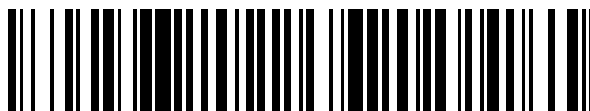


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 601 702**

51 Int. Cl.:

**F23C 6/04** (2006.01)

**F23C 7/02** (2006.01)

**F23D 1/02** (2006.01)

**F23L 7/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.05.2003 PCT/US2003/14754**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.11.2003 WO03098105**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2003 E 03741797 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.08.2016 EP 1504219**

54 Título: **Combustión con reducido carbono en la ceniza**

30 Prioridad:

**15.05.2002 US 380717 P**

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

**16.02.2017**

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 2 601 702 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 con reducido carbono en la ceniza

5 Campo de la Invención

La presente invención se refiere a la generación de una ceniza que se pueda vender a partir de la combustión de combustibles de hidrocarburos, tales como el carbón.

10 Antecedentes de la Invención

10 En la combustión de carbón en hornos, tales como en las calderas de centrales eléctricas, se genera una gran cantidad de ceniza a partir de las materias minerales contenidas originalmente en el carbón. El contenido de ceniza del carbón oscila entre un pequeño tanto por ciento y hasta por encima del 30 %, pero la mayor parte del carbón bituminoso utilizado para la generación de potencia en EE.UU. tiene un contenido de ceniza dentro del intervalo entre el 6 y el 20. La ceniza que se genera en las calderas de centrales eléctricas se vende a menudo como materia prima para la fabricación de cemento y para otros procesos. Si el contenido de carbono residual de la ceniza es mayor que determinados porcentajes, no es aceptable para la fabricación de cemento debido a su color y a su impacto sobre las propiedades del cemento. La ceniza con un alto contenido de carbono, si no se puede encontrar ningún otro uso para ella, se entierra como desecho con un coste significativo.

20 Otro problema relacionado con el alto contenido de carbono de la ceniza es el aumento potencial de la formación de escoria y su tendencia a la precipitación debido a la ceniza. Se ha indicado con anterioridad que si los residuos carbonosos quedan incrustados en los depósitos, se puede crear en el depósito una atmósfera reductora local, lo cual puede dar lugar a una reducción significativa de las temperaturas del punto de fusión de la escoria, especialmente si la ceniza es de elevado contenido en hierro.

25 El contenido de carbono residual en la ceniza está muy influenciado por las condiciones de la combustión, así como por el tipo de carbón y de materias minerales y por la finura de las partículas de carbón pulverizadas. Por lo general, el contenido de carbono en la ceniza aumenta con la disminución del exceso de aire para la combustión. Por otro lado, las emisiones de NOx se reducen de forma significativa con la disminución del exceso de aire. Debido a las normas más estrictas sobre emisiones de NOx, muchos sistemas de combustión que se accionan mediante carbón se han reconvertido en sistemas de combustión de bajo NOx, en los que la combustión tiene lugar en dos etapas, una primera etapa rica en combustible en la que las especies de nitrógeno unidas al combustible se convierten en nitrógeno molecular y una segunda etapa pobre en combustible en la que se mezcla aire de combustión adicional para completar la combustión. El proceso de combustión rico en combustible que se utiliza en los métodos de combustión de bajo NOx retarda la combustión de carbón vegetal y tiende a aumentar el contenido de carbono de la ceniza en la salida del horno. Por lo tanto, los métodos de combustión de bajo NOx tienden a dar lugar a problemas en relación a la calidad de la ceniza como producto secundario que se pueda vender.

40 En la combustión del carbón, la combustión volátil es muy rápida y la combustión del carbón vegetal es lenta. El contenido de carbono sin quemar (UBC, unburned carbon, por sus siglas en inglés) de la ceniza queda determinado por la etapa de combustión de carbón vegetal más lenta. La velocidad a la que se consume el carbono depende del tamaño de partícula, de la estructura de los poros, de la reactividad del carbón vegetal, de la temperatura y presión parcial del oxígeno de la atmósfera, entre otras cosas. Una mezcla rápida del carbón y el aire de combustión y una combustión más intensa con un elevado exceso de oxígeno son eficaces al objeto de reducir el UBC. Sin embargo, estas condiciones tienden a elevar las emisiones de NOx bruscamente. Por lo tanto, el compromiso de diseño se realiza, por lo general, en el diseño de la caldera-quemador, al objeto de conseguir un UBC aceptable a la vez que se minimizan las emisiones de NOx.

50 Una forma eficaz de acelerar el consumo del carbón vegetal y de reducir el UBC es la molturación ultrafina del carbón. Sin embargo, el coste de una nueva máquina de pulverización de carbón y la energía adicional requerida para la molturación ultrafina hacen que, a menudo, no sea una opción económica para la mayoría de las aplicaciones de modernización por reajustes en el montaje. El tratamiento posterior a la combustión de la ceniza es posible y existen tecnologías para la oxidación del carbón residual de la ceniza en un proceso independiente. Sin embargo, el tratamiento posterior a la combustión es caro y no es una práctica generalizada.

55 El enriquecimiento en oxígeno se probó en un horno de prueba alimentado con una suspensión acuosa de carbón para el control de las emisiones de NOx y carbono bajo unas condiciones sin etapas (W.F. Farmayan et al., "NOx and Carbon Emission Control in Coal-Water Slurry Combustion", Sixth International Symposium on Coal Slurry Combustion and Technology, Orlando, Florida, Junio 25-27, 1984). El oxígeno se inyectaba a través de cuatro conductos de inyección (de aproximadamente 0,64 cm (1/4 pulgada) de diámetro interior) dispuestos alrededor de la tubería central de combustible (figura 4 del artículo). La cantidad de inyección de oxígeno era equivalente a un enriquecimiento en oxígeno del aire de combustión de hasta el 22 a 24 % de O<sub>2</sub>. Este artículo concluía que el efecto del enriquecimiento en O<sub>2</sub> en la proximidad del quemador sobre el consumo de carbono resultaba ser leve, especialmente hacia el final del extremo de la llama. Se cree que la razón es que las partículas sin quemar relativamente grandes pasan a través del mismo entorno desprovisto de oxígeno en el final del extremo de la llama

que por el que pasarían en una llama sin enriquecimiento en oxígeno. Es de esperar que se hubiera obtenido un beneficio mayor desde el punto de vista del consumo de carbono por medio de la inyección de O<sub>2</sub> en donde más se necesita, por ejemplo, detrás del frente de llama en vez de delante.

5 La comparación del método de inyección de oxígeno y los resultados de esta referencia con la presente invención tiene que tener en cuenta la diferencia en las configuraciones del quemador y en las propiedades del combustible. Las suspensiones acuosas de carbón (CWS, coal water slurries, por sus siglas en inglés) contienen normalmente  
10 alrededor del 30 % de agua y se tienen que atomizar para la combustión. El artículo concluía que la calidad de la atomización de la suspensión era la variable crítica que afecta al consumo de carbono. A diferencia de la combustión de carbón pulverizado tradicional, las CWS se deben atomizar, y las gotitas que contienen las múltiples partículas de carbón deben vaporizar el agua antes de que puedan tener lugar la desgasificación y la ignición. Las múltiples partículas de carbón de una sola gotita de agua pueden aglomerarse para conformar una partícula mayor. Por tanto, los resultados de esta referencia no son aplicables directamente a la combustión de carbón pulverizado.

15 La patente de EE.UU. nº 4.495.874 describe el enriquecimiento en oxígeno del aire primario y/o secundario en quemadores que funcionan con carbón pulverizado al objeto de aumentar el caudal de vapor de una caldera que consume carbón pulverizado de alto contenido en ceniza. Aunque la patente no muestra los efectos del enriquecimiento en oxígeno sobre el UBC, la figura 4 muestra unos aumentos significativos en las temperaturas del  
20 horno en la proximidad del quemador para un 2 % de enriquecimiento en oxígeno, pero pequeños para un 1 % de enriquecimiento en oxígeno.

La patente de EE.UU. nº 4.596.198 describe el enriquecimiento en oxígeno del aire primario en quemadores que funcionan con carbón pulverizado al objeto de reducir la deposición de escoria en calderas de centrales eléctricas que funcionan con carbón. Esta patente enseña un enriquecimiento en oxígeno del 1 % al 7 %, preferiblemente un  
25 enriquecimiento del 2 al 5 % (el cual, tal y como se define en esa patente, está basado en la adición de oxígeno a la cantidad total de aire de combustión) del aire primario para reducir la deposición de escoria. Además, se indica en ella que el enriquecimiento en oxígeno del 1 % ofrece un beneficio menor, en caso de ofrecer alguno, en relación con la reducción de la escorificación.

30 O. Marin et al. analizan los beneficios del oxígeno para la combustión de carbón en un artículo titulado "Oxygen Enrichment in Boiler" (2001 AFRC/JFRC/IEA Joint International Combustion Symposium, Kauai, HI, Septiembre 9-13, 2001). Proponen la inyección de oxígeno en el aire secundario (también designado como "aire terciario" en este artículo), al objeto de reducir el carbono sin quemar en la ceniza, o la pérdida por ignición (LOI, loss on ignition, por sus siglas en inglés), sin incrementar la emisión de NOx. Los resultados en simulación por ordenador presentados  
35 por Marin et al. compararon el caso con el aire de referencia y un caso con enriquecimiento en oxígeno con una elevada velocidad, corriente enriquecida en oxígeno en el aire terciario (también denominado aire secundario). Según Marin et al. "Se observa un incremento del 5 % en la transferencia de calor en la cámara de combustión, junto con un incremento absoluto del 7 % en el consumo de carbón vegetal." (página 8).

40 La patente de EE.UU. nº 5.601.425 se refiere a un proceso de combustión, en el que un fluido combustible, que puede ser carbón, se quema con un oxidante primario y con un oxidante secundario, en el que el oxidante primario se puede suministrar en una cantidad sub-estequiométrica de aproximadamente el 10 al 30 % de la cantidad estequiométrica de oxígeno necesaria para hacer reaccionar la corriente de fluido combustible. El oxidante primario se eyecta a través de un conducto de paso que rodea el puerto de combustible de tal forma que rodea y reacciona  
45 con el combustible fluido. El oxidante secundario se eyecta a través de una lanza desde un punto que está separado, en ángulo y en posición opuesta y/o adyacente con respecto al punto desde el que se eyectan las corrientes de oxidante primario y de combustible.

#### Breve compendio de la Invención

50 La invención se refiere a un método como el que se define en la reivindicación 1.

Las pruebas llevadas a cabo por parte de los presentes inventores han mostrado, de forma inesperada, una reducción significativa del carbono sin quemar en la ceniza cuando se inyecta una pequeña cantidad de oxígeno en la proximidad del quemador hacia la corriente de carbón. Este resultados son contrarios a la enseñanza de las  
55 fuentes de la técnica anterior, tales como W.F. Farmayan et al. y O. Marin et al., de que estaba recomendada la inyección de oxígeno en la última etapa de la combustión y se esperaba que proporcionara unos beneficios mayores con respecto a la reducción de la cantidad de carbono sin quemar. Tampoco se sugieren estos resultados en las patentes de EE.UU. nº 4.495.874 y nº 4.596.198 mencionadas con anterioridad, en concreto, por el hecho de que dichas patentes están dirigidas a la reducción de la escorificación durante la combustión de carbones que tienen  
60 contenidos de ceniza por encima del 5 % en peso por medio de un enriquecimiento en oxígeno del aire primario o secundario, mientras que la presente invención está dirigida a la reducción del contenido de carbono de la ceniza formada por medio de la inyección directa de oxígeno en la proximidad del quemador hacia la corriente de carbón.

La presente invención proporcionará a menudo la ventaja adicional de que la combustión, llevada a cabo tal y como se describe en la presente memoria, genera una cantidad significativamente menor de óxidos de nitrógeno ("NOx"),  
65

es decir, óxidos de nitrógeno tales como, aunque sin limitarse a ellos, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, y combinaciones de los mismos.

5 Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término "relación estequiométrica" o SR, cuando se utiliza en el contexto de una corriente que contiene oxígeno y una corriente de alimentación de material que se puede quemar con oxígeno en la corriente, se refiere a la relación del oxígeno de la corriente que contiene oxígeno con respecto a la cantidad total de oxígeno que sería necesaria para convertir de forma completa todo el carbono, azufre e hidrógeno presentes en las sustancias que comprende la corriente de alimentación en dióxido de carbono, dióxido de azufre y agua.

10 Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término "rico en combustible" significa tener una relación estequiométrica menor que 1,0.

15 Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término "no acuoso" significa no estar en suspensión, disuelto o disperso en agua, y no contener agua, excepto que no se excluye agua adsorbida o agua de hidratación.

20 Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término "zona de combustión primaria" se refiere a la zona dentro de un dispositivo de combustión inmediatamente adyacente a las salidas del quemador, y que en su mayoría está ocupada por la llama o llamas del quemador o quemadores.

25 Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término "zona de consumo" se refiere a la zona dentro de un dispositivo de combustión que está entre la zona de combustión primaria y el escape, por fuera de la llama o llamas que están en la zona primaria de combustión, en la que se inyecta el aire secundario y en donde se queman con el aire secundario los combustibles residuales y los combustibles de la zona primaria de combustión.

30 Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término "aire de combustión primario" se refiere al aire que ya se ha mezclado con el combustible, a medida que el combustible y este aire se suministran hasta el interior de un dispositivo de combustión, por ejemplo, a través de un orificio de un quemador.

35 Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término "aire de combustión secundario" se refiere al aire que se suministra hasta el interior de un dispositivo de combustión a través de uno o más orificios de un quemador, pero que no se ha mezclado con el combustible al suministrarse este aire hasta el interior del dispositivo de combustión.

40 Un quemador que tiene orificios de aire secundario puede tener orificios adicionales para el suministro de aire, orificios adicionales que están más lejos del punto de entrada del combustible a través del quemador que lo que están los orificios del aire secundario. Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término "aire de combustión terciario" se refiere al aire que se suministra hasta el interior de un dispositivo de combustión a través de tales orificios adicionales. Si un quemador tiene además unos orificios situados incluso más lejos del punto de entrada del combustible que los orificios del aire terciario, el aire suministrado a través de tales orificios más alejados se denomina en la presente memoria "aire de combustión cuaternario".

45 Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término "aire secundario" (u "OFA") se refiere al aire que se inyecta hasta el interior del dispositivo de combustión de forma separada con respecto al quemador o quemadores del dispositivo de combustión, al objeto de proporcionar una zona de combustión primaria rica en combustible extensa y una zona de consumo en la que se completa la combustión por medio de la mezcla del OFA con el combustible sin quemar y los productos de la combustión parcial de la zona de combustión primaria.

50 Las menciones que se hacen en la presente memoria al suministro de "oxígeno", al "oxígeno" que se suministra, y otras menciones de la presente memoria a la utilización de "oxígeno" en un contexto análogo, se refieren a corrientes que contienen al menos un 35 % en volumen de O<sub>2</sub>. Preferiblemente, el oxígeno se suministra como una corriente gaseosa que contiene al menos un 50 % en volumen de O<sub>2</sub>, más preferiblemente, que contiene al menos un 80 % en volumen de O<sub>2</sub>, e incluso más preferiblemente, que contiene al menos un 90 % en volumen de O<sub>2</sub>. Se debe entender además que las menciones de la presente memoria a la combustión o a una reacción que implica "oxígeno" se refieren al propio O<sub>2</sub>.

55 Tal y como se utiliza en la presente memoria, "el contenido de carbono" de la ceniza es la cantidad de la ceniza que es carbono o un compuesto químico que contiene carbono, por ejemplo, cualquier compuesto orgánico (carbonoso).

#### Breve descripción de los dibujos

60 La figura 1 es una representación en sección transversal de una realización de un aparato para llevar a cabo la presente invención.

La figura 2 es una representación en sección transversal de un quemador que se puede utilizar para llevar a cabo la presente invención.

65 Las figuras 3a – 3d son representaciones en sección transversal de lanzas que se pueden utilizar para el suministro de oxígeno hasta el interior de los quemadores según la presente invención.

La figura 4 muestra los resultados del carbono sin quemar de la ceniza obtenidos con un quemador comercial en un horno de prueba, con y sin la aplicación de la presente invención.

La figura 5 es un gráfico de la LOI (pérdida por ignición, una medida de la cantidad de carbono sin quemar presente en la ceniza) con y sin la adición de oxígeno, frente a la relación estequiométrica en el quemador.

La figura 6 es un gráfico de la LOI frente a la cantidad de oxígeno añadido, expresado como % de sustitución de oxígeno.

La figura 7A es una vista en sección transversal de otro tipo de horno de caldera con el que se puede utilizar la presente invención, en el que el carbón y el oxidante se suministran desde puertos separados en dirección tangencial hasta el interior del horno. La figura 7B es una vista superior del horno ilustrado en la figura 7A, que muestra el flujo tangencial del carbón y el oxidante en el interior del horno. La figura 7C es una vista frontal desde el interior del horno que muestra las partes frontales de los puertos.

Descripción detallada de la Invención

La invención se describirá haciendo referencia a las figuras, aunque esta descripción que hace referencia a las figuras no pretende limitar el alcance de lo que se considera que es la presente invención.

La figura 1 muestra un dispositivo de combustión 1, el cual puede ser cualquier tipo de aparato en el que la combustión se lleve a cabo en el interior 11 del dispositivo. Los dispositivos de combustión preferidos incluyen los hornos y las calderas que se utilizan para la generación de energía eléctrica a través de medios convencionales, no mostrados.

El quemador 9 dispuesto en una pared de extremo del dispositivo de combustión 1 suministra carbón, aire y oxígeno a partir de fuentes del mismo situadas en el exterior del dispositivo de combustión 1 hasta el interior 11 del dispositivo de combustión 1. El quemador 9 está compuesto, preferiblemente, de varios conductos dispuestos de forma concéntrica, cuyos detalles se muestran en la figura 2, aunque se pueden utilizar otras disposiciones constructivas con el mismo efecto. El carbón con el aire primario 2 de combustión se suministra hasta el interior del dispositivo de combustión 1 a través del conducto anular 6, dispuesto de forma concéntrica alrededor de la lanza 20, a través de la que se suministra el oxígeno 1, tal y como se describe en la presente memoria. Preferiblemente, se impulsa el carbón a través del quemador 9 hasta el interior 11 del dispositivo de combustión 1 por medio de sopladores e impulsores de diseño convencional, los cuales suministran de forma convencional carbón pulverizado con la ayuda de aire de transporte o aire primario.

El aire de combustión secundario 3 se suministra a través de las paletas de turbulencia 21 al objeto de conferir un movimiento turbulento en el interior del dispositivo de combustión 1, preferiblemente a través de un espacio 7 dispuesto de forma concéntrica que rodea el espacio anular a través del cual se suministra el carbón. Preferiblemente, el aire de combustión terciario 4 se suministra a través de las paletas de turbulencia 22 al objeto de conferir un movimiento turbulento en el interior del dispositivo de combustión 1, preferiblemente a través de un espacio 8 dispuesto de forma concéntrica que rodea el espacio anular 7. Preferiblemente, el oxígeno se suministra hasta el interior 11 del dispositivo de combustión 1 de forma independiente y por separado con respecto al aire de combustión secundario y terciario. Es decir, el oxígeno que se suministra a través del quemador 9, según esta invención, no se mezcla con el aire de combustión antes de que se suministre hasta el interior del dispositivo de combustión 1.

Antes de que un dispositivo de combustión se monte de forma reajustada de acuerdo a la presente invención al objeto de reducir el contenido de carbono de la ceniza, la lanza 20 de suministro de oxígeno no está presente. La combustión se lleva a cabo entre el carbón y el oxígeno del aire de combustión, dando lugar a la formación de una llama 13. En la zona de la llama más próxima al extremo del quemador 9, es decir, donde el carbón sale del quemador, esa zona de la llama es una zona rica en combustible 12. La zona de llama alrededor de su periferia es relativamente pobre debido al aire secundario y terciario, los cuales no se han mezclado por completo y reaccionado con el carbón.

A continuación, se coloca la lanza 20. De forma alternativa, se reemplaza un quemador que suministra carbón y aire de combustión por un quemador que opera tal y como se muestra en la figura 1.

Preferiblemente, también se suministra aire (denominado aire secundario) a través de la abertura 14 hasta el interior del dispositivo de combustión 1, al objeto de proporcionar oxígeno adicional que ayude a lograr una combustión completa del carbón, a la vez que se reduzcan las emisiones de NOx. El oxígeno del aire de combustión suministrado a través del quemador 9, combinado con el oxígeno suministrado a través de la abertura 14, son suficientes para hacer posible una combustión completa del carbón, posiblemente con hasta un 10 a 20 por ciento de exceso de oxígeno en volumen con respecto a la cantidad estequiometría requerida para la combustión completa del carbón.

Preferiblemente, el aire de combustión y el carbón se suministran de forma tal que se mueven de forma turbulenta alrededor de un eje longitudinal, mejorando de esta forma la mezcla de aire y carbón. El movimiento turbulento se

puede conseguir por medio de técnicas conocidas, tales como la disposición de paletas de turbulencia 21 y 22 antes de las salidas del quemador, las cuales dirigen el flujo de las corrientes en la dirección de turbulencia deseada.

5 La presente invención mejora, es decir, reduce, la retención de carbón en la ceniza que se forma tras la combustión, por medio del suministro de una pequeña cantidad de oxígeno en el interior de la corriente de carbón de entrada, tal y como se describe en la presente memoria. Más en concreto, el oxígeno (por medio de lo cual se quiere decir una corriente gaseosa que comprende al menos un 35 % en volumen de O<sub>2</sub>, preferiblemente al menos un 50 % en volumen de O<sub>2</sub>, más preferiblemente al menos un 80 % en volumen de O<sub>2</sub>, de la forma más preferida un 90 % en volumen de O<sub>2</sub>) se suministra directamente en el interior del carbón a medida que éste sale del quemador y se introduce en el interior 11 del dispositivo de combustión 1. Por tanto, las partículas de carbón entran en el dispositivo de combustión con el aire de transporte (es decir, aire primario) y en la zona rica en combustible de la llama 13, y mezcladas con una atmósfera gaseosa que comprende al menos un 35 % de oxígeno.

15 El oxígeno se suministra a través de una lanza o una línea de suministro similar que puede estar abierta en el extremo que desemboca en el interior del dispositivo de combustión 1, o que está cerrada en el extremo y tiene una o más aberturas en su periferia adyacente a ese extremo cerrado, de manera que el oxígeno fluye a través de esas aberturas directamente hacia el interior del carbón que se introduce en el dispositivo de combustión desde el quemador.

20 Haciendo referencia a las figuras 7A y 7C, un horno 1 que se alimenta en dirección tangencial comprende un conjunto de puertos para la inyección de carbón, y puertos para la inyección de aire de combustión, hasta el interior del horno. Normalmente, los puertos de carbón y los puertos de aire de combustión se disponen según una hilera vertical, alternándose unos con otros, tal y como se ilustra en las figuras 7A y 7C, en las que los puertos de inyección de carbón 31 se alternan con los puertos de inyección de aire de combustión 32. El carbón se quema en el interior del horno con el aire de combustión. El horno está equipado además con puertos de aire secundario 7.

25 La presente invención se adapta de forma sencilla a hornos que tienen este tipo de construcción, por ejemplo, por medio de la provisión de una lanza 5 en uno o más de los puertos de combustible para los que se haya determinado que se necesita inyectar oxidante al objeto de reducir el contenido de carbono de la ceniza que se generará, y por medio del suministro, a continuación, de oxidante en las cantidades que se requieran a través de cada una de dichas lanzas. Las lanzas 5 de oxígeno se pueden disponer también en uno o más de los puertos de aire de combustión o por fuera de los puertos de aire y de combustible, y el oxígeno se inyecta a través de la(s) lanza(s) hacia la corriente de carbón adyacente.

35 La cantidad de oxígeno suministrada de esta manera es preferiblemente suficiente para establecer una relación estequiométrica en la zona rica en combustible de la llama 13 que sea menor que aproximadamente 0,85, al objeto de conseguir unas emisiones de NO<sub>x</sub> bajas, así como para la generación de una ceniza con un bajo contenido de carbono. La cantidad de oxígeno suministrado a través de la línea 5 debe ser menor que el 20 % de la cantidad estequiométrica requerida para la combustión completa del carbón. Más preferiblemente, la cantidad equivale a menos del 15 % de la cantidad estequiométrica requerida para la combustión completa del carbón.

40 A la vez, se necesita reducir la cantidad de aire de combustión secundario 3 y de aire de combustión terciario que se suministra a través del quemador 9, hasta el interior del dispositivo de combustión 1, en una cantidad estequiométricamente equivalente a la que se corresponde con la cantidad de oxígeno suministrado a través de la línea 20.

45 Sin la intención de verse limitado por ninguna de las explicaciones particulares del rendimiento inesperado de esta invención, el rendimiento del dispositivo de combustión que se hace funcionar según esta invención se corresponde con un mecanismo en el que la inyección de oxígeno en la proximidad de la corriente de carbón facilita la ignición temprana de la corriente de carbón y mejora de forma significativa la velocidad y la cantidad de desgasificación del carbón. Una mayor desgasificación reduce la cantidad de carbón vegetal que se tiene que oxidar en la etapa posterior de combustión. Aunque el presente método de inyección de oxígeno no aumenta la presión parcial de oxígeno en la atmósfera durante la etapa de combustión lenta del carbón vegetal, tal y como se enseña en la técnica anterior, se estima que la reducción de la cantidad producida de carbón vegetal durante la etapa inicial de desgasificación y combustión proporciona un impacto de gran beneficio en la reducción de la cantidad de carbono sin quemar que queda en la ceniza.

50 Las figuras 3a a 3d muestran diferentes configuraciones de lanza que se pueden emplear. Se pueden utilizar otras configuraciones de lanza. En la figura 3a, la lanza 5 termina en un único orificio 31, que se orienta preferiblemente a lo largo del eje de la lanza.

55 En la figura 3b, el extremo de la lanza 5 está cerrado, y se disponen para la inyección radial de oxígeno dos o más, preferiblemente de dos a dieciséis, más preferiblemente de cuatro a ocho boquillas 32 a lo largo del perímetro de la lanza, en la proximidad del extremo caliente de la lanza. También se pueden disponer en el extremo de esta lanza de una a cuatro, o más, boquillas.

En la figura 3c, se disponen dos o más, y preferiblemente de dos a dieciséis, más preferiblemente de cuatro a ocho boquillas 32 en dirección radial, en la proximidad del extremo cerrado aguas debajo de la lanza 5, y se disponen dos o más, preferiblemente de dos a dieciséis, más preferiblemente de cuatro a ocho boquillas 33, formando cada una de ellas un ángulo mayor que 0 grados y menor que 90 grados con el eje de la dirección del flujo de oxígeno del interior de la lanza 5.

En la figura 3d, se disponen dos o más, y preferiblemente de dos a ocho boquillas 34 a lo largo del perímetro de la lanza 5, en la proximidad del extremo caliente de la lanza 5, formando cada una de ellas un ángulo de entre 30 a 90 grados, preferiblemente un ángulo de entre 30 a 60 grados, con respecto al sentido contrario de la dirección del flujo de oxígeno del interior de la lanza 5.

En éstas y en otras realizaciones de la lanza, las boquillas que atraviesan el lado de la lanza se pueden disponer según una circunferencia, o según más de una.

El ángulo óptimo de la inyección del oxígeno para el control del NOx depende del momento tangencial y radial del aire circundante, de la geometría del puerto del quemador y de la naturaleza del patrón del flujo de aire del quemador en la proximidad de la lanza de oxígeno. Por lo tanto, para la obtención de unos mejores resultados en quemadores que tienen un bajo momento radial de aire, el ángulo óptimo es de 90° o mayor con respecto al eje del quemador, mientras que la obtención de mejores resultados en quemadores que tienen un momento radial mayor requerirá, por lo general, que el ángulo se reduzca al objeto de evitar que se mezcle el oxígeno con la corriente de aire. Con flujos de aire muy radiales, el ángulo óptimo es de 15° o inferior (inyección principalmente radial). Para los quemadores que utilizan técnicas que generan una gran componente del flujo de aire en la dirección radial, tales como una elevada turbulencia con un puerto de quemador divergente poco profundo o como los deflectores de aire, son óptimas las boquillas de oxígeno que están inclinadas fundamentalmente según la dirección radial (ángulo de menos de 30° con respecto al eje). Para los quemadores en los que el flujo de aire es predominantemente axial (es decir, la componente radial del flujo de aire es pequeña o no existente), se prefiere inyectar el oxígeno en la dirección radial (ángulos entre 45° y 135° con respecto a la componente del flujo axial).

La puesta en práctica de la presente invención de acuerdo a una forma tal y como la que se describe en la presente memoria, que suministra el oxígeno de manera que se quema con el carbón en la zona rica en combustible de la llama, proporciona la ventaja de una reducción en la formación de NOx, junto con los beneficios de una reducción en el contenido de carbono de la ceniza.

Se proporcionan a continuación los detalles de las pruebas y las condiciones de simulación.

Ejemplo 1

Un quemador de aire-carbón de bajo NOx se hizo funcionar a aproximadamente 1.172 kW (4 MMBtu/hr) en un horno de prueba recubierto con material refractario, con unas dimensiones internas de aproximadamente 1,10 m (3.6 ft) de anchura x 1,10 m (3.6 ft) de altura y 12,5 m (41 ft) de longitud. Se dispusieron un par de puertos de aire secundario a una distancia de aproximadamente 3,20 m (10.5 ft) con respecto a la salida del quemador. El quemador es similar al que se muestra en la figura 2 y se compone de un conducto redondeado central y de diferentes conductos anulares para las corrientes de carbón, aire, oxígeno y gas natural. El conducto central se utilizó para la inserción de una lanza de oxígeno de 4,8 cm (1.9") de diámetro exterior y de 3,8 cm (1.5") de diámetro interior, o bien se cerró para proporcionar un cuerpo sin efecto al objeto de mejorar la recirculación de gas para la estabilidad de la llama. El carbón y el aire primario se inyectaron por el primer conducto anular de 7,793 cm (3.068") de diámetro exterior y de 4,8 cm (1.9") de diámetro interior. El segundo conducto anular de 10,23 cm (4.026") de diámetro exterior y de 8,9 cm (3.5") de diámetro interior se utilizó para la inyección de gas natural o de oxígeno. Los conductos anulares tercero (15,40 cm (6.065") de diámetro exterior y de 11,43 cm (4.5") de diámetro interior) y cuarto (20,27 cm (7.981") de diámetro exterior y de 16,83 cm (6.625") de diámetro interior) se utilizaron para los flujos de aire secundario y terciario, y se equiparon con generadores de turbulencia variable al objeto de transmitir flujos turbulentos. El generador está diseñado para proporcionar una condición de combustión por etapas desde el punto de vista aerodinámico. Las velocidades axiales del aire primario y del aire secundario son similares al objeto de proporcionar una mezcla lenta del aire secundario con la corriente de carbón. El aire terciario tiene una velocidad significativamente mayor que la del aire secundario. Por lo tanto, el aire secundario proporciona una "zona intermedia" para la mezcla entre el aire terciario y la corriente de carbón. Se genera una zona de combustión rica en combustible relativamente extensa a lo largo del eje del quemador, con una mezcla relativamente gradual del aire secundario y el terciario a lo largo de la longitud del horno.

El oxígeno se inyectó a través de una lanza redondeada situada en el eje del quemador. Se utilizó una boquilla de oxígeno, que tiene ocho orificios radiales de 0,64 cm (1/4 pulgada) de diámetro y cuatro orificios axiales de 0,64 cm (1/4 pulgada) de diámetro, para la inyección de oxígeno y para la mezcla con la corriente de carbón circundante anular.

Sin adición de oxígeno en el quemador, la pérdida por ignición (LOI) de las muestras de ceniza recogidas en el horno en la proximidad del puerto de escape, fue ligeramente superior al 10 % en peso. Por medio de la adición del oxígeno en el quemador que se corresponde con la sustitución del 10 % del aire de combustión, la pérdida por ignición fue de aproximadamente el 7,5 % en peso, lo que representa una reducción de aproximadamente el 25 %.

Ejemplo 2

Un quemador comercial de aire-carbón de bajo NO<sub>x</sub>, el quemador RSFC™ descrito en la patente de EE.UU. nº 5.960.724, se hizo funcionar a aproximadamente 7.034 kW (24 MMBtu/hr) en un horno de prueba recubierto con material refractario, con unas dimensiones internas de aproximadamente 2,29 m (7.5 ft) de anchura x 2,29 m (7.5 ft) de altura y 10,4 m (34 ft) de longitud. Se dispusieron un par, o dos pares opuestos, de puertos de aire secundario a una distancia de aproximadamente 7,92 m (26 pies) con respecto a la salida del quemador. El quemador se compone de un conducto redondeado central y de diferentes conductos anulares para las corrientes de carbón, aire y oxígeno. El conducto central se utilizó para la inserción de una lanza de oxígeno de 4,8 cm (1.9") de diámetro exterior y de 3,8 cm (1.5") de diámetro interior. El carbón y el aire primario se inyectaron a través del primer conducto anular. Los conductos anulares segundo, tercero y cuarto se utilizaron para los flujos de aire secundario, terciario y cuaternario, y se equiparon con generadores de turbulencia variable al objeto de transmitir flujos turbulentos. El quemador está diseñado para proporcionar una condición de combustión por etapas desde el punto de vista aerodinámico. Se genera una zona de combustión rica en combustible relativamente extensa a lo largo del eje del quemador, con una mezcla relativamente gradual del aire terciario y el cuaternario a lo largo de la longitud del horno.

El oxígeno se inyectó a través de una lanza redondeada situada en el eje del quemador. Se utilizó una boquilla de oxígeno, con ocho orificios radiales de 9,5 mm (3/8 pulgada) de diámetro y cuatro orificios axiales de 9,5 mm (3/8 pulgada) de diámetro, para la inyección de oxígeno y para la mezcla con la corriente de carbón anular adyacente. La cantidad de oxígeno inyectada osciló entre el 5 y el 10 % del oxígeno estequiométrico. Cuando se inyectó el oxígeno, se retiró la cantidad de aire estequiométricamente equivalente de las corrientes de aire secundario, terciario y cuaternario al objeto de mantener la misma zona de combustión primaria y la misma relación estequiométrica de combustión total (relación estequiométrica = 1,15) (SR = 1,15, stoichiometric ratio, por sus siglas en inglés). La velocidad del flujo de aire primario se mantuvo constante a aproximadamente SR = 0,20. El aire secundario para la división por etapas de la combustión global se inyectó en dirección perpendicular al eje del horno desde dos a cuatro puertos de aire directamente opuestos.

Se optimizó la configuración de las paletas de turbulencia ajustables para los flujos de aire secundario, terciario y cuaternario al objeto de proporcionar las menores emisiones de NO<sub>x</sub> cuando sólo se funcionaba con aire, y se utilizó esa misma configuración cuando se inyectó oxígeno. Las pruebas se llevaron a cabo en un horno de prueba a escala. Se resumen a continuación las condiciones de la prueba.

- Velocidad de funcionamiento: 7.034 kW (24 MMBtu/hr)
- Tipo de carbón: carbón bituminoso altamente volátil de la mina nº 6 de Illinois
- Tamaño de partícula: carbón molido pulverizado estándar
- Relación estequiométrica total: 1,15
- Relación estequiométrica de la zona primaria: varía entre 0,7 y 1,15
- Oxígeno inyectado: 5 y 10 % de la relación estequiométrica de aire reemplazado
- Promedio. 21,7 y 22,5 % de O<sub>2</sub>

La figura 4 muestra los resultados en función del carbono sin quemar en las muestras recogidas de ceniza en el conducto de escape que sigue a la sección convectiva del horno de prueba.

A pesar de que existe una considerable dispersión en los datos, el carbono sin quemar (UBC) en la ceniza se redujo aproximadamente en un 50 a un 70 % con un 5 % de O<sub>2</sub> de sustitución del aire estequiométrico, y aproximadamente en un 60 a un 80 % con un 10 % de O<sub>2</sub> de sustitución del aire estequiométrico. Teniendo en cuenta que la cantidad de oxígeno utilizada con respecto al total de aire de combustión (21,7 y 22,5 % de enriquecimiento en O<sub>2</sub>) fue menor que la de las pruebas de Farmayan et al. (22 y 24 % de O<sub>2</sub>) con suspensión acuosa de carbón, estos resultados fueron realmente sorprendentes. Además, el beneficio en el UBC del presente método de combustión mejorada de oxígeno se obtuvo para todas las relaciones estequiométricas de la primera zona probadas. El consumo de carbono mejorado de la presente intención se obtuvo bajo condiciones normales, es decir, condiciones de combustión sin etapas, así como bajo condiciones de combustión por etapas de bajo NO<sub>x</sub>.

Ejemplo 3

Se llevó a cabo una prueba a gran escala en un generador de vapor subcrítico Riley Stoker con una capacidad de 44 MW. La unidad se equipó con 3 pulverizadores de carbón Attrita. Se dispusieron seis quemadores de aire-carbón de bajo NO<sub>x</sub> DB Riley CCV™ a dos alturas sobre la pared frontal de la caldera. Se dispuso un sistema de aire secundario (OFA, overfire air, por sus siglas en inglés) compuesto de 5 puertos a una única altura sobre la hilera superior de quemadores.



Cada uno de los quemadores estaba compuesto por un conducto redondeado central y dos conductos anulares para la corriente de aire primario que transporta carbón y para una segunda corriente de aire secundario. El conducto central se utilizó para la inserción de una lanza de oxígeno de 4,8 cm (1.9") de diámetro exterior y de 3,8 cm (1.5") de diámetro interior. El carbón y el aire primario se inyectaron a través del primer conducto anular, el cual estaba  
 5 equipado con un concentrador de carbón de Venturi y con cuatro paletas distribuidoras de carbón, situadas según un ángulo de 30 grados con respecto al eje del quemador. El segundo conducto anular se utilizó para el flujo de aire secundario y se equipó con generadores de turbulencia variable al objeto de transmitir un flujo turbulento. El quemador está diseñado para proporcionar una condición de combustión por etapas desde el punto de vista aerodinámico. Se genera una zona de combustión rica en combustible relativamente extensa a lo largo del eje del quemador, con una mezcla relativamente gradual del aire secundario a lo largo de la longitud del horno.  
 10

El oxígeno se inyectó a través de una lanza redondeada situada en el eje del quemador. Se utilizaron dos tipos diferentes de lanzas de oxígeno para la inyección de oxígeno y para la mezcla con la corriente de carbón anular adyacente. La lanza tipo A era un conducto recto con extremo abierto. La lanza tipo B tenía tres hileras de boquillas de oxígeno radiales en la proximidad del extremo de inyección. La cantidad de oxígeno inyectado varió entre el 2 y el 8 % del oxígeno estequiométrico. Cuando se inyectó el oxígeno, se retiró la cantidad de aire estequiométricamente equivalente de la corriente de aire secundario al objeto de mantener la misma relación estequiométrica en la zona de combustión primaria. La velocidad del flujo de aire primario se mantuvo constante a aproximadamente  $SR = 0,17$ .  
 15

Se resumen a continuación las condiciones de la prueba.  
 Velocidad de funcionamiento: 76.326 kW (90 MMBtu/hr) por quemador  
 Tipo de carbón: carbón bituminoso altamente volátil de la mina de Bowie  
 Tamaño de partícula: carbón molido pulverizado estándar  
 Relación estequiométrica de la zona primaria: varía entre 0,85 y 1,15  
 20 Oxígeno inyectado: Del 2 al 8 % de la relación estequiométrica de aire reemplazado  
 Promedio. 21,3 y 22,2 % de  $O_2$   
 25

Se recogieron muestras de ceniza del gas de escape tras la sección del economizador bajo condiciones específicas para el análisis de la pérdida por ignición (LOI). En las figuras 5 y 6 se muestran los datos representativos sobre el efecto de las etapas y de la inyección de oxígeno en la LOI. A medida que se redujo la relación estequiométrica en el quemador desde una condición sin etapas hasta aproximadamente 0,92 para las condiciones de funcionamiento sólo con aire, la LOI se incrementó de forma significativa. Cuando la relación estequiométrica en el quemador se redujo de forma adicional hasta aproximadamente 0,85 y se añadió una pequeña cantidad de oxígeno, correspondiente al 2 al 8 % del oxígeno estequiométrico, la LOI se redujo de forma significativa. Ambas lanzas de oxígeno de tipo A y tipo B funcionaron igualmente bien y se observaron pocas diferencias en la LOI.  
 30  
 35

La figura 6 muestra los cambios en la LOI como función de la cantidad de oxígeno inyectado para los casos de combustión por etapas, con una relación estequiométrica de la zona de combustión primaria de entre 0,85 y 0,96. La LOI disminuyó ligeramente a medida que la cantidad de oxígeno se incrementó desde el 2 % hasta el 4 % del oxígeno estequiométrico, y se observaron pocos cambios adicionales entre el 4 y el 8 %. Por tanto, en este ejemplo, el intervalo económicamente óptimo de adición de oxígeno pareció estar entre el 2 % y el 4 % del oxígeno estequiométrico.  
 40

La reducción significativa de la LOI observada en los ejemplos anteriores es realmente muy sorprendente a la vista de las patentes de EE.UU. nº 4.495.874 y nº 4.596.198, las cuales presentan cambios menores en la temperatura del horno o en la deposición de escoria con un 1 % de enriquecimiento (un 1 % de enriquecimiento en oxígeno es equivalente, aproximadamente, a una inyección del 8 % del oxígeno estequiométrico). Sin la intención de verse limitado por ninguna de las explicaciones particulares del rendimiento inesperado de esta invención, la inyección directa de oxígeno a través del quemador hasta el interior del dispositivo de combustión, sin que el oxígeno se haya mezclado antes con el aire, en la proximidad de la corriente de carbón, en lugar de enriquecer el aire por medio de la premezcla de oxígeno con la corriente de aire, se considera que es una etapa crítica.  
 45  
 50

Cuando el oxígeno se premezcla o se mezcla rápidamente en el interior de la corriente de transporte de carbón (es decir, la corriente de aire primario) utilizando un 20 % del aire estequiométrico y la relación estequiométrica de combustión total se mantiene constante a 1,15 por medio de la reducción de la cantidad de aire estequiométricamente equivalente del aire secundario y terciario (\*), se determinan las siguientes concentraciones de oxígeno en la corriente de aire de transporte y en el aire de combustión total.  
 55

## ES 2 601 702 T3

% del estequiométrico en la combustión con aire reemplazado por O <sub>2</sub> (*)	Concentración de O <sub>2</sub> en el aire de transporte (% en vol.)	Concentración promedio de O <sub>2</sub> en el aire total (% en vol.)
0	21,0	21,0
5	24,9	21,7
10	28,5	22,5
15	31,7	23,4
20	34,7	24,3

(\* por ejemplo, 0,14 m<sup>3</sup> (5 cf) de aire reemplazados por 0,0297 m<sup>3</sup> (1.05 cf) de O<sub>2</sub> puro para proporcionar la misma cantidad de O<sub>2</sub>)

5 Debido a la pequeña cantidad de oxígeno utilizada, sólo se consiguen unos incrementos modestos de la concentración de oxígeno del aire cuando se mezclan de forma uniforme, incluso cuando el oxígeno se mezcla sólo con el aire de transporte (es decir, el aire primario). Además, la mezcla del oxígeno en el interior del aire de transporte de carbón aumenta el riesgo de una ignición prematura de las partículas de carbón en el interior de la tubería de carbón, y surge un problema de seguridad. Un método preferido es la inyección de oxígeno en el interior de la corriente de carbón/de aire primario en el extremo de la boquilla. En este caso, algunas de las partículas de carbón se mezclan con chorros de oxígeno y se generan localmente zonas de mezcla de carbón de elevado O<sub>2</sub>. Tales condiciones pueden proporcionar zonas de fuentes de ignición rápida y facilitar la ignición temprana y la desgasificación, en comparación con el caso en el que el oxígeno se premezcla con la corriente de aire de transporte.

10 Otro método preferido es la inyección de oxígeno desde el espacio anular interior o exterior adyacente a la corriente de carbón. En este caso, la condición favorable de combustión rica en oxígeno se proporciona en la frontera entre las corrientes de carbón y oxígeno.

15 Cuando el oxígeno se inyecta de forma separada a elevada velocidad, en paralelo a la corriente de combustible, como ocurre en el caso de Farmayan et al., el chorro de oxígeno, o chorros de oxígeno, puede quedar diluido rápidamente con los gases circundantes y su eficacia puede verse retardada. Por lo tanto, el método de inyección de oxígeno se tiene que diseñar de forma cuidadosa.

20 Otro método potencial para la invención propuesta es el precalentamiento del oxígeno que entra. El oxígeno precalentado, con temperaturas de hasta 871,1 °C – 982,2 °C (1.600 °F – 1.800 °F), aumentará la temperatura de la zona rica en combustible, mejorará la combustión en esta zona y aumentará la desgasificación. Las cuestiones relativas al material de las tuberías de proceso limitarán la temperatura superior.

25 A pesar de que la presente invención se ha descrito haciendo referencia principalmente a calderas de calentamiento por pared, del tipo de la que se ilustra en las figuras 1 y 2, esta descripción no tiene la intención de dar a entender que la invención está limitada, en cuanto a su aplicabilidad, a este tipo de sistema de combustión. En su lugar, la invención es aplicable a otros sistemas en los que se queman combustible y aire, incluyendo, sin limitación, sistemas de calentamiento tangencial del tipo descrito con respecto a las figuras 7A – 7C, y sistemas de combustión conocidos en la técnica como hornos “de ciclón”, en los que la zona de combustión primaria del horno incluye uno o más alojamientos, teniendo cada uno de ellos una pared cilíndrica, una pared de extremo cerrada, y un extremo abierto que desemboca en la cámara principal del horno a través de una pared del horno, en los que combustible, aire de combustión y oxidante (suministrados hasta el interior del combustible en las cantidades que se enseñan en la presente memoria) se suministran a través de la pared cilíndrica y de la pared de extremo hasta el interior del alojamiento en una dirección tal que giran alrededor del eje central de giro del alojamiento y se queman para generar una llama y un calor combustión que se emiten a través del extremo abierto hasta el interior de la cámara principal del horno.

30 Se pueden emplear otros tipos de quemadores, además de los mostrados a modo de ejemplo en la presente memoria, tales como los denominados quemadores de corriente dividida, en los que la corriente de combustible se divide en una pluralidad de corrientes separadas unas de otras, e incluso divergentes entre sí, a medida que el combustible entra en la cámara de combustión. Con este tipo de quemador, el oxígeno se suministra desde de una correspondiente pluralidad de lanzas hasta el interior de cada corriente de combustible, o desde una lanza con una pluralidad de boquillas orientadas hacia cada corriente de combustible, y los requisitos estequiométricos de oxígeno son función de las cantidades totales de combustible y oxígeno que se suministran.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un método de combustión de carbón y de generación de una ceniza que tiene un reducido contenido de carbono, que comprende proporcionar un dispositivo de combustión (1), suministrar aire y una corriente no acuosa de carbón a través de un quemador (9) hasta el interior de dicho dispositivo (1), y quemar el carbón en el dispositivo de combustión (1) en una llama (13) que tiene una zona de combustión rica en combustible (12), a la vez que se suministra oxígeno en forma de corriente gaseosa que contiene al menos un 35 % en volumen de oxígeno hasta el interior de dicho carbón a medida que el carbón sale de dicho quemador (9), de manera que dicho oxígeno se quema con dicho carbón en la zona de combustión rica en combustible (12) de dicha llama (13), en una cantidad de dicho oxígeno que es menor que el 20 % de la cantidad estequiométrica requerida para la combustión completa de dicho carbón y que mantiene rica en combustible la zona rica en combustible (12), en el que el contenido de carbono de la ceniza generada por medio de dicha combustión es menor que el contenido de carbono de la ceniza generada por medio de la combustión llevada a cabo sin dicha etapa de suministro de oxígeno, sino bajo cualesquiera otras condiciones idénticas, que comprende además la adición de aire desde una fuente (14) distinta a dicho quemador hasta el interior de una zona situada dentro de dicho dispositivo de combustión y en el exterior de dicha llama (13), en una cantidad que contiene oxígeno suficiente para que la cantidad total de oxígeno suministrado hasta el interior de dicho dispositivo (1) sea al menos la cantidad estequiométrica que se requiere para la combustión completa de dicho carbón; caracterizado por que dicho oxígeno se suministra hasta el interior de dicho carbón por medio de su inyección a través de una lanza (20) hueca, situada en dicha corriente, hasta el interior del carbón, a medida que el carbón sale del quemador (9), o por medio de su inyección a través un conducto anular que está rodeado por un conducto anular (6) de carbón, a través del cual se suministra dicha corriente de carbón, o por medio de la inyección de dicho oxígeno directamente hasta el interior de dicho carbón a través de una lanza (20) que tiene un extremo cerrado y múltiples boquillas (32) en la proximidad del extremo de la lanza (20).
- 10
- 15
- 20
- 25 2. Un método según la reivindicación 1, en el que la cantidad de oxígeno suministrada es menor que el 15 % de la cantidad estequiométrica requerida para la combustión completa de dicho carbón.
3. Un método según la reivindicación 1, en el que la cantidad de oxígeno suministrada es menor que el 10 % de la cantidad estequiométrica requerida para la combustión completa de dicho carbón.
- 30 4. Un método según la reivindicación 1, en el que la cantidad de oxígeno suministrada es menor que el 5 % de la cantidad estequiométrica requerida para la combustión completa de dicho carbón.

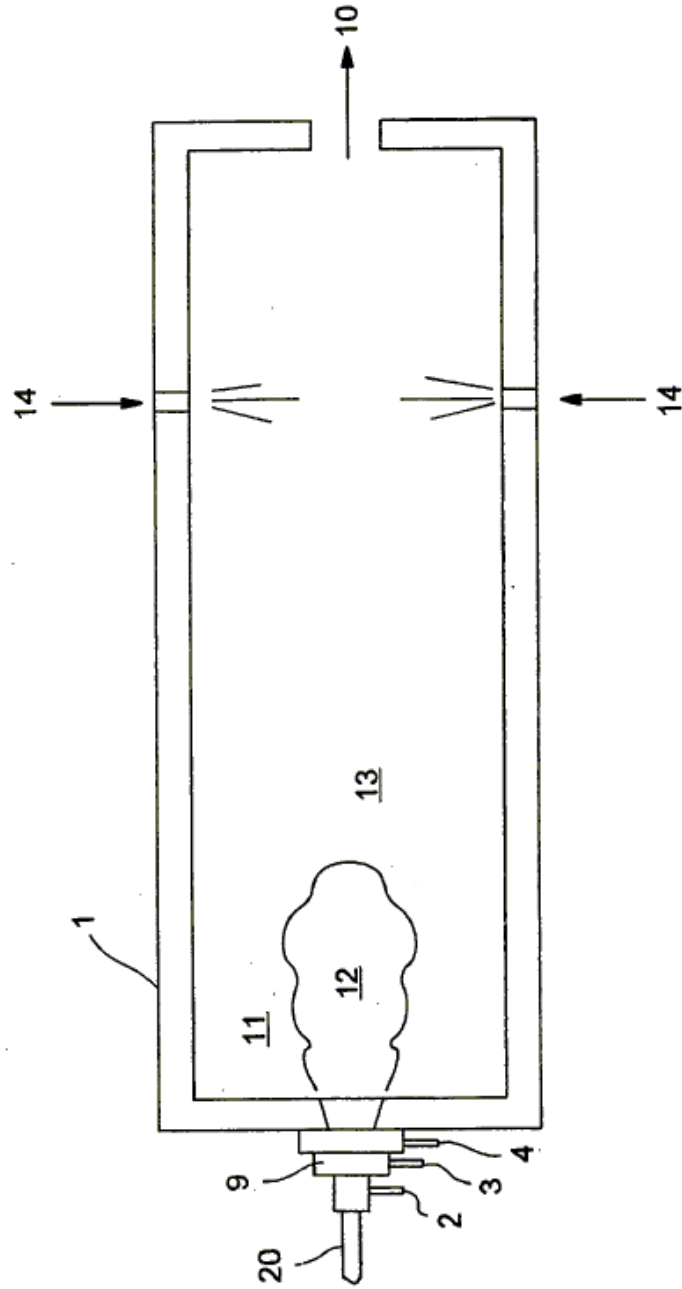


FIG. 1

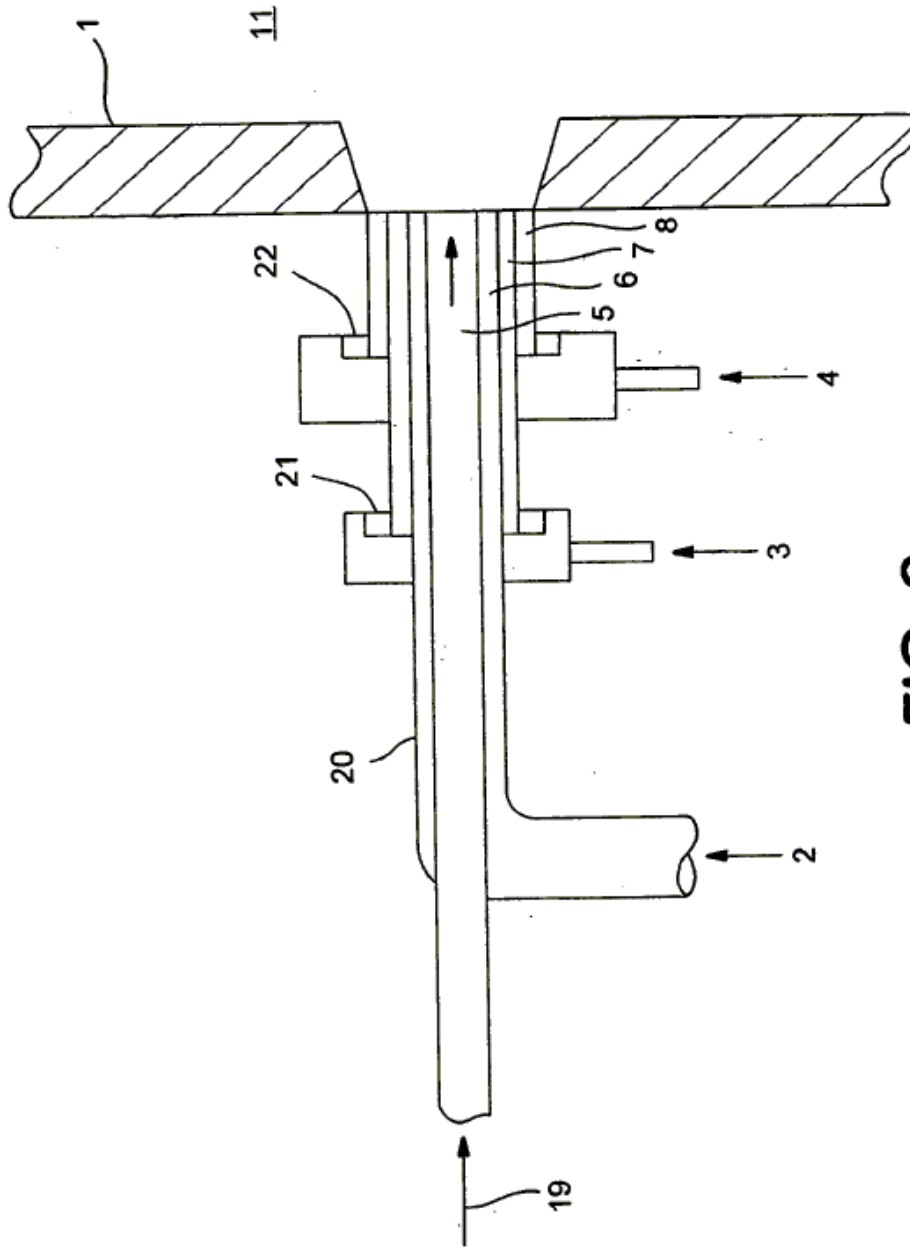
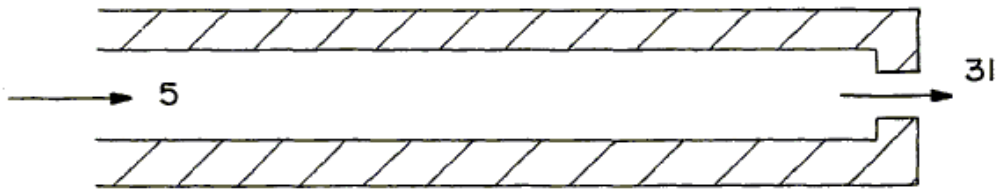
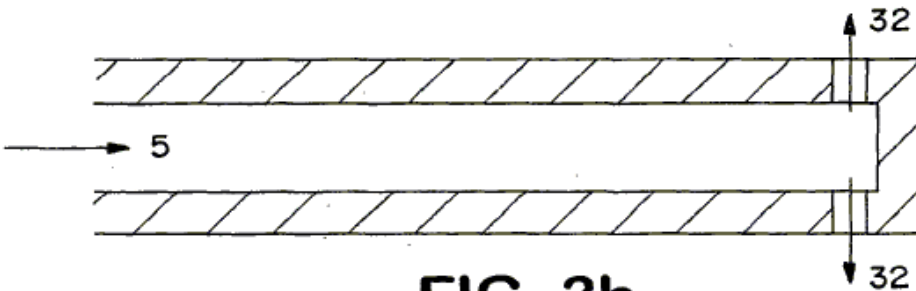


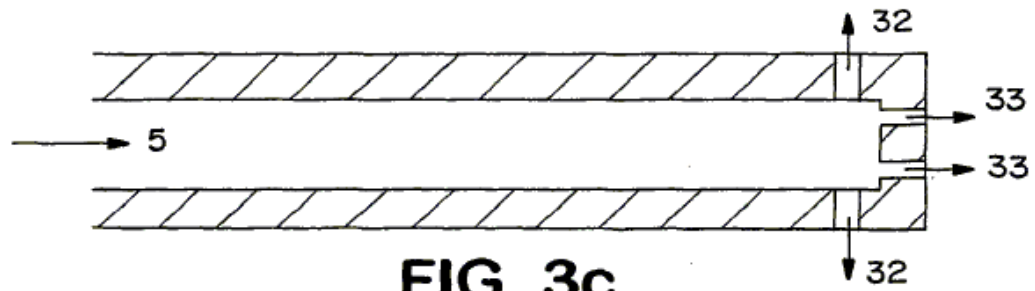
FIG. 2



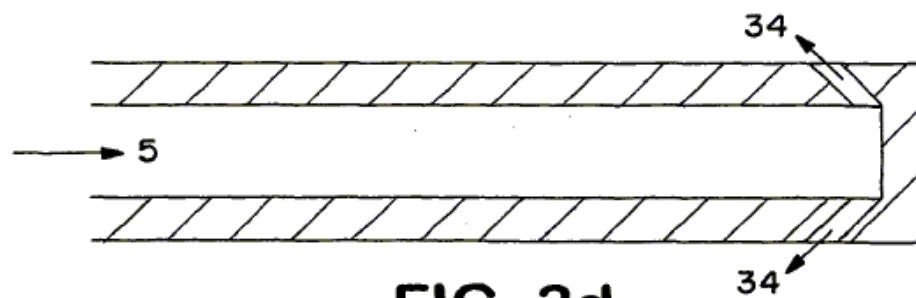
**FIG. 3a**



**FIG. 3b**



**FIG. 3c**



**FIG. 3d**

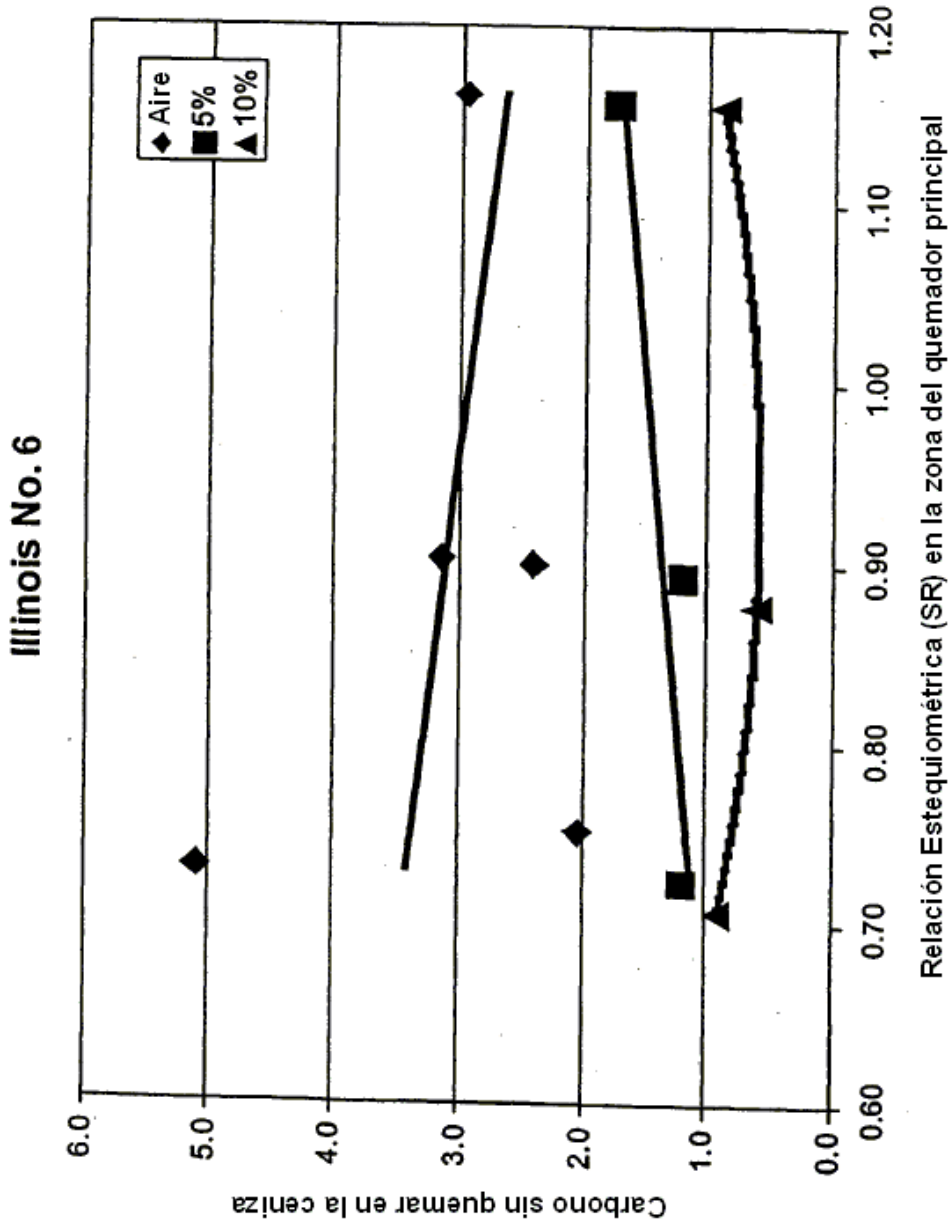
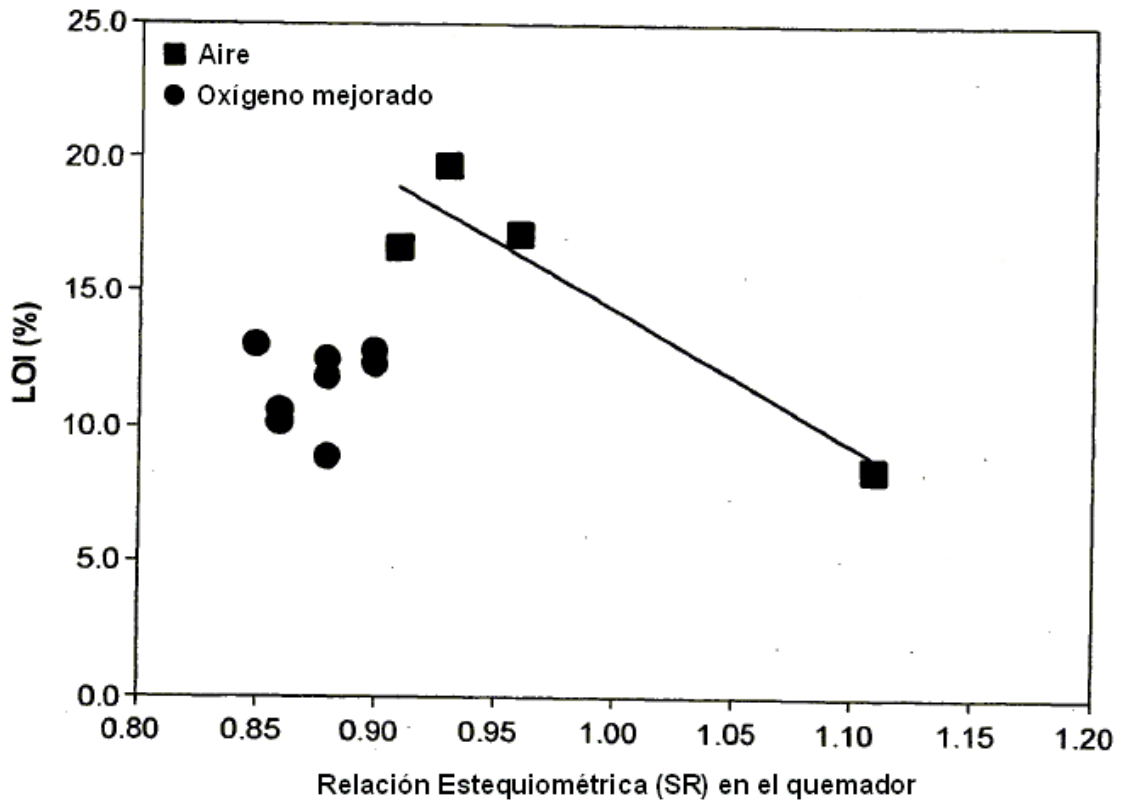
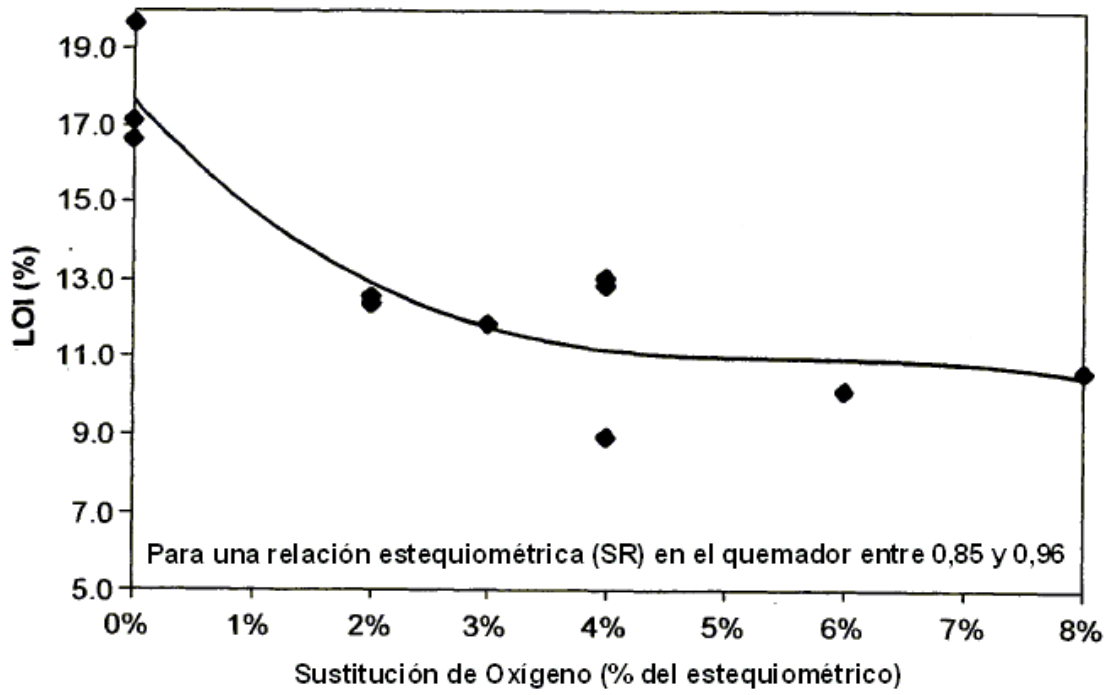


FIG. 4



**FIG. 5**





**FIG. 6**

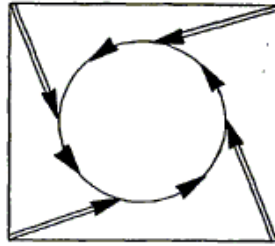


FIG. 7b

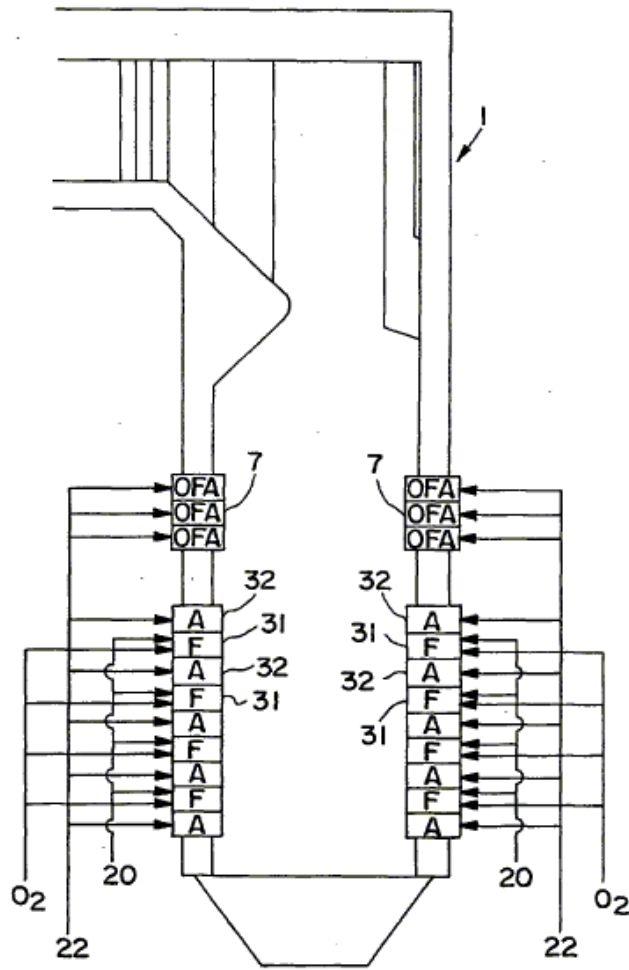
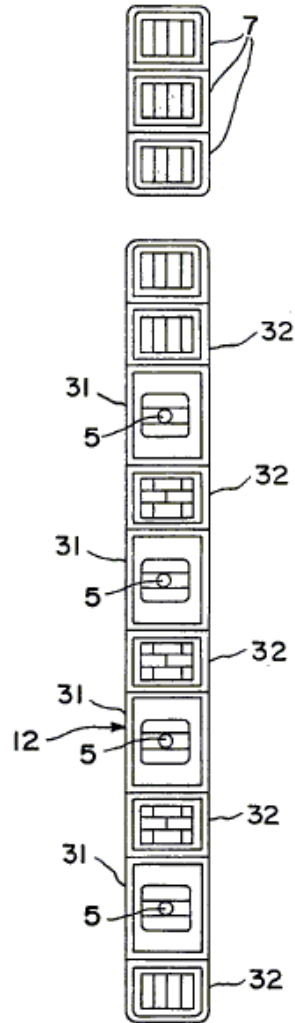


FIG. 7a



**FIG. 7c**