



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 358 328**

51 Int. Cl.:
B01D 53/56 (2006.01)
F23J 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04256968 .1**
96 Fecha de presentación : **10.11.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1530994**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.05.2005**

54 Título: **Procedimiento y aparato para reducir NO_x de gases de escape inyectando agente reductor en el aire de sobre fuego.**

30 Prioridad: **13.11.2003 US 705820**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
09.05.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
09.05.2011

73 Titular/es: **GENERAL ELECTRIC COMPANY**
1 River Road
Schenectady, New York 12345, US

72 Inventor/es: **Payne, Roy;**
Lissianski, Vitali Victor;
Swanson, Larry William;
Zhou, Wei y
Zamansky, Vladimir M.

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 358 328 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

- 5 La presente invención se refiere a los controles de emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) para sistemas de combustión tales como calderas, hornos, incineradores y otros sistemas de combustión grandes (denominados conjuntamente en este documento "calderas"). En particular, la invención se refiere a la reducción de emisiones de NOx mediante la reducción selectiva de óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular.
- 10 Las emisiones de humo de calderas se eliminan o al menos se reducen enormemente mediante el uso de la tecnología de aire de sobre fuego (OFA). El OFA escalona el aire de combustión de forma que la mayoría del aire desemboca en una cámara de combustión primaria de la caldera y una parte del aire de combustión se desvía a una zona de abrasamiento conectada aguas abajo de la llama. El aire OFA facilita la combustión de partículas de humo y precursores de partículas de humo.
- 15 Otros tipos de contaminantes del aire producidos por la combustión incluyen óxidos de nitrógeno, principalmente NO y NO₂. Los óxidos de nitrógeno (NOx) son objeto de preocupación creciente debido a su toxicidad y su función como precursores en la lluvia ácida y procedimientos de smog fotoquímico. Hay una necesidad sentida de técnicas rentables para reducir las emisiones de NOx generadas por calderas.
- 20 Una técnica de reducción de NOx convencional es la reducción selectiva no catalítica (SNCR) que inyecta un agente de nitrógeno en el gas de escape en condiciones que producen una reacción no catalítica para reducir selectivamente NOx a nitrógeno molecular. La reducción de NOx es selectiva debido a que una gran parte del oxígeno molecular en el gas de escape no se reduce. En SNCR, un reactivo que lleva nitrógeno, por ejemplo, HN₃, urea o un compuesto de amina se inyecta en la corriente de gas de escape a una temperatura óptima para la reacción de radicales NH₂ y NH con NO reduciéndolo a nitrógeno molecular. La temperatura óptima para tales reacciones se centra a aproximadamente 1800 °F (982 °C). A temperaturas sustancialmente mayores, el reactivo puede oxidarse a NO. A temperaturas sustancialmente menores, el reactivo puede pasar a través de los gases de escape sin reaccionar, produciendo amoniaco no reaccionado. Un intervalo óptimo de temperaturas para reducir NOx usando los procedimientos de SNCR es estrecho y generalmente de aproximadamente 1600 °F (871 °C) a aproximadamente 2000 °F (1093 °C), refiriéndose "aproximadamente" a una diferencia de temperatura más o menos de 25 grados.
- 25 Los gases de escape alcanzan temperaturas por encima de 2000 °F (1093 °C), pero se enfrían cuando pasan de nuevo por la caldera. Para permitir que los gases de escape se enfríen antes de que se libere el agente de nitrógeno se han desarrollado esquemas para inyectar gotitas relativamente grandes o partículas del agente en el gas de escape tales como con el aire de sobre fuego. Las gotitas grandes y las partículas están dimensionadas de manera que liberan el agente de nitrógeno después de enfriarse el gas de escape. Véase la patente de EE.UU. n° 6.280.695. Las gotitas grandes retrasan la liberación del reactivo en la corriente de gas de escape hasta que la temperatura aparente del gas de escape se enfría hasta una ventana de temperatura de aproximadamente 1600 °F (871 °C) a 2000 °F (1093 °C).
- 30 La presente invención se define en la reivindicación 1.
- 35 La presente invención proporciona en una realización un procedimiento para eliminar óxidos de nitrógeno inyectando agente reductor en una corriente de gas a la vez que simultáneamente se minimiza el amoniaco no reaccionado.
- La invención se describirá ahora en mayor detalle a modo de ejemplo con referencia a los dibujos en los que:
- La FIGURA 1 es una vista lateral esquemática de un sistema de combustión que tiene un inyector de agente de nitrógeno en un puerto de aire de sobre fuego.
- La FIGURA 2 es una gráfica de temperatura del gas de escape de combustión frente al tiempo.
- 40 Las FIGURAS 3 a 6 son diagramas que muestran el efecto sobre los niveles de emisión de NOx debido a la inyección de un agente de nitrógeno gaseoso (NH₃) a diferentes relaciones estequiométricas y diferentes temperaturas del gas de escape.
- La FIGURA 7 es una tabla de predicciones generadas por ordenador de reducciones de las emisiones de NOx para diversos tamaños de gotita del agente de nitrógeno, temperaturas del gas de escape y otros parámetros de operación de la caldera.
- 45 La FIGURA 8 es un diagrama de predicciones generadas por ordenador de reducciones de las emisiones de NOx para diversos tamaños de gotita del agente de nitrógeno y temperaturas del gas de escape.
- 50 Un reactivo de nitrógeno (un "agente de nitrógeno") que lleva gotitas gaseosas o pequeñas (inferiores a 50 micrómetros de diámetro) se introduce con aire de combustión escalonado, por ejemplo, aire OFA, aguas abajo de la zona de combustión primaria para reducir el NOx en el gas de escape de una caldera. En la combustión escalonada, una parte del aire requerido para completar la combustión (aire de sobre fuego) se inyecta aguas abajo del procedimiento de combustión primario tal como donde los productos del gas de escape de la combustión primaria se han enfriado hasta aproximadamente 2400 °F (1316 °C) a 2600 °F (1427 °C). El agente de nitrógeno en forma gaseosa o gotitas pequeñas (aproximadamente <50 micrómetros) en una solución acuosa se introduce junto con el aire escalonado en el gas de escape extremadamente caliente. El aire de combustión escalonado y el agente de nitrógeno se calientan rápidamente hasta la temperatura del gas de escape a más de 2000 °F (1093 °C).

5 Se ha hecho el sorprendente descubrimiento que la reducción de NOx puede lograrse con SNCR mediante una liberación de un agente de nitrógeno gaseoso o de gotitas pequeñas en un área en o próxima a la del inyector de OFA en la que la temperatura aparente del gas de escape es demasiado caliente para la óptima SNCR. Un agente de nitrógeno de amoniaco gaseoso o gotitas pequeñas, por ejemplo, diámetro promedio inferior a aproximadamente 50 micrómetros, se inyecta en el sistema de OFA antes de o simultáneamente con el mezclado de aire OFA con el gas de escape que contiene NOx. El gas de agente de nitrógeno o las gotitas pequeñas proporcionan una rápida liberación de reactivo de nitrógeno tal como en un periodo inferior a aproximadamente 0,1 a 0,3 segundos. La liberación de nitrógeno se produce cuando la mezcla de agente de nitrógeno relativamente frío y el aire de sobre fuego se calienta por gases de escape a través de una ventana de temperatura óptima para SNCR y a temperaturas más calientes. El nitrógeno puede estar dentro de la ventana de temperatura óptima durante un corto periodo, por ejemplo, 0,1 a 0,3 segundos. Introduciendo el agente de nitrógeno como gas o gotitas pequeñas, el agente se libera rápidamente durante el breve periodo de la ventana de temperatura óptima. La rápida liberación garantiza que el agente de nitrógeno se ponga en contacto con el NOx en el gas de escape cuando el agente está dentro de la ventana de temperatura óptima. Además, la liberación se produce próxima a la entrada al inyector de aire de sobre fuego en la que se produce el vigoroso mezclado entre corrientes de chorro de aire de sobre fuego y de gas de escape.

10 El tamaño de gotita del agente se ajusta de manera que la vida promedio de la gotita en el gas de escape y OFA sea igual al periodo de la ventana de temperatura óptima y/o al periodo durante el cual el aire de sobre fuego se mezcla con el gas de escape de combustión. En general, un tamaño promedio inicial adecuado de las gotitas inyectadas en el aire de sobre fuego es inferior a aproximadamente 50 micrómetros de diámetro. El tamaño de gotita preferido es un tamaño de las gotitas cuando se inyectan en el aire de sobre fuego, por ejemplo, el tamaño de las gotitas antes de la evaporación. Preferentemente, la vida promedio de la gotita es inferior a de aproximadamente un décimo (0,1) a 0,3 de un segundo.

15 La FIGURA 1 es una representación esquemática de un sistema 10 de combustión tal como se usa en una caldera calefactada con carbón y adaptado para los procedimientos de la presente invención. El sistema 10 de combustión incluye una zona 12 de combustión, una zona 14 de postcombustión y una zona 16 de abrasamiento. La zona 12 de combustión está equipada con al menos una, y preferentemente una pluralidad, de quemadores 18 principales que se suministran con un combustible principal tal como carbón mediante una entrada 20 de combustible y con aire por una entrada 22 de aire. El combustible principal se quema en la zona 12 de combustión para formar un gas 24 de escape de combustión que circula de la zona de combustión hacia la zona 16 de abrasamiento en una "dirección aguas abajo".

20 Si no hay zona de postcombustión, entonces toda la fuente de calor, por ejemplo, el carbón, se inyecta en la zona de combustión por los quemadores 18 principales. Si una zona 14 de postcombustión se incluye en el sistema de combustión, normalmente aproximadamente del 70 % al 95 % de la entrada de calor total se suministra por los quemadores 18 principales, y del 5 % al 30 % restante de calor se suministra inyectando un combustible de postcombustión tal como gas natural, carbón o aceite por una entrada 26 de combustible de postcombustión. Aguas abajo de las zonas de combustión y de postcombustión se inyecta aire 28 de sobre fuego (OFA) por una entrada 30 de aire de sobre fuego en la zona 16 de abrasamiento de OFA. Aguas abajo de la zona de abrasamiento, el gas 24 de escape de combustión pasa por una serie de intercambiadores 32 de calor y un dispositivo de control de partículas (no mostrado) tal como un precipitador electrostático (ESP) o filtros de manga que elimina las partículas sólidas del gas de escape tales como la ceniza volante.

25 El gas 24 de escape de combustión se forma quemando combustibles convencionales, por ejemplo, carbón, en cualquiera de una variedad de sistemas de combustión convencionales. La zona 16 de abrasamiento se forma inyectando aire 28 de sobre fuego en una región del sistema de combustión conectada aguas abajo, es decir, en la dirección de flujo del gas de escape de combustión desde la zona de combustión. Los dispositivos de combustión que incluyen una zona de combustión para oxidar un combustible y una zona de abrasamiento pueden adaptarse para recibir una mezcla de un agente reductor de nitrógeno y aire de sobre fuego como medio para reducir las emisiones de NOx. Por ejemplo, las zonas de combustión y de abrasamiento pueden proporcionarse en una central eléctrica, caldera, horno, cámara de combustión magnetohidrodinámica (MHD), incinerador, motor u otro dispositivo de combustión.

30 Un agente 34 reductor selectivo (agente de nitrógeno o agente de N) se inyecta en el aire de sobre fuego antes de o simultáneamente con la inyección del aire 28 de sobre fuego en la zona 16 de abrasamiento. El agente de nitrógeno puede inyectarse a través de una boquilla 36 centrada u otro sistema de inyección en el centro de un flujo de aire OFA, por ejemplo, conexión del puerto 30 de entrada de OFA a la corriente de gas de escape. El puerto 30 de OFA puede comprender puertos de entrada en las esquinas de la caldera y en la que los puertos están a la misma elevación en la caldera. La boquilla 36 puede inyectar ese agente de nitrógeno en la entrada del OFA a la corriente de gas de escape o sustancialmente aguas arriba de la entrada y antes de que el OFA se mezcle con el gas de escape. Las soluciones acuosas del agente reductor selectivo pueden inyectarse en el aire OFA usando sistemas de inyección convencionales comúnmente usados para generar gotitas pequeñas. Los agentes de nitrógeno pueden inyectarse mediante inyectores de gas-líquido tales como diversos atomizadores. Los atomizadores adecuados incluyen atomizadores de doble fluido que usan aire o vapor como medio atomizante, además de atomizadores a presión adecuadamente diseñados.

35 El sistema 36 de inyección de agente de nitrógeno puede proporcionar gotitas con un tamaño promedio que puede ajustarse. La distribución de tamaño promedio inicial de las gotitas de spray puede ser sustancialmente monodispersa, por ejemplo, teniendo menos de aproximadamente el 10 % de las gotitas tamaños de gotita (es decir, diámetro) inferiores a aproximadamente la mitad del tamaño de gotita promedio, e inferiores a aproximadamente el 10 % de las gotitas que tienen un tamaño de gotita superior a aproximadamente 1,5 veces el tamaño de gotita promedio. El tamaño promedio de las gotitas

inyectadas en el OFA puede determinarse seleccionando tamaños de gotita que optimicen el tiempo de evaporación de las gotitas del agente de nitrógeno.

Los términos óxidos de nitrógeno y NOx se usan indistintamente para referirse a las especies químicas óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). Se conocen otros óxidos de nitrógeno tales como N₂O, N₂O₃, N₂O₄ y N₂O₅, pero estas especies no son emitidas en cantidades significativas por las fuentes de combustión estacionarias (excepto N₂O en algunos sistemas de combustión). El término óxidos de nitrógeno (NOx) se usa generalmente para englobar todos los compuestos de N-O binarios; sin embargo, NOx también se refiere particularmente a NO y NO₂.

Los términos agente reductor selectivo y agente de nitrógeno se usan indistintamente para referirse a cualquiera de una variedad de especies químicas que pueden reducir selectivamente NOx en presencia de oxígeno en un sistema de combustión. En general, agentes reductores selectivos adecuados incluyen urea, amoníaco, ácido cianúrico, hidracina, tanolamina, biuret, triuret, amelida, sales de amonio de ácidos orgánicos, sales de amonio de ácidos inorgánicos y similares. Ejemplos específicos de agentes reductores de sal de amonio incluyen sulfato de amonio, bisulfato de amonio, bisulfito de amonio, formiato de amonio, carbonato de amonio, bicarbonato de amonio y similares. También pueden usarse mezclas de estos agentes reductores selectivos. El agente reductor selectivo puede proporcionarse en una solución, preferentemente una solución acuosa, o como un gas. Un agente reductor selectivo preferido es urea en solución acuosa.

El ubicar un sistema de inyección de SNCR gaseoso o de gotitas pequeñas con el sistema de inyección de sobre fuego es generalmente conveniente y evita el espacio reducido y caliente en la zona de combustión primaria de una caldera u horno. El uso de aire de sobre fuego para introducir un agente de nitrógeno permite que el gas y/o las gotitas de la solución del agente se inyecten en un gas de escape que contiene NOx y que luego se calienta rápidamente hasta una temperatura apropiada para la reducción de NOx por SNCR sin los costes y el tiempo de inactividad de instalar un sistema de inyección en una región a alta temperatura de la caldera, horno u otro sistema de combustión.

La relación estequiométrica de la cantidad de agente reductor selectivo en el aire de sobre fuego con respecto a la cantidad de NOx en el gas de escape que está tratándose es aproximadamente 0,4 a aproximadamente 10, y preferentemente aproximadamente 0,7 a aproximadamente 3. La relación estequiométrica es la relación del número de moles de átomos de nitrógeno en el agente reductor selectivo con respecto al número de moles de átomos de nitrógeno en el NOx.

El agente reductor selectivo puede proporcionarse en una solución acuosa en forma de gotas optimizadas o en un gas que se inyecta en el aire de sobre fuego antes de la inyección del aire de sobre fuego a la zona de postcombustión, simultáneamente a la inyección del aire OFA a la zona de postcombustión, o ambas. La solución o el gas de agente de nitrógeno también pueden inyectarse en el OFA de un sistema de combustión sin postcombustión. La solución acuosa de agente de nitrógeno puede contener el agente reductor selectivo en cualquier concentración adecuada, tal como de aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 90 % en peso. Un intervalo de concentración preferido para urea es de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 50 % en peso.

Los agentes de nitrógeno pueden inyectarse con el OFA sin inyectar previamente combustible de postcombustión en el gas de escape. Además, los agentes de N pueden inyectarse con gas de escape recirculado que puede servir al mismo fin que el OFA. Por ejemplo, el gas de escape recirculado enriquecido con oxígeno o aire puede inyectarse junto con los agentes de N por el mismo inyector o inyectores separados.

La FIGURA 2 es una gráfica 50 que muestra el tiempo de residencia de un agente de nitrógeno en OFA y gas de escape frente a la temperatura del gas. Como se representa por la representación 52 de la temperatura de OFA media para un agente de nitrógeno que tiene gotitas inferiores a 50 micrómetros, la mezcla de agente de nitrógeno y aire OFA aumenta de aproximadamente 600 °F (316 °C) a 2.500 °F (1371 °C) en aproximadamente 0,4 segundos cuando la mezcla entra en el gas de escape desde el puerto 30 de OFA. A igual que la mezcla de aire de sobre fuego, agente de nitrógeno y gas de escape, el agente de nitrógeno se calienta a través de una ventana 54 de temperatura que es óptima para SNCR, por ejemplo, 1.600 °F (871 °C) a 2.000 °F (1093 °C). Esta ventana de temperatura es corta, por ejemplo, de aproximadamente 0,1 ó 0,2 segundos.

Durante la corta ventana 54 de temperatura de SNCR óptima, el agente de nitrógeno gaseoso o de diámetro pequeño reduce cantidades sustanciales de NOx en el gas de escape. La reducción de NOx se promueve adicionalmente si el OFA y el gas de escape se mezclan vigorosamente al mismo tiempo que el agente de nitrógeno se calienta a través de la ventana de temperatura óptima. El mezclado vigoroso y el rápido calentamiento de OFA se producen generalmente a medida que el aire de sobre fuego entra en el gas de escape desde el puerto 30 de entrada de OFA. Por consiguiente, la reducción de NOx debida a SNCR se produce cuando el aire de sobre fuego entra y se mezcla con el gas de escape. Además, parece que la inyección del agente de nitrógeno a través de una boquilla 36 en o próxima al puerto de entrada de OFA y/o alineada con el centro de la corriente de aire de sobre fuego promueve la reducción de NOx en el gas combustible. El aire OFA que protege al agente de nitrógeno reacciona inicialmente con cualquier monóxido de carbono (CO) residual que de otro modo interferiría con la química de la SNCR.

El agente de nitrógeno y el OFA se calientan rápidamente por el gas de escape (véase la representación 55) a una temperatura fuera de la ventana 54 de SNCR óptima. Gran parte del NOx en el gas de escape ya se ha reducido cuando el OFA y cualquier agente de nitrógeno restante se calientan a la temperatura del gas de escape de 2.500 °F (1371 °C) (véase donde la representación 52 del OFA confluye con la representación 55 del gas de escape) que es demasiado caliente para la

SNCR óptima. Como el gas 55 de combustión se enfría hasta 2.000 °F (1093 °C) y por debajo, fluye más allá del plano 56 de nariz del sistema de combustión, por ejemplo, una caldera, y hacia la unidad 58 de vapor supersaturado (SSH) y la unidad 60 de recalentamiento de vapor (RH) que recibe el gas de escape que sale de la caldera.

5 Las pruebas del rendimiento de NOx con inyección de amoníaco gaseoso en aire de sobre fuego se realizaron en una instalación simuladora de calderas (BSF) de 1,0 MMBTU/h que proporciona una simulación a subescala precisa de las temperaturas y las composiciones del gas de escape encontradas en una caldera a escala completa. La BSF se describe en la patente de EE.UU. n° 6.280.695. Para las pruebas, la BSF se encendió con gas natural. Un inyector de aire de sobre fuego especialmente construido se colocó a una temperatura específica del gas de escape. El inyector consistió en un tubo portador de nitrógeno axial con un DI de 1,875 pulgadas (4,76 cm) rodeado de un tubo de aire de sobre fuego anular con un diámetro interno (DI) de 0,25 pulgadas (0,635 cm). Se añadió amoníaco a tanto la corriente portadora de nitrógeno como al
10 aire de sobre fuego para reducir las emisiones de NOx. El inyector se alineó con la línea central de la BSF y apuntó hacia abajo (es decir, en paralelo con el gas de escape).

15 La relación estequiométrica de la llama primaria (RE_1) en las pruebas fue 1,0 y 1,05. Se inyectó suficiente OFA para mantener una RE final (RE_3) constante a 1,20 que se corresponde con aproximadamente el 3 % de O_2 en exceso en el gas de escape. Estas condiciones se definieron como el nivel inicial. El sistema de quemador BSF en las condiciones iniciales generó niveles de NOx iniciales controlados de 185 ppm y 205 ppm a 0 % de O_2 a RE_1 igual a 1,0 y 1,05, respectivamente. RE_1 es la relación estequiométrica de aire con respecto a combustible en la zona 12 de combustión primaria; RE_2 es la misma relación, pero en la zona 14 de postcombustión, y RE_3 es la relación estequiométrica en la zona 16 de abrasamiento. El OFA se inyectó a las temperaturas del gas de escape de 2450 °F (1343 °C) y 2350 °F (1288 °C). El amoníaco gaseoso se
20 inyectó a una relación de concentraciones (REN) de 1,5. La relación de concentraciones (REN) es la relación de moles de átomos de nitrógeno en el amoníaco con respecto a moles de átomos de nitrógeno en NOx.

25 Los niveles de emisión de NOx para Nivel inicial, Portador de NH_3 y NH_3 de OFA mostrados en los diagramas de las Figuras 3 a 6 se refieren a pruebas realizadas en la BSF bajo condiciones similares, excepto que la barra Nivel inicial se refiere a pruebas realizadas sin agente de nitrógeno; la barra Portador de NH_3 se refiere a la inyección del gas de agente de nitrógeno (NH_3) junto con el nitrógeno como portador hacia un inyector de la tubería central que descarga el agente en el centro del aire de sobre fuego cuando ambos entran en el gas de escape, y la barra NH_3 de OFA se refiere a la inyección de un gas de agente de nitrógeno con el aire de sobre fuego antes de que se mezclen juntos con el gas de escape.

30 Las FIGURAS 3 a 6 muestran el efecto de la inyección de amoníaco gaseoso por el puerto de OFA sobre las emisiones de NOx. La concentración de NOx inicial fue más pequeña para RE_1 igual a 1,0 que cuando RE_1 fue igual a 1,05 como se muestra mediante una comparación del diagrama de barras de los datos de prueba tomados a $RE_1=1,0$ mostrado en la Figura 3 con los datos del diagrama tomados a $RE_1 = 1,05$ mostrados en la Figura 4. Se hace una comparación similar con respecto a las Figuras 5 y 6. Los resultados de prueba demuestran que la inyección de amoníaco gaseoso (NH_3) en OFA produjo del 20 % al 45 % de reducción de NOx, que depende de la temperatura del gas de escape en el punto de inyección de aire de sobre fuego y de la estequiometría del quemador principal (RE_1). Se logró un mejor rendimiento cuando el aire de sobre fuego se inyectó a temperaturas de gas de escape más frías. La inyección de NH_3 por el centro del puerto de OFA usando gas nitrógeno como portador proporcionó una reducción ligeramente mejor de NOx que la inyección del amoníaco (NH_3) en la corriente de aire de sobre fuego antes de que la corriente de OFA se mezclara con el gas de escape.

35 Se realizó un análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) para predecir el rendimiento de SNCR. El modelo de CFD resolvió las ecuaciones de transporte para la continuidad, el momento, la energía y las especies. Se aplicaron los modelos apropiados para resolver la turbulencia, radiación, trayectorias de la fase discreta y combustión. Para el estudio de CFD se evaluó una caldera tangencial de 160 MW con un reactivo de nitrógeno inyectado en los inyectores de aire de sobre fuego a diferentes condiciones de operación. Antes de simular el procedimiento de inyección del reactivo de nitrógeno, el modelo de CFD se validó usando datos de pruebas de campo iniciales y perfiles de temperaturas medias de un modelo térmico propio para condiciones de operación a carga completa. Los perfiles de flujo del gas de escape en la región del inyector del modelo se basaron en los de los resultados de prueba del modelado de flujo físico.
40

45 El modelo de CFD se ejecutó para diversas condiciones de operación para investigar el impacto del tamaño de gotita del reactivo, la velocidad de encendido reflejada por la temperatura del gas inmediatamente por debajo del inyector de OFA, la concentración de CO por debajo del inyector de OFA y la relación estequiométrica del reactivo nitrógeno con respecto al nitrógeno de NOx inicial (REN) en el rendimiento del recorte de NOx de SNCR. En este caso, el recorte de NOx se refiere a la reducción de NOx que supera la de las condiciones de aire de sobre fuego puro.
50

55 Las Figuras 7 y 8 muestran el rendimiento del recorte de NOx predicho (reducción de la emisión) a partir del modelo de CFD a diferentes condiciones de procedimiento de la caldera. El procedimiento de reducción de NOx es más eficaz para temperaturas del gas de escape inferiores a aproximadamente 2500 °F (1371 °C) en el puerto de inyección de OFA y a una concentración de cero en CO. Para las temperaturas del gas de escape (en el puerto de OFA) inferiores a 2500 °F (1371 °C) y concentraciones de CO de 200 ppmv e inferiores, el recorte de NOx aumenta (produciéndose una reducción de la emisión de NOx) a medida que disminuye el tamaño de las gotitas de agente de nitrógeno, que indica que el reactivo de nitrógeno liberado próximo a los inyectores de OFA en la zona de mezclado de gas de escape/OFA (por ejemplo, zona 16 de abrasamiento) es eficaz en la reducción de NOx.

Tanto los experimentos a escala piloto como los resultados de CFD muestran que la inyección de gotitas pequeñas (que

tienen un diámetro promedio inferior a aproximadamente 50 a 60 micrómetros) en el aire de sobre fuego permite que la liberación de reactivo en la mezcla de gas de escape/aire de sobre fuego mejore el recorte de NOX con respecto a tamaños de gotita superiores a aproximadamente 50 micrómetros.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un procedimiento de disminución de la concentración de óxidos de nitrógeno en un gas de escape de combustión (24) que comprende:
- 5 a. formar un gas de escape de combustión en una zona de combustión (12), comprendiendo el gas de escape de combustión óxidos de nitrógeno;
- 10 b. proporcionar aire de sobre fuego (28) y gotitas de una solución, partículas o un gas de un agente reductor selectivo (34) en una zona de abrasamiento (16), siendo las gotitas o partículas de un tamaño inferior a 50 micrómetros para promover la rápida reducción de los óxidos de nitrógeno de forma que la vida promedio de la gotita en el gas de escape de combustión y el aire de sobre fuego (28) sea igual al periodo durante el cual el aire de sobre fuego (28) se mezcla con el gas de escape de combustión;
- 15 c. mezclar (34) el aire de sobre fuego y el agente reductor selectivo con el gas de escape de combustión en la zona de abrasamiento a una temperatura por encima de un intervalo de temperatura óptimo para la reducción de los óxidos de nitrógeno;
- d. a medida que el gas de escape de combustión calienta el aire de sobre fuego y el agente reductor selectivo hasta el intervalo de temperatura óptimo (54) de 871 °C (1600 °F) a 1093 °C (2000 °F) se reducen los óxidos de nitrógeno con el agente reductor, y
- e. continuar aumentando la temperatura del aire de sobre fuego y el agente reductor selectivo más allá del intervalo de temperatura óptimo con el gas de escape.
- 20 2.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el intervalo de temperatura óptimo (54) durante la etapa (d) se produce en un corto periodo inferior a 0,3 segundos y la reducción de los óxidos de nitrógeno se produce durante el corto periodo.
- 3.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el pequeño tamaño promedio de gotitas o partículas (34) no es superior a 50 micrómetros.
- 4.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la etapa de mezclar el aire de sobre fuego y el agente reductor selectivo con el gas de escape se produce cuando el gas de escape de combustión está en un intervalo de temperatura de 1371 °C (2500 °F) a 1093 °C (2000 °F).
- 25 5.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la etapa de proporcionar el aire de sobre fuego (28) y el agente reductor selectivo (34) comprende añadir el agente reductor selectivo al aire de sobre fuego simultáneamente con la inyección de aire de sobre fuego al gas de escape de combustión en la zona de abrasamiento.
- 30 6.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la etapa de proporcionar el aire de sobre fuego (28) y el agente reductor selectivo (34) comprende añadir el agente reductor selectivo al aire de sobre fuego antes de inyectar el aire de sobre fuego en la zona de abrasamiento.
- 7.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el agente reductor selectivo (34) reduce los óxidos de nitrógeno cuando el gas de escape está a una temperatura promedio superior a 1093 °C (2000 °F) y la mezcla de gas de escape, aire de sobre fuego y agente reductor está a una temperatura promedio de 871 °C (1600 °F) a 1093 °C (2000 °F).

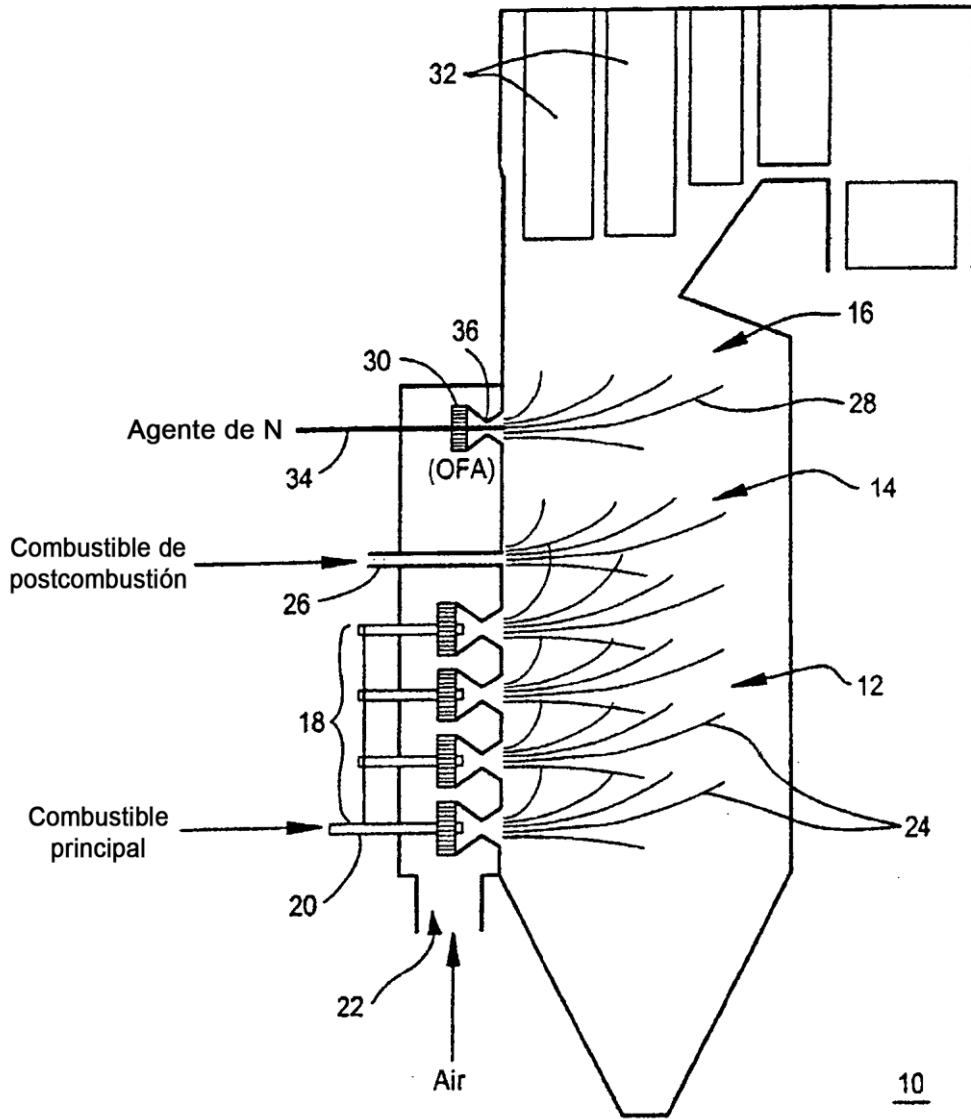


Fig. 1

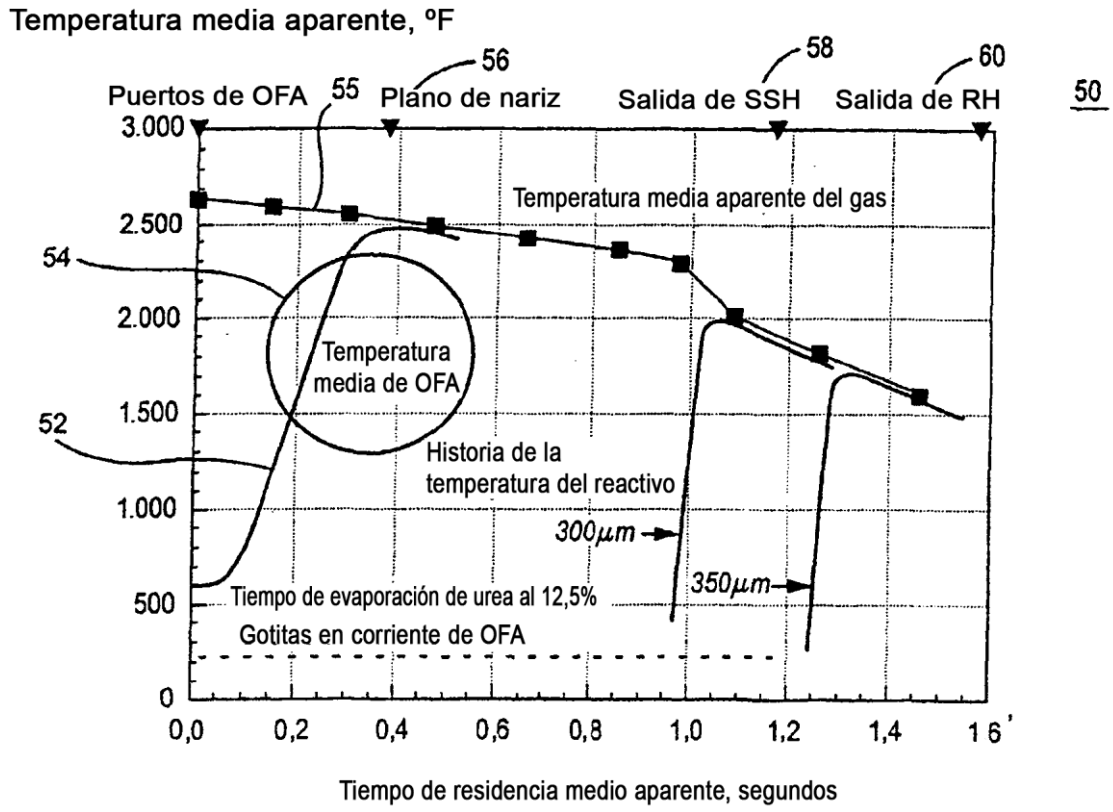


Fig. 2

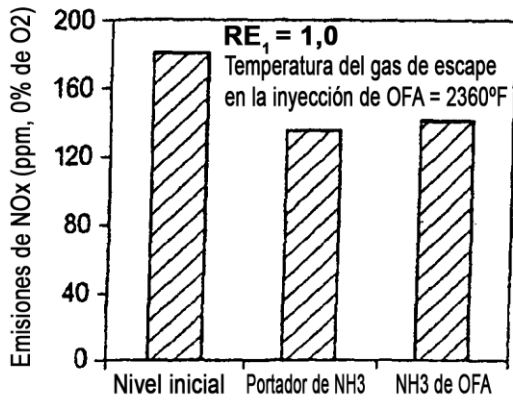


Fig. 3

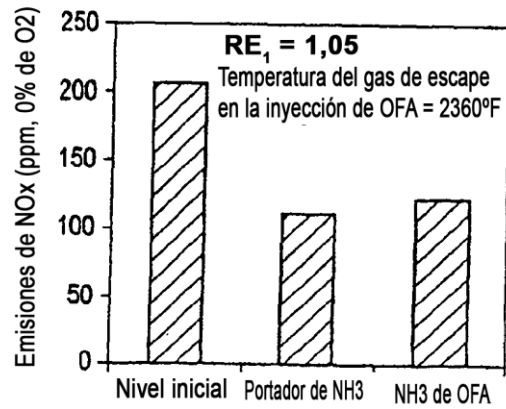


Fig. 4

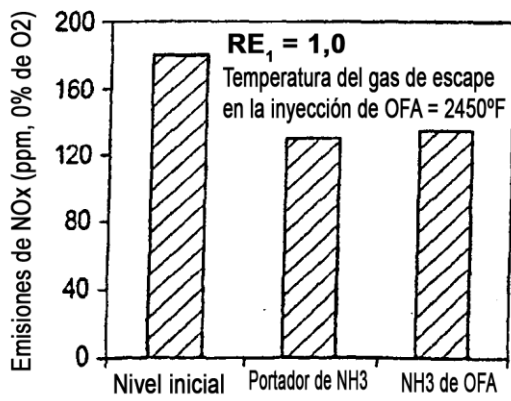


Fig. 5

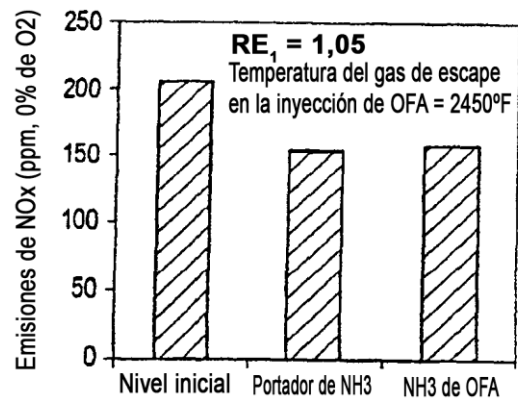


Fig. 6

Temp del gas de escape (F)	Temp de OFA inicial (F)	REN	Diámetro de la gotita (micrómetros)	CO (ppm)	Reducción de NOx %
2500	560	1,94	60*	0	25
2700	560	1,94	60*	0	10
2500	560	1,94	100*	0	9
2700	560	1,94	100*	0	6
2500	560	1,94	3*	0	50
2635	574	1,74	3*	200	5
2435	450	1,74	3*	200	30
2635	574	1,74	83**	200	8
2435	450	1,74	83**	200	21

* Distribución monodispersa del tamaño de gotitas

** Distribución del tamaño de gotitas de un atomizador de doble fluido

Fig. 7

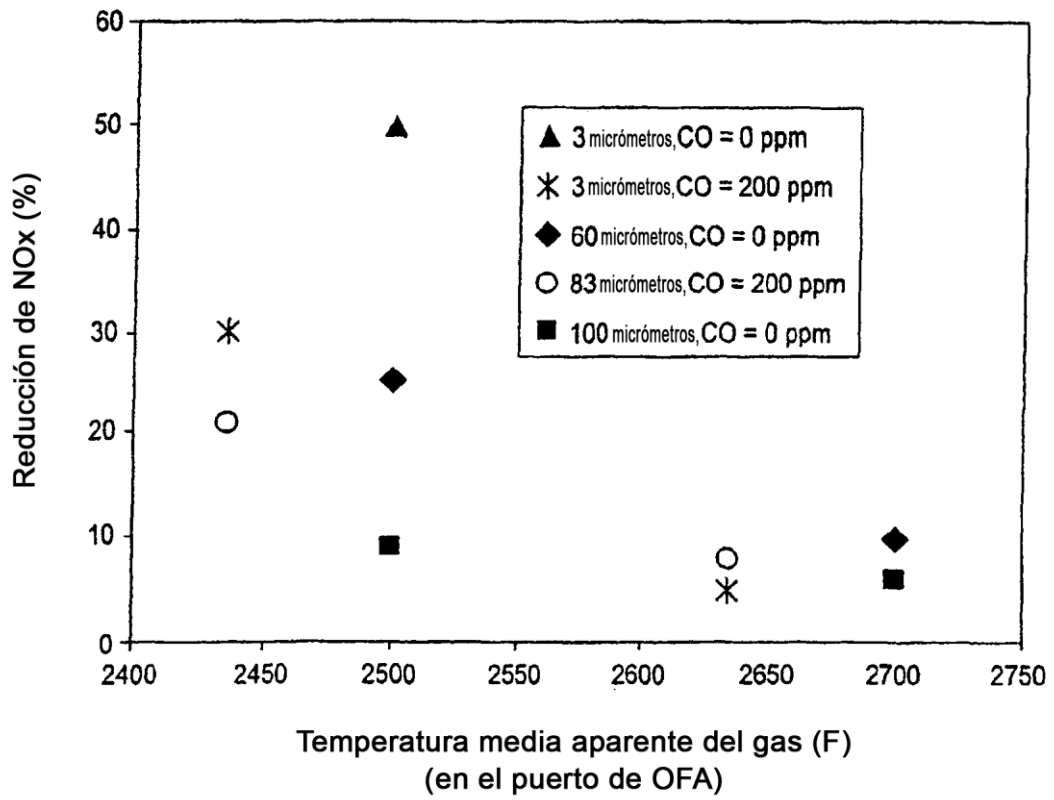


Fig. 8