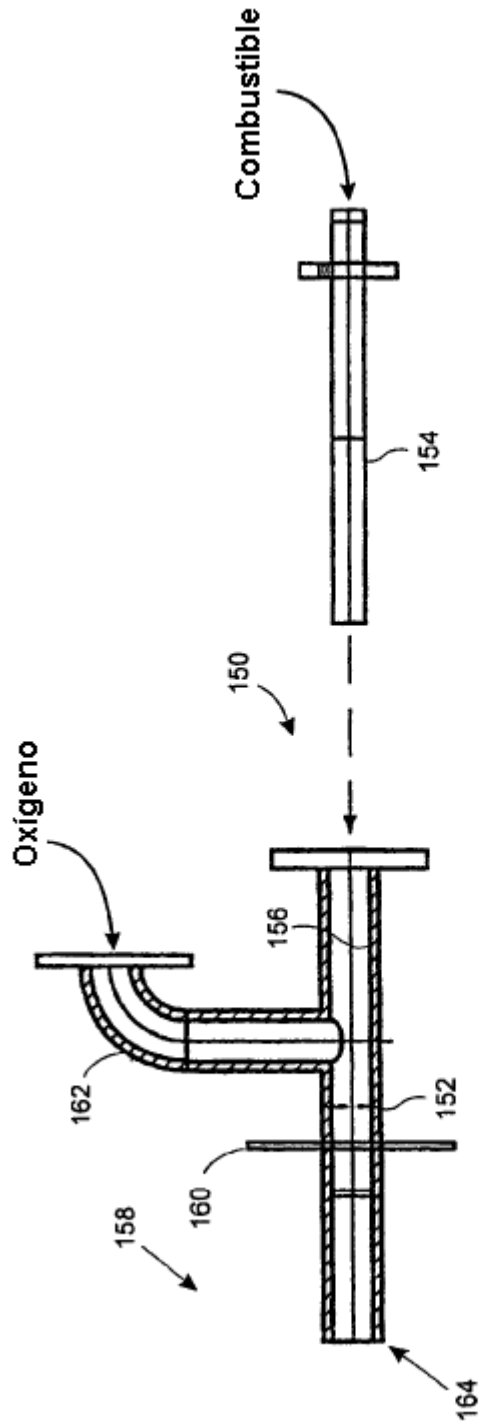


Fig. 5

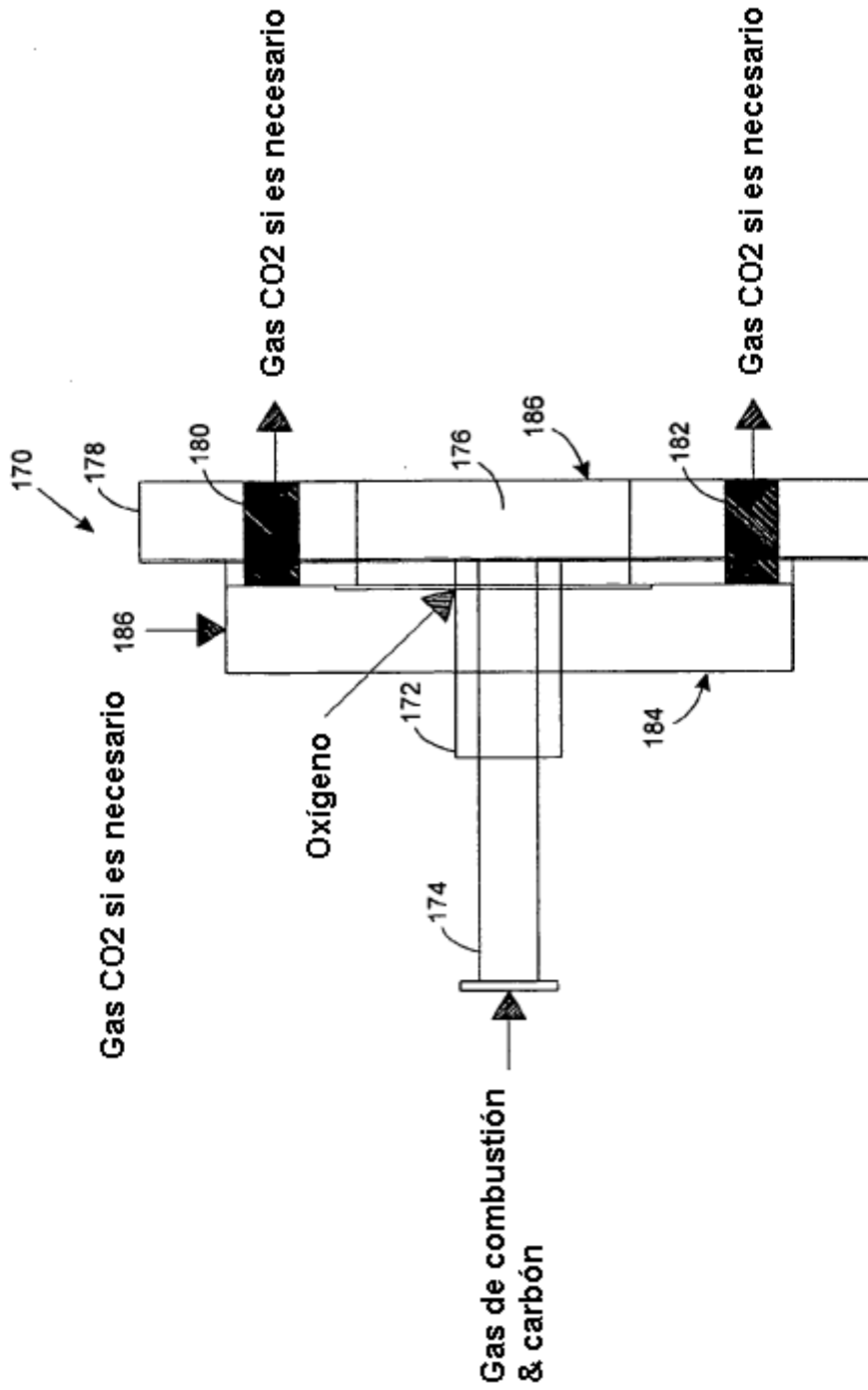


Fig. 6

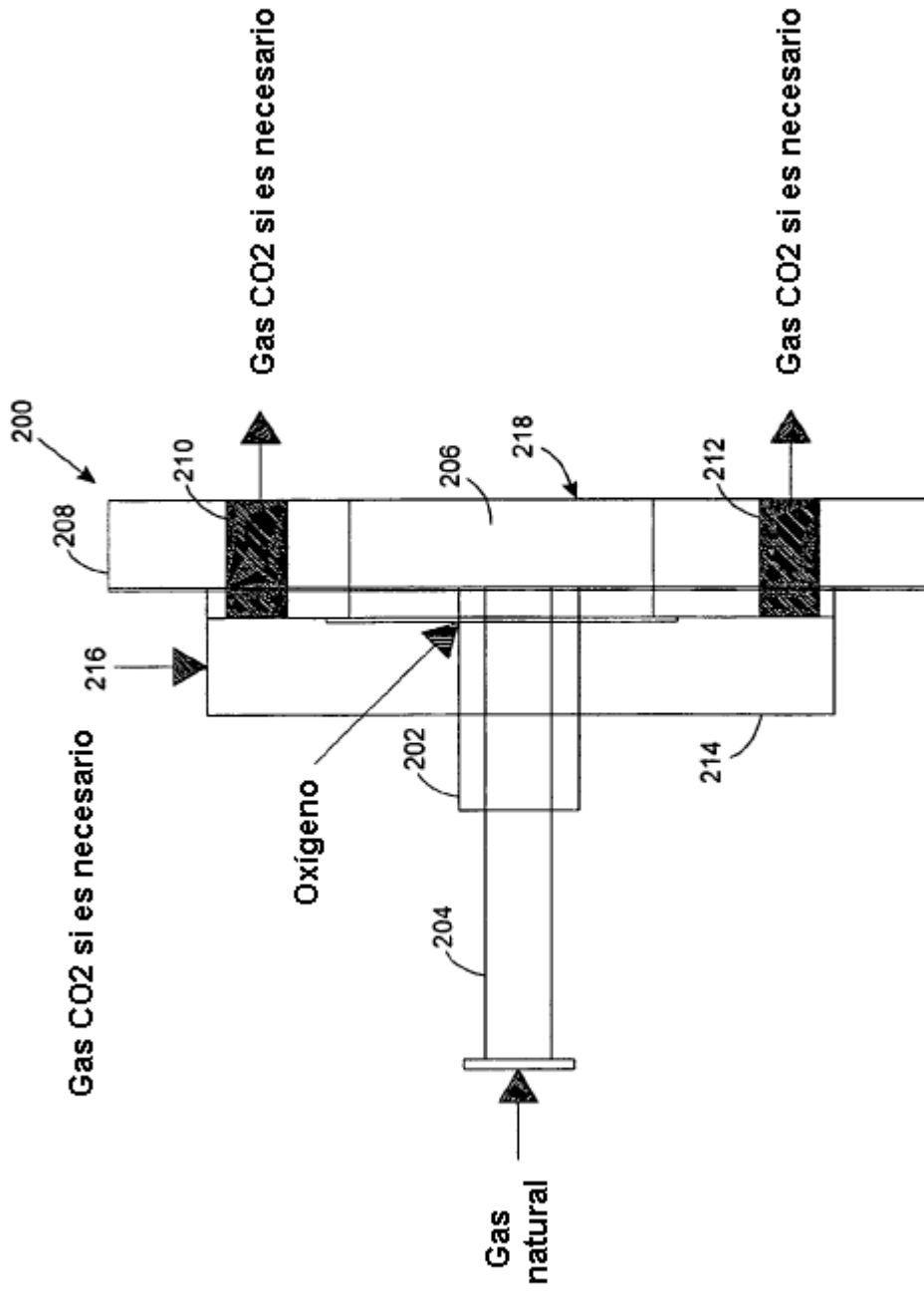


Fig. 7