

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 392 506**

51 Int. Cl.:

F23C 6/04 (2006.01)

F23L 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01991189 .0**

96 Fecha de presentación: **20.12.2001**

97 Número de publicación de la solicitud: **1350063**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.10.2003**

54

Título: **Combustión mejorada con oxígeno con formación reducida de NOx**

30

Prioridad:

11.01.2001 US 757611

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:

11.12.2012

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:

11.12.2012

73

Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)
39 OLD RIDGEBURY ROAD
DANBURY, CT 06810-5113, US**

72

Inventor/es:

**KOBAYASHI, HISASHI y
BOOL, LAWRENCE E., III**

74

Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 392 506 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

Combustión mejorada con oxígeno con formación reducida de NO_x

Campo de la invención

La presente invención se refiere a la combustión de combustibles hidrocarbonados, particularmente carbón mineral.

5 Antecedentes de la invención

Los temas medioambientales están creciendo en los Estados Unidos y en todo el mundo originando presiones públicas y reguladoras crecientes para reducir emisiones contaminantes procedentes de calderas, incineradoras y hornos. Un contaminante de particular importancia es NO_x (con esta fórmula se incluyen óxidos individuales de nitrógeno como, pero sin carácter limitativo, NO, NO₂, N₂O, N₂O₄ y mezclas de los mismos), a los que se ha implicado en la lluvia ácida, ozono a ras de tierra y formación de partículas finas.

Hay disponible una serie de tecnologías para reducir las emisiones de NO_x. Estas tecnologías se pueden dividir en dos clases principales, primarias y secundarias. Las tecnologías primarias minimizan o evitan la formación de NO_x en la zona de combustión controlando el proceso de combustión. Las tecnologías secundarias usan productos químicos para reducir a nitrógeno molecular el NO_x formado en la zona de combustión. La presente invención es una tecnología primaria de control.

En las tecnologías primarias de control, denominadas comúnmente de combustión escalonada, se controla cuidadosamente el mezclado del aire de combustión y el combustible para minimizar la formación de NO_x. La formación de NO_x a partir del nitrógeno del combustible se basa en una competencia entre la formación de NO_x y la formación de N₂ a partir de especies nitrogenadas presentes en los volátiles del combustible y de nitrógeno del carbón. Condiciones ricas en oxígeno llevan esta competencia hacia la formación de NO_x. Condiciones ricas en combustible llevan las reacciones hacia la formación de N₂.

Las estrategias primarias de control se aprovechan de este fenómeno controlando cuidadosamente el mezclado del aire y el combustible para formar una región rica en combustible y evitar la formación de NO_x. Para reducir las emisiones de NO_x, la región rica en combustible debe estar suficientemente caliente para controlar la cinética de la reducción de NO_x. Sin embargo, se ha de transferir calor suficiente desde la primera fase rica en combustible a la carga calorífica del horno para evitar la formación térmica de NO_x en la segunda fase.

Con mucho, el tipo más común de dispositivo primario de control es el quemador de NO_x con poco oxígeno (LNB). En este dispositivo, típicamente el aire se controla de modo aerodinámicamente escalonado para formar una zona rica en combustible seguida de una zona de combustión total. Este proceso de combustión se conoce, por ejemplo, por la patente de Estados Unidos número 4.388.062. Un LNB convencional incluye una primera zona, próxima al orificio de alimentación, que es controlada por aire primario y combustible y que es muy rica en combustible. En una segunda zona, el resto del aire secundario y aire terciario permite que el nitrógeno del combustible continúe siendo procesado químicamente formando N₂ con la condición de que se controlen estrictamente las estequiometrías locales. En esta región se queman completamente los hidrocarburos y el carbón. Aunque el LNB es una manera poco costosa de reducir NO_x, las versiones actualmente disponibles todavía no son capaces de conseguir límites de emisiones en regulaciones pendientes. Otros problemas son mayor contenido de carbono en las cenizas y menor estabilidad de la llama.

Los LNB representan una tecnología bastante madura y, como tales, se han discutido ampliamente en la bibliografía archivística y de patentes. Se han propuesto muchas ideas para aumentar la eficacia de los LNB minimizando efectos perjudiciales, como poca estabilidad de la llama y mayor contenido de carbono en las cenizas. De estas ideas, dos son particularmente importantes: precalentar el aire alimentado a la primera fase y convertir la cámara de combustión en cámara de ignición de fuel y oxígeno.

Tanto el precalentamiento del aire como la combustión de combustible-oxígeno aumentan la eficacia de una combustión escalonada por incrementar la temperatura en la zona primaria sin incrementar la relación estequiométrica. La combustión de combustible-oxígeno ofrece la ventaja adicional de tiempos de residencia más largos en la región rica en combustible, debido a flujos más bajos de gases, que se ha demostrado reducen las emisiones de NO_x. Como se ha discutido anteriormente, una combustión escalonada usa una fase rica en combustible para favorecer la formación de N₂ en lugar de NO_x. Puesto que las reacciones que forman N₂ se controlan cinéticamente, la temperatura y la concentración de radicales de hidrocarburos son críticas para reducir la formación de NO_x. Por ejemplo, si la temperatura es alta y la concentración de radicales es baja, se incrementa la formación de NO_x. Cuando la concentración de radicales es alta pero la temperatura es baja, como bajo condiciones intensamente escalonadas, se retarda la conversión de especies intermedias, como HCN, a N₂. Cuando se añade aire para completar la combustión, las especies intermedias se oxidan formando NO_x; por lo tanto se incrementa la formación de NO_x. Sarofim et al. ("Strategies for Controlling Nitrogen Oxide Emissions During Combustion of Nitrogen bearing fuels", 69ª reunión anual de la AIChE, Chicago, IL, noviembre de 1976) y otros han sugerido que se puede aumentar la cinética de la primera fase precalentando el aire de combustión a temperaturas ligeramente altas. Alternativamente, Kobayashi et al. ("NO_x Emission Characteristics of Industrial Burners and Control Methods Under

Oxygen Enriched Combustion Conditions”, 9ª conferencia de miembros de la International Flame Research Foundation, Noordwijkerhout, mayo de 1989) sugieren que usando oxígeno en lugar de aire para la combustión se podría incrementar también la cinética. En ambos casos, el resultado neto es que se incrementa la temperatura de los gases en la primera fase mientras que se mantiene igual la concentración de radicales, originando una formación menor de NO_x. Además, el uso de precalentamiento del aire e ignición de combustible-oxígeno permite escalar más intensamente la primera fase sin degradar la estabilidad de la llama. Esto permite una reducción aún mayor de la formación de NO_x.

La ignición de combustible-oxígeno ofrece una ventaja adicional a los LNB. Timothy et al. [“Characteristics of Single Particle Coal Combustión”, 19ª simposio (internacional) sobre combustión, The Combustion Institute, 1983] describen que se reducen significativamente los tiempos de desvolatilización cuando se quema carbón en condiciones enriquecidas en oxígeno. Estos ensayos fueron ensayos de combustión de partículas simples realizados bajo condiciones muy pobres de combustible, que no proporcionan información sobre cuánto oxígeno se necesita para realizar estos ensayos bajo condiciones de combustión más realistas. Un rendimiento más alto de volátiles significa que se incrementa el contenido de combustible en la fase gaseosa en comparación con la línea de referencia, originando una fase más rica en combustible que inhibe la formación de NO_x a partir de especies nitrogenadas volátiles. Además, los volátiles del combustible arden rápidamente y aseguran la llama al quemador, lo cual demuestra una formación menor de NO_x. Un mayor rendimiento de volátiles origina también tiempos de combustión más cortos puesto que hay menos carbón remanente.

Aunque la técnica anterior describe varias mejoras elegantes de combustión escalonada y de LNB, varios problemas prácticos han limitado su aplicación. En primer lugar, precalentar el aire de combustión a los niveles requeridos para aumentar la cinética requiere varias modificaciones del sistema y de las tuberías de aire. Las secciones del calentador del aire y del economizador deben ser modificadas para permitir que el aire de entrada se caliente a temperaturas más altas, lo cual requiere modificaciones del resto de los componentes del circuito del vapor de agua. Las tuberías y toberas de distribución así como el propio quemador también deben ser modificadas para conducir el aire caliente. Todas estas modificaciones pueden ser costosas y tener un efecto negativo sobre el funcionamiento de la caldera.

La barrera primaria al uso de ignición de combustible-oxígeno en calderas ha sido el coste del oxígeno. Para que el uso de oxígeno sea económico, el ahorro de combustible conseguido incrementando la eficacia del proceso debe ser mayor que el coste del oxígeno suministrado. En el caso de operaciones a temperaturas altas, como hornos sin recuperación significativa de calor, esto se consigue fácilmente. Sin embargo, en el caso de operaciones más eficientes, como calderas, el ahorro de combustible obtenible usando ignición de combustible-oxígeno es típicamente mucho menor que el coste del oxígeno. Por ejemplo, si una caldera típica que quema carbón se convierte de ignición con aire a ignición con oxígeno, se requerirá aproximadamente 15 a 20% de la energía producida por la caldera para producir el oxígeno necesario. Evidentemente, esto es antieconómico para la mayoría de las calderas.

Por lo tanto, subsiste la necesidad de un método para conseguir emisiones reducidas de NO_x en la combustión de combustibles (particularmente carbón) que contienen uno o más compuestos nitrogenados y especialmente de un método que se pueda realizar en hornos existentes sin requerir grandes modificaciones estructurales.

Breve resumen de la invención

Un aspecto de la presente invención es un método para quemar combustible que contiene uno o más compuestos nitrogenados, comprendiendo el método:

alimentar a la región rica en combustible de la primera fase de combustión de la primera y segunda fases de combustión un combustible que contiene uno o más hidrocarburos nitrogenados y un oxidante gaseoso que tiene una concentración media de oxígeno mayor que 21% de oxígeno en volumen, a una relación estequiométrica por debajo de un punto superior (A) en el que, si la fase funcionara con aire como único oxidante, se produciría la misma cantidad de NO_x,

pero es por lo menos una relación estequiométrica inferior (B) a la que la cantidad de NO_x formado por la combustión del citado combustible con el citado oxidante bajo condiciones idénticas es la misma citada cantidad,

y quemar el citado combustible con el citado oxidante gaseoso en la primera fase de combustión para producir productos de la combustión y combustible no quemado,

y que comprende además quemar en la segunda fase de combustión el citado combustible no quemado, con oxidante gaseoso adicional de modo que el contenido medio de oxígeno del oxidante alimentado a las citadas primera y segunda fases está en el intervalo de 20,9-47,4% de oxígeno en volumen, y eliminando de la primera fase calor suficiente procedente de los productos de la combustión y del combustible no quemado para alcanzar una temperatura suficientemente baja para minimizar formación adicional de NO_x en la combustión en la segunda fase,

en el que la concentración media de oxígeno en el oxidante alimentado a la región rica en combustible es hasta 24,8% en volumen.

5 El oxígeno puede ser alimentado en forma de una única corriente de oxígeno puro o de aire sustancialmente enriquecido de oxígeno o en forma de una pluralidad de corrientes de oxígeno puro y/o de aire sustancialmente enriquecido de oxígeno.

Breve descripción del dibujo

La figura adjunta es un gráfico de formación de NO_x en función de la relación estequiométrica en la primera fase de un horno escalonado.

Descripción detallada de la invención

10 La presente invención supera los obstáculos antes mencionados aumentando la eficacia de una combustión escalonada. También es útil en quemadores de una sola fase. La invención es aplicable a la combustión de combustibles hidrocarbonados, como carbón mineral, fuel (incluido aceite pesado) y asfalto. Dichos combustibles contienen generalmente una cantidad menor de hidrocarburos naturales que contienen compuestos nitrogenados, típicamente heterocíclicos.

15 En la descripción siguiente, se debe entender que el contenido de oxígeno en el oxidante alimentado a una fase de un dispositivo de combustión representa el contenido medio general de oxígeno considerando la fase en su conjunto aunque en la fase el contenido de oxígeno pueda variar en puntos diferentes dados.

20 La presente invención se aprovecha del descubrimiento de que, dentro de ciertos intervalos y proporciones de oxígeno y combustible, usando una cantidad sorprendentemente pequeña de oxígeno se origina una reducción significativa de la formación de NO_x , eliminando así la necesidad de modificaciones grandes de la caldera o el coste de oxígeno puro como modos de reducir la formación de NO_x .

25 Más específicamente, se ha determinado que, como es de esperar por descripciones relacionadas de la técnica anterior, con las relaciones estequiométricas observadas convencionalmente en la primera fase de una combustión escalonada en aire, un aumento del contenido de oxígeno del aire incrementa la formación de NO_x . En la presente memoria, "relación estequiométrica" es la relación de oxígeno alimentado con respecto a la cantidad total de oxígeno que sería necesario para convertir completamente todo el carbono, azufre e hidrógeno presentes en las sustancias que constituyen el combustible a dióxido de carbono, dióxido de azufre y agua.

30 Sin embargo, y de modo totalmente sorprendente, se ha descubierto que hay relaciones estequiométricas más bajas que tienen la propiedad de que la combustión, a dichas relaciones estequiométricas más bajas, acompañada por un incremento relativamente pequeño del contenido total de oxígeno en el gas oxidante origina una disminución significativa de la formación de NO_x .

35 En un punto determinado que representa un valor determinado de la relación estequiométrica para un conjunto dado de condiciones de la combustión y para un contenido total dado de oxígeno algo mayor que el del aire, la formación de NO_x , expresada como masa por unidad de combustible alimentado, será la misma tanto si la combustión se realiza en aire como si se realiza en un gas oxidante. Este punto se denominará en la presente memoria "punto de inflexión" (se elige este término para ayudar a entender la presente descripción de la invención y no se debe atribuir ninguna implicación adicional a la palabra particular "inflexión"). Se puede esperar que el valor particular de la relación estequiométrica en el punto de inflexión varíe caso a caso dependiendo, por ejemplo, de la composición del combustible y del contenido total de oxígeno en el oxidante. La presente invención realiza la combustión en la primera fase (o en la porción rica en combustible de una cámara de combustión escalonada) a relaciones estequiométricas por debajo de la relación estequiométrica en ese punto.

40 Como ejemplo, en la figura se muestra esquemáticamente el efecto de la adición de oxígeno sobre la formación de NO_x . Esta gráfica, obtenida usando cálculos cinéticos químicos en los que el volumen y eliminación de calor de la zona primaria se mantuvieron constantes, muestra dos curvas que representan la formación de NO_x en función de la relación estequiométrica de la primera fase cuando el oxidante es aire, y cuando el 10% del oxígeno requerido para la combustión completa del combustible fue suministrado por oxígeno puro y este oxígeno se alimentó a la primera fase (rica en combustible). El combustible usado para estos cálculos fue un carbón bituminoso típico con un contenido de volátiles del 34%. La gráfica muestra un punto "A" en el que se cortan las dos curvas, que es el punto en el que la formación de NO_x es la misma cuando la combustión se realiza en aire o en oxidante gaseoso formado en el que una porción (en este ejemplo, 10%) del oxígeno requerido para la combustión completa del combustible es suministrada por oxígeno puro y el resto es suministrado por aire. El punto "A" es el "punto de inflexión" antes definido. En el punto "A" de este ejemplo, la relación estequiométrica es aproximadamente 0,585. En este ejemplo se supuso que aproximadamente el 52% en peso del carbón estaba en la fase gaseosa y participando en las reacciones. Así, aunque la relación estequiométrica total es mucho menor que 1, la fase gaseosa puede ser sólo ligeramente rica en combustible en este punto de inflexión.

5 Cuando la fase gaseosa es combustible pobre, en este caso en una relación estequiométrica de la fase primaria mayor que aproximadamente 0,585, el efecto de añadir oxígeno es incrementar significativamente la formación de NO_x . Sin embargo, se ha descubierto ahora que hay relaciones estequiométricas más bajas (inferiores a aproximadamente 0,585 en este ejemplo, que es la relación estequiométrica en el punto en el que se cortan las dos curvas), en las que el efecto de incrementar modestamente el contenido total de oxígeno del oxidante en la primera fase (por ejemplo, por adición de cantidades relativamente modestas de oxígeno puro o enriquecido sustancialmente) es disminuir notablemente la formación de NO_x . La presente invención realiza la combustión en la primera fase (o en la porción rica en combustible de una cámara de combustión escalonada) a relaciones estequiométricas inferiores a la relación estequiométrica en ese punto.

10 El modo preferido de practicar esta invención se basa en una combinación de los requisitos para facilitar una combustión escalonada y materiales o limitaciones económicas. Como se ha indicado, un objetivo principal de esta invención es reducir la formación de NO_x pero otro objetivo es, por supuesto, poder iniciar y mantener la combustión. Si la relación estequiométrica es demasiado baja, por ejemplo, inferior a aproximadamente 0,4 en el ejemplo representado en la figura, la ignición y combustión en la primera fase será difícil. Este límite inferior depende mucho de las características del combustible, como cantidad de volátiles desprendidos en la primera fase, y de las características del oxidante. En el ejemplo antes discutido, el intervalo óptimo fue aproximadamente una relación estequiométrica de 0,4-0,585 referida a carbón total. Esta corresponde a un intervalo de 0,575-0,85 referido al combustible supuesto en la fase gaseosa. Como otro ejemplo, alimentar una corriente precalentada significativamente de oxígeno puro o sustancialmente enriquecido permitirá la combustión a relaciones estequiométricas mucho más bajas que una corriente equivalente de oxígeno a temperaturas más bajas. Sin embargo, en cualquier caso se ha de indicar que en la región en la que la relación estequiométrica es inferior a un valor crítico, aproximadamente 0,4 en el ejemplo antes discutido, la formación de NO_x excede de la que se consigue incluso sin la adición de oxígeno y control de la relación estequiométrica de acuerdo con la presente invención.

25 En vista de lo anterior, para estar más seguro de conseguir una formación reducida de NO_x bajo un conjunto dado de condiciones de la combustión (incluidas una corriente dada de oxidante que tenga un contenido total de oxígeno algo mayor que la del aire), se prefiere operar a una relación estequiométrica inferior a la relación estequiométrica en el punto de inflexión antes mencionado en el que la combustión en aire o en el gas oxidante dado produce la misma cantidad de NO_x , pero por lo menos la relación estequiométrica más baja a la que la formación de NO_x (obtenido con la corriente dada de oxidante) ha aumentado de nuevo y alcanzado el valor de la formación de NO_x en el punto de inflexión antes mencionado.

30 En otras palabras, con referencia a la figura, en el punto "A" (esto es, en el punto de inflexión) la formación de NO_x es la misma para la combustión en aire o en un oxidante gaseoso en el que el 10% del oxígeno requerido para la combustión es suministrado por oxígeno puro y el resto por aire, y en el punto "B" la formación de NO_x es la misma que la formación de NO_x en el punto "A"; y se prefiere realizar la combustión a una relación estequiométrica inferior a la relación estequiométrica en el punto "A" y por lo menos a la relación estequiométrica en el punto "B".

35 Las relaciones estequiométricas operativas óptimas dependen mucho de las características del combustible, tipo de dispositivo de combustión, fracción del oxígeno requerido para la combustión suministrado por oxígeno puro o sustancialmente enriquecido y temperatura media del oxidante. Hay disponibles varios métodos para determinar el régimen operativo óptimo. Estos incluyen los cálculos cinéticos antes ilustrados que dan información importante sobre las limitaciones cinéticas. Estos cálculos deben prestar atención cuidadosa a la cantidad de combustible en la fase gaseosa bajo las condiciones ricas en combustible para describir adecuadamente la relación de combustible a oxígeno y, por lo tanto, la formación de NO_x , en la fase gaseosa. Se pueden usar cálculos de dinámica computacional de fluidos (CFD) para tener en cuenta el efecto del escalonamiento aerodinámico en un dispositivo de combustión en el que una porción del aire de combustión ha sido reemplazado por oxígeno. Finalmente, se puede usar experimentación para verificar los resultados del modelo antes de instalar el dispositivo.

40 Como se puede ver, los efectos descubiertos y descritos en la presente memoria se basan en incrementos del contenido total de oxígeno en el oxidante. Los incrementos los puede proporcionar la sustitución literal de aire por oxígeno, la sustitución de aire por aire enriquecido en oxígeno, la adición de oxígeno puro o casi puro o la sustitución de aire por oxígeno puro o casi puro. En la presente memoria, por conveniencia, lo más frecuentemente el contenido total incrementado de oxígeno en el oxidante se expresa como sustitución de aire por oxígeno puro, significando un oxidante que es el equivalente de aire que ha sido reemplazado en parte por oxígeno puro de modo que se mantiene la misma cantidad de oxígeno. Dado que el aire comprende aproximadamente 20,9% de oxígeno, la sustitución de diversos porcentajes dados del aire por oxígeno produce oxidante con un contenido total mayor de oxígeno de acuerdo con la siguiente tabla:

55

La sustitución de este volumen de aire por oxígeno (%)	produce oxidante que tiene este porcentaje de oxígeno en volumen
0	20,9
5	21,8
10	22,7
15	23,7
20	24,8
25	26,1
30	27,4
35	28,9
40	30,6

5 El contenido total práctico de oxígeno en el gas oxidante, tanto si se efectúa por sustitución de aire por oxígeno puro como de cualquier otra manera, se basa en límites inferiores cuando el oxígeno no tendrá efecto suficiente para garantizar su uso y en límites superiores cuando el coste es prohibitivo o el mantenimiento del equilibrio del horno o caldera sea problemático. Aunque se puede usar oxígeno puro o corrientes de oxidante enriquecido sustancialmente en oxígeno para suministrar 25% o más, o incluso 30% o más, del requisito estequiométrico de oxígeno para la combustión, los cálculos basados en el coste real del oxígeno y en la cinética de control de NO_x sugieren, como intervalo óptimo, usar un oxidante gaseoso que contenga 21,8 a 24,8% de oxígeno en volumen, esto es, correspondiente a una sustitución entre 5 y 20% del aire total de combustión por oxígeno (o cualquiera de los valores entre 5 y 20%, como aparece en la tabla anterior). Cuando todo el oxígeno se usa en la zona de combustión de la primera fase y no se usa oxígeno en la zona de combustión de la segunda fase, el intervalo óptimo de sustitución del aire de combustión de la primera fase por oxígeno es mucho mayor que el intervalo antes citado, que depende de la relación estequiométrica de la zona de combustión de la primera fase.

10 El aire, oxígeno y aire enriquecido en oxígeno para la combustión se pueden suministrar en una sola corriente o en más de una corriente. El método óptimo para suministrar el oxígeno, o la corriente de oxidante sustancialmente enriquecido, se basa en maximizar la reducción de NO_x y minimizar la reconversión y complejidad del sistema. De acuerdo con estos objetivos, el oxígeno se puede suministrar a la primera zona de combustión alimentándolo a través de una lanza que se extienda por el quemador en esa fase o alimentándolo a través de las paredes adyacentes al quemador. Este método proporciona el efecto máximo de la concentración incrementada de oxígeno en la primera zona de combustión y permite instalar una configuración de una sola lanza. Además, con este método la concentración local de oxígeno puede ser tan alta como la pureza del oxígeno usado para el proceso, que permitirá aún más la desvolatilización de las partículas o gotitas de combustible y ayudará a asegurar la llama. Este método también permitiría inyectar oxígeno precalentado sin el problema de ignición prematura o reblandecimiento del combustible.

15 Otros aspectos de la práctica de la presente invención se pueden realizar de una manera convencional que es familiar y fácilmente comprobable por los expertos en la técnica. El carbón que se ha de quemar se pulveriza primero a un tamaño fino de partículas que le permita ser alimentado a presión gaseosa, a través del orificio de la cabeza de un quemador para dicho fin, a un horno o dispositivo similar de combustión. Las cabezas de quemadores, técnicas de alimentación de carbón pulverizado y hornos y otros dispositivos de combustión útiles para quemar carbón y adecuados para uso en esta invención son convencionales. La relación estequiométrica y el contenido de oxidante gaseoso alimentado a las zonas de combustión se ajustan por medios de control familiares a los expertos en este campo. La combustión de combustible de acuerdo con la presente invención es útil para recuperar calor para la generación de energía o con fines de calentamiento.

20 Una manera simple de practicar esta invención es inyectar oxígeno a las toberas de distribución de un quemador de NO_x para proporcionar un gas oxidante que tiene el contenido mayor deseado de oxígeno por lo que el gas oxidante resultante se alimenta a todo el horno, incluida la primera fase de combustión y haciendo a la primera fase de combustión más rica en combustible ajustando el flujo de aire o combustible a la primera fase. Esto sería una solución útil para una combustión escalonada en la que todo el quemador de nitrógeno opera con combustible rico y se añade aire secundario corriente abajo en la caldera para completar la combustión del combustible. Otra solución es alimentar la mayoría del oxígeno a la fase primaria, o rica en combustible, para aumentar las reacciones que forman N₂. El oxígeno remanente se alimenta a fases posteriores del quemador de nitrógeno bajo o al aire secundario, para favorecer la combustión. La configuración más preferida es alimentar todo el oxígeno a la primera fase de combustión a través de una lanza y reducir el caudal del aire de combustión de la primera fase en una cantidad apropiada.

25 El enriquecimiento en oxígeno se puede conseguir de varias maneras. Una es instalar simplemente un burbujeador en las toberas de la caldera para que la cantidad deseada de oxígeno se mezcle con todo el aire de combustión

antes de entrar en el quemador. Aunque esta solución es la más simple, se reduce la eficiencia de la reducción de NO_x en comparación con la inyección directa a la primera zona de combustión. Otro método de suministrar al quemador el aire algo enriquecido en oxígeno es conducir una mezcla premezclada (de aire-oxígeno) directamente a la primera zona de combustión. Aunque esto podría originar una reducción de NO_x mejor que el mezclado simple en las toberas, las tuberías adicionales y modificaciones de las toberas requeridas pueden ser menos atractivas que el caso óptimo.

También se puede variar el grado de enriquecimiento en oxígeno de acuerdo con requisitos específicos del lugar. Aunque se ha determinado que incrementando la sustitución de oxígeno por encima del 15% del oxígeno estequiométrico se aumenta más la reducción de NO_x , el coste actual del oxígeno puede hacer que una sustitución de más del 40% del aire sea antieconómica en comparación con otros métodos de control de NO_x . Además, cuando se usa la invención en reconversiones de calderas y hornos existentes o en hornos nuevos de diseños convencionales, hay un límite superior de la cantidad de oxígeno que se puede suministrar en lugar de aire antes de influir perjudicialmente sobre el equilibrio de la caldera. Este límite es específico del combustible y del lugar, pero comúnmente es 20 a 30% (que corresponde a contenidos totales de oxígeno de 24,8 a 27,4% referidos a la mezcla del aire total de combustión y oxígeno).

Otro aspecto útil de la presente invención es precalentar el oxígeno de entrada o el oxidante sustancialmente enriquecido. El oxidante precalentado, calentado a una temperatura de hasta 982°C o incluso a una temperatura de hasta 1.649°C , acelerará la ignición del combustible, aumentará la combustión en esta zona e incrementará el rendimiento de volátiles. Aspectos materiales de las tuberías del proceso limitarán la temperatura superior.

La invención también se puede usar para reducir NO_x de la caldera enriqueciendo selectivamente justo los quemadores que han mostrado producir la mayoría del NO_x y carbón no quemado en una caldera dada.

Esta invención también se puede usar para recuperar la capacidad de calderas que se haya perdido debido a problemas de equilibrio de la caldera, como cuando ésta haya cambiado de un combustible a otro de menor potencia calorífica. Por ejemplo, cuando una caldera cambia de un carbón bituminoso a un carbón menos bituminoso, el mayor volumen de los gases efluentes asociado con un carbón menos bituminoso origina típicamente problemas porque pasa mucho calor a través de la sección radiante que es absorbido en la sección de convección. Esto origina frecuentemente una reducción de la capacidad de la caldera. Sin embargo, cuando se reemplaza una proporción tan pequeña como el 5% del aire total de combustión por oxígeno como parte de la invención, el volumen de los gases efluentes es el mismo que cuando se usa como combustible un carbón bituminoso por lo que se recupera la capacidad perdida de la caldera.

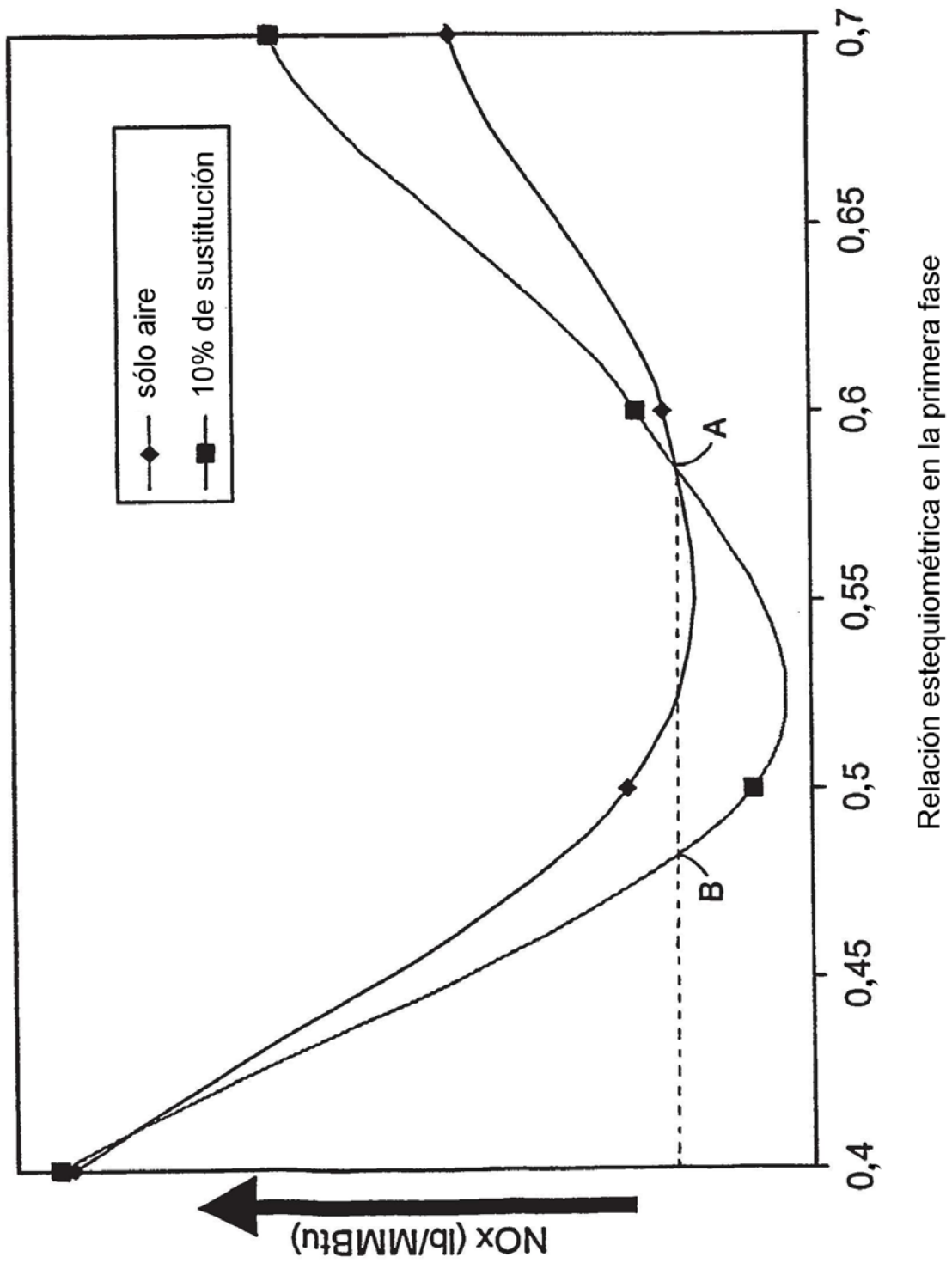
Cuando la presente invención se realiza como primera fase de un dispositivo de combustión escalonada que tiene una segunda fase, los productos de la combustión de la primera fase (incluidos combustible no quemado y gas efluente) pasan a la segunda fase. A esta segunda fase se suministra aire u oxígeno adicional y se quema el combustible no quemado de la primera fase. La combustión en esta fase se debe realizar de modo que se elimine la formación de NO_x , preferiblemente que se minimice la formación de NO_x . Preferiblemente, se debe proporcionar aire u oxígeno suficiente para realizar la combustión del combustible no quemado en la máxima extensión posible consistente con la eliminación o minimización de la formación de NO_x en esta fase.

Otra ventaja de esta invención es que la combustión, bajo las condiciones descritas en la presente memoria en la primera fase de combustión de un dispositivo de combustión escalonada (o en la región rica en combustible de una cámara de combustión escalonada), proporciona una mayor desvolatilización de las materias volátiles del combustible por lo que se supone que disminuirá notablemente la cantidad de alquitrán resultante bajo estas condiciones, originando una combustión mucho mejor que en dispositivos escalonados convencionales.

También otra ventaja de la presente invención es que la llama en la primera (o única) fase de combustión está más próxima al orificio del quemador. Esta característica es ventajosa porque se corresponde con una menor formación de NO_x en comparación con situaciones en las que la llama está separada del quemador, esto es, en la que la base de la llama está a cierta distancia del orificio del quemador. Además, la sustitución de una porción del aire de combustión por oxígeno y una operación más rica en combustible de la primera fase de combustión originan un tiempo de residencia más largo en esta fase, lo cual facilita una mayor reducción de la formación de NO_x .

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para quemar un combustible hidrocarbonado, que comprende alimentar a la región rica en combustible de la primera fase de combustión de la primera y segunda fases de combustión un combustible que contiene uno o más hidrocarburos nitrogenados y un oxidante gaseoso que tiene una concentración media de oxígeno mayor que 21% de oxígeno en volumen, a una relación estequiométrica por debajo de un punto superior (A) en el que, si la fase funcionara con aire como único oxidante, se producirá la misma cantidad de NO_x,
- pero es por lo menos una relación estequiométrica inferior (B) en la que la cantidad de NO_x formado por la combustión del citado combustible con el citado oxidante bajo condiciones idénticas es la citada misma cantidad,
- 10 y quemar el citado combustible con el citado oxidante gaseoso en la primera fase de combustión para producir productos de la combustión y combustible no quemado,
- y caracterizado porque el método comprende además quemar el citado combustible no quemado, en la segunda fase de combustión con oxidante gaseoso adicional de modo que el contenido medio de oxígeno del oxidante alimentado a las citadas primera y segunda fases está en el intervalo de 20,9-27,4% de oxígeno en volumen, y eliminando calor suficiente procedente de los productos de la combustión y de combustible no quemado procedente
- 15 de la primera fase para alcanzar una temperatura suficientemente baja para minimizar formación adicional de NO_x en la segunda fase de combustión,
- y porque la concentración media de oxígeno en el oxidante alimentado a la región rica en combustible es hasta 24,8% en volumen.
- 20 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la concentración media de oxígeno en el oxidante alimentado a la región rica en combustible es hasta 21,8% en volumen.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además calentar el oxidante antes de alimentarlo a la citada primera fase de combustión.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el citado combustible es carbón mineral.
- 25 5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que en la segunda fase de combustión se alimenta aire corriente abajo de la región rica en combustible para quemar combustible no quemado en ese aire alimentado corriente abajo de la región rica en combustible.



Relación estequiométrica en la primera fase