

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 811 573**

51 Int. Cl.:

F23G 5/30 (2006.01)

F23N 3/00 (2006.01)

F23N 5/00 (2006.01)

F23N 5/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.06.2013** **PCT/IB2013/055168**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2014** **WO14001992**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.06.2013** **E 13759015 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.05.2020** **EP 2864704**

54 Título: **Procedimiento para llevar a cabo la combustión en un horno a fin de limitar la producción de óxidos de nitrógeno, e instalación para la implementación de este procedimiento**

30 Prioridad:

26.06.2012 FR 1256041

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

12.03.2021

73 Titular/es:

DEGRÉMONT (100.0%)
Tour CB21, 16, Place de l'Iris
92040 Paris La Défense, FR

72 Inventor/es:

PARDO, PIERRE EMMANUEL y
MORICE, LUDOVIC

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 811 573 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para llevar a cabo la combustión en un horno a fin de limitar la producción de óxidos de nitrógeno, e instalación para la implementación de este procedimiento

La invención se refiere a un procedimiento para llevar a cabo la combustión en un horno de lecho fluidizado, en particular un lecho de arena, según el cual un caudal de aire primario de combustión se sopla a través del lecho, estando el combustible constituido en particular de residuos orgánicos, o de residuos urbanos, o de lodos de planta de depuración, pudiendo inyectarse el aire secundario en el espacio del horno situado encima del lecho. Tal procedimiento, así como una instalación para la implementación de dicho procedimiento, se conocen por el documento WO 2011/016556 A1.

Durante una combustión, contrariamente a los óxidos de azufre, a los ácidos, y a los metales pesados, cuyas emisiones están intrínsecamente relacionadas con el contenido del combustible utilizado de azufre, de Cl (cloro), Br (bromo), F (flúor), I (Yodo), y de metales pesados, la cantidad de óxidos de nitrógeno generada depende, en cierta medida, del combustible utilizado, pero también de las condiciones en las que se efectúa la combustión. Por lo tanto, no hay relación unívoca entre las emisiones de óxidos de nitrógeno y el combustible. Todo lo más, cuando se dispone de un buen conocimiento de un procedimiento dado (central térmica de carbón, fuel pesado, gas natural, etc.), se puede formular un factor de emisión que servirá, entre otros, de referencia de base para los progresos y las disminuciones de las emisiones de óxidos de nitrógeno que podrían obtenerse mediante investigaciones y desarrollos posteriores.

La combustión de un compuesto hidrocarbonado además del dióxido de carbono CO₂, agua H₂O y nitrógeno N₂, se acompaña, por lo tanto, siempre de una producción de óxidos de nitrógeno. Estos óxidos se representan por el monóxido de nitrógeno (NO), el protóxido de nitrógeno (N₂O), y por una proporción muy reducida de dióxido de nitrógeno (NO₂).

Desde un punto de vista medioambiental y sanitario, es importante reducir sus emisiones ya que cada uno de estos óxidos de nitrógeno tiene un impacto considerable:

- el NO participa en el fenómeno de las lluvias ácidas y en la formación del ozono troposférico;
- el N₂O es un gas de efecto invernadero trescientas diez veces más potente que el CO₂.

A fin de reducir las emisiones de NO_x, se han desarrollado unos procedimientos, especialmente los dos procedimientos siguientes:

- un procedimiento no catalítico que opera a alta temperatura, del orden de 800°C en la cámara de combustión, designándose este procedimiento por la sigla SNCR (reducción no catalítica selectiva);
- un procedimiento catalítico que opera a nivel del tratamiento de los humos a media temperatura (300°C-400°C) o a baja temperatura (180°C-230°C), designándose este procedimiento por la sigla SCR (reducción catalítica selectiva).

El Procedimiento SCR permite disminuir grandes cantidades de NO_x, pero a costa de inconvenientes económicos y medioambientales importantes. El procedimiento SNCR, más económico, no permite alcanzar un rendimiento de eliminación de los óxidos de nitrógeno tan elevado como el procedimiento SCR.

La invención tiene como objetivo, sobre todo, disminuir al máximo la producción de los óxidos de nitrógeno NO_x, y del protóxido de nitrógeno N₂O durante una combustión, a fin de limitarse al uso de una reducción selectiva no catalítica SNCR para tener que tratar sólo lo residual de los gases de combustión.

La invención consiste, adaptando la pareja: (temperatura del lecho fluidizado y exceso de aire en el lecho fluidizado), para equilibrar las reacciones de nitrificación y de desnitrificación que se desarrollan en el lecho fluidizado.

Según la invención, a fin de limitar la producción de óxidos de nitrógeno NO_x y N₂O,

- se mide, en la salida del horno, el contenido en los humos de protóxido de nitrógeno N₂O y de óxidos de nitrógeno NO_x;
- se controla la temperatura del lecho fluidizado para mantenerla al valor más alto admisible para la cual la producción de protóxido de nitrógeno N₂O es sustancialmente reducida, mientras que la producción de óxidos de nitrógeno NO_x no aumenta sustancialmente;
- y se controla el exceso de aire en el lecho fluidizado para mantenerlo al valor más bajo admisible para el cual la producción de óxidos de nitrógeno NO_x es reducida sin perjudicar a la combustión y a la temperatura del lecho.

Ventajosamente, el procedimiento implementa una combustión combinada con un combustible auxiliar en forma líquida, sólida o gaseosa.

5 Se puede efectuar una introducción, en el combustible, de un reactivo o de un soporte catalítico que mejora la desnitrificación.

Según la invención, se controla la temperatura del lecho fluidizado para mantenerla entre 700°C y 850°C. El contenido de oxígeno O₂ en el lecho fluidizado se mantiene entre el 0% y el 6% en volumen.

10 El exceso de aire del lecho puede controlarse a partir de una medición del contenido de oxígeno O₂ en los humos en la salida de horno y de la diferencia de temperatura entre los humos en la salida de horno y el lecho fluidizado.

Ventajosamente, se actúa sobre el caudal de aire secundario para mantener el exceso de aire global al valor más bajo que asegura una combustión completa.

15 Preferentemente, según el procedimiento de la invención:

- para limitar la producción de N₂O, se utiliza un algoritmo en un medio de cálculo de una unidad de regulación, que comprende en particular un regulador PID;

20 - se introduce en el algoritmo una temperatura de consigna del lecho (Tréf),

- se mide el contenido de protóxido de nitrógeno N₂O en los humos, y se corrige la temperatura de consigna según este contenido de N₂O medido,

25 - se mide la temperatura del lecho y su valor se introduce en la unidad de regulación,

- la unidad de regulación determina, a partir de la diferencia entre la temperatura de consigna corregida del lecho y la temperatura medida del lecho, la acción a ejercer sobre la temperatura del aire de combustión y/o sobre la sequedad del combustible, y/o sobre la adición eventual de combustible, en particular de fuel, para asegurar la temperatura de consigna corregida.

35 Ventajosamente, la consigna de temperatura del lecho corregida con respecto a la emisión de N₂O se determina utilizando una prueba, fundándose esta corrección sobre la evolución de la producción de N₂O sobre una base de tiempo adecuada, en particular de 30 minutos, consistiendo esta prueba en verificar si la producción de N₂O está aumentando y si permanece inferior a un umbral predeterminado; si la prueba es válida, la corrección se orienta hacia un aumento de la temperatura del lecho, y si la prueba no es válida, la corrección se orienta hacia una disminución de la temperatura del lecho; y antes del aumento de la temperatura del lecho, se efectúa una prueba sobre consigna en curso que debe permanecer inferior a la temperatura máxima (T_{max}) en el lecho, mientras que antes de la disminución de la temperatura del lecho, se efectúa una prueba sobre la consigna en curso que debe permanecer superior a la temperatura mínima (T_{min}) en el lecho.

45 Para controlar la producción de NO_x, se puede controlar el exceso de aire por acción sobre el caudal de aire primario que atraviesa el lecho, teniendo en cuenta una función de corrección f(NO_x) según el contenido de NO_x en los humos en la salida de postcombustión, limitándose la acción de control de NO_x por la diferencia de temperatura (ΔT) entre el lecho y la postcombustión, a fin de asegurar el escalonamiento de la combustión de los hidrocarburos desvolatilizados.

50 Ventajosamente, un circuito de regulación controla el exceso de aire global de la combustión por acción sobre el caudal de aire secundario, a partir de una medición de oxígeno realizada en la salida del horno, permitiendo el caudal total de combustible determinar el caudal total de aire de combustión.

55 Se puede determinar el contenido de oxígeno del lecho fluidizado por medición del contenido de oxígeno en los humos en la salida del horno, y por la medición de la diferencia de temperatura entre la salida de la zona de postcombustión y la salida del lecho, con cálculo de la cantidad de oxígeno consumida durante la postcombustión.

60 La invención se refiere también a una instalación para la implementación del procedimiento definido anteriormente, que comprende un horno de combustión de lecho fluidizado, especialmente de lecho de arena, según el cual un caudal de aire primario de combustión se sopla a través del lecho, estando el combustible constituido en particular de residuos orgánicos, o de residuos urbanos, o de lodos de plantas de depuración, pudiendo el aire secundario inyectarse en el espacio del horno situado encima del lecho, comprendiendo esta instalación

- unos medios de medición, en la salida del horno, del contenido en los humos de protóxido de nitrógeno N₂O y de óxidos de nitrógeno NO_x;

65 - una unidad de regulación, que comprende en particular un regulador PID, con un medio de cálculo para implementar un algoritmo para limitar la producción de N₂O;

- una entrada para una temperatura de consigna del lecho en el algoritmo, siendo la unidad de regulación apta para corregir la temperatura de consigna según el contenido de protóxido de nitrógeno N_2O en los humos.

5 - un medio de medición de la temperatura del lecho, introduciéndose el valor medido en la unidad de regulación,

determinando dicha unidad de regulación, a partir de la diferencia entre la temperatura de consigna corregida del lecho y la temperatura medida del lecho, la acción a ejercer sobre la temperatura del aire de combustión, y/o sobre la sequedad del combustible, y/o sobre una adición eventual de combustible, en particular de fuel, para asegurar la temperatura de consigna corregida.

Ventajosamente, la instalación comprende:

15 - unos medios de control de la temperatura del lecho fluidizado para mantenerla al valor más alto admisible para el cual la producción de protóxido de nitrógeno N_2O es sustancialmente reducida, mientras que la producción de óxidos de nitrógeno NO_x no se aumenta sustancialmente;

20 - y unos medios de control del exceso de aire en el lecho fluidizado, para mantenerlo al valor más bajo admisible para el cual la producción de óxidos de nitrógeno NO_x es reducida sin perjudicar a la combustión y a la temperatura del lecho.

25 La instalación puede comprender, para controlar la producción de NO_x , un medio de control del exceso de aire por acción sobre el caudal de aire primario que atraviesa el lecho, teniendo en cuenta una función de corrección $f(NO_x)$ según el contenido de NO_x en los humos en la salida de postcombustión, limitándose la acción de control de NO_x por la diferencia de temperatura (ΔT) entre el lecho y la postcombustión, a fin de asegurar el escalonamiento de la combustión de los hidrocarburos desvolatilizados.

30 Según la invención, la instalación comprende unos medios de control del exceso de aire global, que comprenden una sonda de medición del contenido de oxígeno O_2 en los humos en la salida del horno, unas sondas de temperatura para proporcionar la diferencia de temperatura entre los humos en la salida de postcombustión y el lecho fluidizado, y un medio de cálculo del oxígeno consumido por la postcombustión que corresponde a la diferencia de temperatura entre la salida del lecho y la salida de la postcombustión.

35 La instalación comprende ventajosamente un circuito de regulación que controla el exceso de aire global de la combustión por acción sobre el caudal de aire secundario, a partir de una medición de oxígeno realizada en la salida del horno, permitiendo el caudal total de combustible determinar el caudal total de aire de combustión.

40 La invención consiste, aparte de las disposiciones expuestas anteriormente, de un cierto número de otras disposiciones que se tratarán más explícitamente a continuación en referencia a un ejemplo de realización descrito con referencia a los dibujos anexos, pero que no es de ninguna manera limitativo. En estos dibujos:

La Fig. 1 es un corte vertical esquemático de un horno de combustión de lecho fluidizado, sobre el cual se aplica el procedimiento de la invención.

45 La Fig. 2 es un diagrama que ilustra las variaciones, a lo largo del tiempo apuntado en la abscisa, del contenido en los humos de óxidos de nitrógeno NO_x apuntado en la ordenada a la izquierda en mg/Nm^3 , según una curva en línea continua, así como las variaciones del contenido en los humos de oxígeno residual apuntado en la ordenada a la derecha y expresado en % en volumen, según una curva en línea discontinua.

50 La Fig. 3 es un diagrama que ilustra las variaciones a lo largo del tiempo de la temperatura media del lecho de arena, anotado en $^{\circ}C$ sobre el eje de las ordenadas a la derecha, según una curva en línea discontinua, así como las variaciones del contenido de protóxido de nitrógeno N_2O en los humos, anotado en la ordenada a la izquierda en mg/Nm^3 , según una curva en línea continua.

55 La Fig. 4 es un gráfico que ilustra las variaciones de la velocidad de formación de NO_x y de N_2O en función de la temperatura anotada en la abscisa,

La Fig. 5 es un esquema sinóptico de un algoritmo para asegurar una regulación del contenido de N_2O , y

60 La Fig. 6 es un esquema sinóptico de la regulación del exceso de aire en los humos en la salida del horno.

Refiriéndose a la figura 1 de los dibujos, se puede observar un horno de combustión 1 de lecho fluidizado B. El lecho fluidizado B presenta una granulometría homogénea y se constituye preferentemente de arena y de granos de sílice. Eventualmente, el lecho fluidizado puede realizarse con unos granos de hierro, u otros granos de material metálico o inerte, especialmente coque (carbono fijo) constituido por carbono que tiene una estructura cristalizada y que actúa como catalizador.

El aire de combustión y de fluidización 2 se introduce en la parte inferior del horno en una caja de viento A coronada por un arco a1 que soporta el lecho B. El arco a1 es atravesado por unas toberas a2 que aseguran la distribución del aire primario soplado en el lecho B. Un horno de este tipo se conoce bajo el nombre de Thermylis® de la compañía DEGREMONT.

El lecho B constituye una zona de desvolatilización 3 que contiene los residuos en fase sólida y en la que las materias volátiles se desvolatilizan y se queman en parte. Se recuerda que la desvolatilización de un combustible designa el proceso por el cual, durante un tratamiento térmico, el combustible pierde sus materias volátiles (agua, materias hidrocarbonadas, óxido de carbono, hidrógeno).

El combustible se introduce en la parte baja del lecho B por al menos un manguito lateral 4. Una zona de postcombustión 5 está constituida en la cámara del horno por encima del lecho B. Se prevé un dispositivo 5a de inyección de aire secundario en la zona 5.

La inyección del combustible se efectúa en la zona de desvolatilización 3. El combustible puede estar constituido por unos lodos de planta de depuración, de unos residuos domésticos o urbanos, de fuel, o de gas, o de una mezcla de dos al menos de estos combustibles, o cualquier residuo orgánico que se introduce en un horno para quemarlo.

Ventajosamente, se puede introducir en el combustible un reactivo o un soporte catalítico que mejora la desnitrificación.

El lecho fluidizado B es un medio fuertemente mezclado en el que se desarrollan unas reacciones en fase homogénea y en fase heterogénea. En este medio se produce lo esencial de las fases de una combustión:

- la fase de secado del combustible sólido,
- la fase de desvolatilización de la materia volátil del combustible sólido,
- la fase de oxidorreducción parcial de las especies procedentes de la desvolatilización,
- la oxidación del carbono fijo.

El lecho B es el más propicio para numerosas reacciones en fase heterogénea que se hacen posible por la presencia de materias minerales, constituidas por las cenizas, y de carbono fijo (coque).

Cabe señalar que el lecho fluidizado es equivalente a un medio líquido y presenta, en funcionamiento normal, una temperatura homogénea.

Por encima del lecho, la zona de postcombustión 5 permite, gracias a un exceso de aire y a un tiempo de estancia adecuados, una oxidación total de las especies hidrocarbonadas producidas en el lecho en fase homogénea (desvolatilización).

Los óxidos de nitrógeno NOx y el protóxido de nitrógeno N₂O se producen en el lecho B durante la fase de desvolatilización.

El procedimiento de la invención asegura una temperatura del lecho y un exceso de aire en este lecho fluidizado adecuados para favorecer las reacciones de desnitrificación en detrimento de las reacciones de producción de óxidos de nitrógeno NOx y de protóxido de nitrógeno N₂O cuya cantidad producida se encuentra reducida.

El procedimiento de la invención se puede utilizar en sinergia con el procedimiento de la solicitud de patente francesa n° 12 53597 depositada el 19 de abril de 2012 a nombre de la misma compañía depositante DEGREMONT, para un "procedimiento de desnitrificación de los humos producidos por un horno de combustión, e instalación para la implementación de este procedimiento".

Durante la combustión de un residuo, y de un lodo en particular, la producción de óxidos de nitrógeno NOx y de protóxido de nitrógeno N₂O proviene de la oxidación del nitrógeno contenido en el combustible. Este nitrógeno está contenido en una estructura hidrocarbonada, o en estado de amoníaco, y puede convertirse en dos especies, bien en forma gaseosa de amoníaco NH₃, o en forma de cianuro de hidrógeno HCN. Durante la desvolatilización del combustible, en particular de los lodos, el nitrógeno de las estructuras hidrocarbonadas forma mayoritariamente cianuro de hidrógeno HCN y, en medio oxidante, es el origen de la producción de los óxidos de nitrógeno NOx y del protóxido de nitrógeno N₂O.

Según el procedimiento de la invención, las condiciones que reinan en el lecho fluidizado se seleccionan para limitar la producción de cianuro de hidrógeno HCN y para favorecer las reacciones de desnitrificación que, para la mayor parte, se desarrollan en fase heterogénea.

Para ello, el exceso de aire en el lecho fluidizado se mantiene al valor más bajo admisible a fin de evitar la producción de óxidos de nitrógeno NO_x; el límite inferior está impuesto por la diferencia de temperatura ΔT lecho/postcombustión que caracteriza el desplazamiento de la combustión desde el lecho hacia la postcombustión por la reducción del exceso de aire en el lecho.

La temperatura del lecho fluidizado se mantiene al valor más alto admisible que está limitada por la aparición de un aumento sensible del contenido en los humos de los óxidos de nitrógeno NO_x. Esta temperatura del lecho mantenida lo más alta posible permite:

- limitar la producción de protóxido de nitrógeno N₂O;
- limitar las reacciones de oxidación en fase homogénea y de producción de monóxido de nitrógeno NO;
- asegurar el nivel de energía necesaria para el desarrollo de las reacciones de desnitrificación en fase heterogénea.

Por encima de un umbral, en particular de 800°C, la temperatura del lecho fluidizado contribuye a limitar la producción de cianuro de hidrógeno HCN y por lo tanto de monóxido de nitrógeno NO, asegurando al mismo tiempo el nivel de energía suficiente para el desarrollo de las reacciones de desnitrificación, con destrucción de los óxidos de nitrógeno NO_x y del protóxido de nitrógeno N₂O, y destrucción del cianuro de hidrógeno HCN y del amoníaco NH₃ en fase heterogénea.

El procedimiento de la invención se basa así en el control de la pareja: (temperatura del lecho fluidizado/concentración de oxígeno en el lecho fluidizado) para dar una prioridad deseada a la formación de las reacciones de desnitrificación.

Según la invención, la temperatura del lecho fluidizado se mantiene entre 720°C y 850°C, mientras que la concentración de oxígeno en el lecho fluidizado se mantiene entre el 0% y el 6% en volumen.

El mantenimiento de los parámetros (temperatura del lecho y contenido de oxígeno del lecho) en los intervalos de valores indicados se asegura por una unidad de regulación H (Fig. 5) con un medio de cálculo K en el que se instala un algoritmo, y un circuito de regulación G (Fig. 6).

La unidad de regulación H y el circuito G reciben unos valores de consigna y unos resultados de medición para los parámetros considerados, y proporcionan sobre diferentes salidas unas señales de control para asegurar la regulación. Esto permite limitar la producción de protóxido de nitrógeno N₂O y de óxidos de nitrógeno NO_x, y favorecer un tratamiento de desnitrificación directamente en el lecho fluidizado B sin tener que recurrir a un procedimiento de desnitrificación específico.

El diagrama de la figura 2 ilustra la posibilidad de control de la producción de óxidos de nitrógeno NO_x cuyo contenido en los humos está anotado a la izquierda en la ordenada en mg/Nm³ (miligramos por metro cúbico normal), por el oxígeno residual en la salida del horno, en los humos. El contenido de oxígeno residual en los humos expresado en % en volumen está anotado a la derecha en la ordenada. En la abscisa, el tiempo está anotado en horas y minutos.

La curva 6 en línea discontinua representa la variación del contenido de oxígeno en los humos en la salida del horno a lo largo del tiempo. La curva 6 ilustra una disminución del oxígeno residual en la salida del horno, obtenida reduciendo el caudal de aire primario, mientras que el caudal de aire secundario es nulo.

La curva 7 en línea continua ilustra la variación del contenido de óxidos de nitrógeno NO_x en los humos en la salida del horno. Parece que este contenido disminuye con la disminución del contenido de oxígeno residual. A partir del momento en el que el contenido de oxígeno es de aproximadamente un 4%, el contenido de NO_x cae hasta aproximadamente 30 mg/Nm³.

El diagrama de la figura 2 que ilustra las variaciones de NO_x inducidas por las variaciones del contenido de oxígeno residual se debe de considerar con todo lo demás igual.

El diagrama de la figura 3 ilustra mediante una curva 8 en línea discontinua unas variaciones de la temperatura del lecho fluidizado B a lo largo del tiempo anotado en la abscisa; los valores de temperatura están anotados a la derecha en la ordenada. El pico de la curva de temperatura alcanza aproximadamente 800°C.

Las variaciones del contenido de protóxido de nitrógeno N₂O en los humos en la salida del horno están representadas mediante la curva en línea continua 9. El contenido de N₂O está anotado a la izquierda en la ordenada, expresado en mg/Nm².

El diagrama de la figura 3 muestra que para unas temperaturas de lecho superiores a aproximadamente 740°C, el contenido de protóxido de nitrógeno N₂O en los humos se reduce sustancialmente.

La invención utiliza las evoluciones observadas sobre los diagramas de las figuras 2 y 3 para controlar al mismo tiempo la producción de óxidos de nitrógeno NOx y de protóxido de nitrógeno N₂O en la fase heterogénea constituida por el lecho fluidizado B.

5 La invención permite así mediante un algoritmo preciso controlar al mismo tiempo la producción de NOx y de N₂O en la fase heterogénea. Sabiendo que la evolución constatada para N₂O y NOx se representa por la figura 4, el ajuste de la temperatura del lecho se controlará por la medición de N₂O y la consigna de O₂ se ajustará en función del contenido de NOx constatada para la temperatura en curso.

10 En la figura 4, en el eje de la izquierda de las ordenadas está anotada la velocidad de formación de NOx en función de O₂ y de la temperatura T. Esta velocidad se expresa en segundos⁻¹ (S⁻¹ x 10⁻⁸). Cuanto más elevada sea esta velocidad con respecto a las otras reacciones de destrucción, más NOx habrá.

15 La red de curvas que aumenta de izquierda a derecha corresponde a la evolución de la velocidad de formación de los NOx en función de la temperatura anotada en la abscisa. Cada curva corresponde a un contenido de O₂ constante, siendo esta constante del 3% para la curva inferior y aumentando un 1% para cada curva situada por encima, hasta el 8% para la curva superior; estos valores se indican en la figura 4 a la derecha. El gráfico de la figura 4 muestra que, si se desea hacer subir la temperatura en el lecho, se necesita conjuntamente reducir el contenido de O₂ para limitar la producción de NOx, de ahí la regulación de los NOx con la cantidad de aire introducido en el lecho.

20 En el eje de la derecha de las ordenadas, está el índice de destrucción del N₂O producido por la combustión (relación de la cantidad de N₂O producida por la combustión en el lecho, sobre la cantidad de N₂O que resulta de la destrucción térmica en el lecho). Este índice de destrucción se representa por la curva decreciente del ángulo superior izquierdo al ángulo inferior derecho. Esta curva es independiente del contenido de O₂ y muestra que el índice de destrucción depende de la temperatura del lecho.

El algoritmo se descompone como se expone a continuación.

I. Control de la temperatura del lecho B

30 El algoritmo se ilustra en la figura 5. Este control es posible estableciendo una regulación cuyo principio es el siguiente.

La temperatura del lecho B medida por unas sondas tales como 10 (figura 1) juiciosamente implantadas se controla mediante la acción:

35 - sobre la sequedad/grado de MV del combustible, representándose esta acción por el bloque 11.

- y sobre la temperatura del aire de combustión que atraviesa el lecho fluidizado, representándose esta acción por el bloque 13.

40 Sin que participe en la regulación, una sonda 10a ventajosamente colocada justo por encima del lecho y antes de la inyección de aire secundario, permite verificar la coherencia de las mediciones 10, 10b.

45 La consigna de temperatura SP del lecho se corrige con respecto a la emisión de N₂O utilizando una prueba, según el bloque 14. Esta corrección se basa en la evolución de la producción de N₂O sobre una base de tiempo adecuada, especialmente de 30 minutos, para evitar tener en cuenta los picos.

La prueba 14 se realiza sobre esta evolución. Esta prueba consiste en verificar si la producción de N₂O está aumentando y si permanece inferior a un umbral predeterminado.

50 Si la prueba 14 es válida (respuesta SI) la corrección, asegurada por el bloque 15, se orienta hacia un aumento de la temperatura del lecho con previamente una prueba 15a sobre la consigna SP en curso que debe permanecer siempre inferior a la temperatura máxima Tmax en el lecho (del orden de 850°C). Este aumento de temperatura se realiza en 15 por la activación de una rampa de X₁ °C/minuto durante una base de tiempo de Y₁ minutos en relación con la inercia térmica del lecho dependiente de la cantidad de arena y del PCI del combustible.

60 Si la prueba 14 no es válida (respuesta NO), la corrección se orienta hacia una disminución de la temperatura del lecho, según el bloque 16, con previamente una prueba 16a sobre la consigna SP en curso que debe siempre permanecer superior a la temperatura mínima Tmin en el lecho (del orden de 700°C). Esta disminución de temperatura se realiza en 16 por la activación de una rampa de X₂ °C/minuto durante una base de tiempo de Y₂ minutos en relación con la inercia térmica del lecho dependiente de la cantidad de arena y del PCI del combustible.

La rampa de aumento X₁ °C/minuto incrementa en grados un contador/descontador D mientras que la rampa de disminución X₂ °C/minuto disminuye en grados el contador/descontador D.

65

La consigna de temperatura SP del lecho que integra la corrección con respecto a la producción de N_2O es, según el bloque R, la suma de la temperatura Tref (temperatura de base en funcionamiento del orden de 800°C) y del valor proporcionado por el contador/descontador D.

5 La consigna de temperatura SP se compara con la medición en el lecho en un regulador PID (derivada proporcional integral) 19 cuya salida S (0-100%) se trata en una fórmula M ((S-50)/50) cuyo resultado varía de -1 a +1. Una ponderación X permite una distribución de la acción. La amplitud de las correcciones está limitada mediante los valores "max de variación posible", respectivamente según el bloque 21, para la variación de temperatura, y bloque 22 para la variación de sequedad.

10 Una sonda 12 (figura 1) de medición del contenido de protóxido de nitrógeno N_2O en los humos en la salida de horno proporciona el valor medido del contenido de N_2O .

15 El algoritmo programado permite corregir el valor de consigna en función de la medición del contenido de N_2O proporcionado por la sonda 12.

Para una corrección de la temperatura del aire de combustión, el bloque 13 puede controlar, especialmente, un intercambiador de calor (no representado) calentador del aire de combustión, a partir de los humos que salen del horno, modificando el caudal de humos calientes que atraviesan el calentador.

20 El bloque 11 permite corregir la sequedad del combustible, especialmente de los lodos, por ejemplo por acción sobre un dispositivo de secado del combustible antes de la introducción en el horno.

25 Según otra posibilidad, para aumentar la temperatura del lecho, se puede ordenar una adición de fuel al combustible. Se produce entonces una combustión combinada.

En el caso en el que la temperatura medida del lecho sea demasiado elevada con respecto al valor de consigna, la corrección se efectúa a nivel de la corrección de la temperatura del aire de combustión por el bloque 13 y de la corrección de la sequedad de los lodos por el bloque 11 y, llegado el caso, por reducción del caudal de combustible.

30 II. Control del exceso de aire en la salida de zona heterogénea

Según la figura 6, el exceso de aire se controla por acción sobre el caudal de aire primario que atraviesa el lecho, según el bloque 23. Como se muestra mediante el gráfico de la figura 4, disminuir la cantidad de aire primario, y por lo tanto de O_2 , conduce a controlar la producción de NO_x . Un bloque 24 representa tener en cuenta una función de corrección $f(NO_x)$ según el contenido de NO_x en los humos proporcionado por una sonda 20 (figura 1) en la salida de postcombustión. La cantidad de aire primario se mantiene al nivel más bajo posible. Esta acción de control de NO_x está, no obstante, limitada por la diferencia de temperatura ΔT entre el lecho y la postcombustión, según el bloque 25 que introduce una función de corrección $f(\Delta T)$, a fin de asegurar el escalonamiento de la combustión de los hidrocarburos desvolatilizados. El caudal de aire primario debe permanecer comprendido entre un valor máximo Max, y un valor mínimo Min.

45 La variación de temperatura entre el lecho B y la salida de la zona de postcombustión 5 está representada en la figura 1 por una línea 17 en línea discontinua, trazada en un sistema de coordenadas en el que se anota en la abscisa la altura de un punto de la zona 5 por encima del lecho B, y en la ordenada la temperatura a nivel de este punto. A título de ejemplo, la temperatura puede ser próxima a 800°C en la salida de lecho B y 850°C en la salida de la zona de postcombustión.

50 Conviene que la diferencia de temperatura entre la salida de la postcombustión 5 y el lecho B tenga un valor suficiente, especialmente de al menos 50°C, a fin de asegurar el escalonamiento de la combustión de los hidrocarburos desvolatilizados.

Unos valores A_0 y B_0 ($B_0 < 1$) son unos ajustes iniciales que permiten sólo un ajuste a través de las funciones de corrección.

55 Un circuito G determina un valor corregido B'_0 que tiene en cuenta unas funciones de corrección 25 $f(\Delta T)$ y 24 $f(NO_x)$. Este valor B'_0 sirve para el cálculo del caudal de aire primario a partir del caudal total del aire de combustión.

60 El valor $(1-B'_0)$ sirve para el cálculo del caudal de aire secundario a partir del caudal total del aire de combustión, teniendo en cuenta la función de corrección 27 $f(O_2)$.

65 Como lo muestra la figura 6, la reducción de los NO_x puede disminuir el coeficiente proporcional de aire primario ($B_0 > B'_0$) con, como consecuencia, unos gases en la salida del lecho B empobrecidos de oxígeno. La proporción estequiométrica de aire global (A_0) que garantiza una combustión completa en postcombustión 5 para una cantidad de MV dada se asegura por un aumento del coeficiente proporcional de aire secundario $(1-B'_0)$. La disminución de la

cantidad de aire primario para reducir la producción de óxidos de nitrógeno NOx se encuentra así limitada por la necesidad de un contenido de oxígeno en la salida del lecho fluidizado B.

5 Los coeficientes A_0 y B_0 son unos ajustes a priori. A_0 define la cantidad de aire para una tonelada de materia seca MS (por ejemplo 10000 Nm³/t). Por lo tanto, para una consigna de lodo de 1 t/h de MS se necesitará en total A_0 Nm³/h (por ejemplo 10000 Nm³/h) de aire de combustión que se necesitará repartir entre el aire primario (aire I) y el aire secundario (aire II).

10 Es el papel de B_0 el que da la proporción a priori aire I/aire II. Por lo tanto, si no hay corrección con respecto a NOx y ΔT , entonces $B'_0=B_0$. Por el contrario, cuando está activa al menos una corrección, la proporción se modifica y B'_0 es diferente de B_0 .

15 Hasta ahora, el ajuste a priori A_0 no se ha modificado. A_0 debe modificarse si la cantidad de materia volátil o el PCI (poder calorífico inferior) de esta evoluciona, y la medición del contenido de oxígeno O₂ global es una indicación de ello. Si el resultado de la medición lo justifica, en este momento, se lleva a cabo una acción sobre el aire secundario mediante la función de corrección $f(O_2)$ a fin de tener esto en cuenta sin aportar modificación al aire I ya que está optimizado para el control de los NOx.

20 En la figura 5 y figura 6, las funciones de corrección intervienen como multiplicadores, como se ilustra mediante el signo X. Por ejemplo, para la figura 6: el producto del caudal de lodos 28 por A_0 da el caudal total de aire de combustión 29.

III. Control del exceso de aire global

25 La medición del exceso de aire global se asegura con la ayuda de una sonda 18 (figura 1) del contenido de oxígeno en los humos que salen del horno.

30 A fin de asegurar una combustión perfecta de la cantidad de MV (materia volátil) introducida, el circuito de regulación G (figura 6) con medio de cálculo controla el exceso de aire global de la combustión por acción sobre el caudal de aire secundario, según el bloque 26, a partir de la medición de oxígeno realizada en la salida del horno, según la función de corrección del bloque 27.

35 El caudal total de los lodos proporcionado por un bloque 28 permite determinar el caudal total de aire de combustión, según el bloque 29.

El algoritmo podrá mejorarse positivamente por el establecimiento de una medición del contenido de oxígeno directamente en la zona heterogénea constituida por el lecho fluidizado B.

40 Sin embargo, no existe hoy día un medio satisfactorio para efectuar tal medición directamente en el lecho, especialmente en lecho de arena. Esta dificultad se supera por la medición con la ayuda de la sonda 18 (figura 1) del contenido de oxígeno en los humos que salen del horno, y por el cálculo del oxígeno consumido por la postcombustión que corresponde a la diferencia entre la temperatura de la salida del lecho, medida por una sonda 10a, y la temperatura de salida de la postcombustión, medida por una sonda 10b.

45 Para el exceso de aire global, es deseable para una buena combustión que un bajo exceso de oxígeno esté presente en la salida de los humos. La invención permite controlar la cantidad de aire en el lecho fluidizado y reducir los óxidos de nitrógeno NOx.

50 El procedimiento de la invención, limitando la producción de óxidos de nitrógeno en un horno de lecho fluidizado, permite limitar el uso de una reducción SNCR.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para llevar a cabo la combustión en un horno de lecho fluidizado, especialmente de lecho de arena, según el cual un caudal de aire primario de combustión se sopla a través del lecho, estando el combustible constituido en particular de residuos orgánicos, o de residuos urbanos, o de lodos de plantas de depuración, pudiendo un aire secundario inyectarse en el espacio del horno situado por encima del lecho, procedimiento en el que, a fin de limitar la producción de óxidos de nitrógeno NOx y de protóxido de nitrógeno N2O:
 - se mide, en la salida del horno, el contenido en los humos de protóxido de nitrógeno N2O y de óxidos de nitrógeno NOx;
 - se controla la temperatura del lecho fluidizado para mantenerla al valor más alto admisible para el cual la producción de protóxido de nitrógeno N2O se reduce sustancialmente, mientras que la producción de óxidos de nitrógeno NOx no se aumenta sustancialmente, estando esta temperatura comprendida entre 700°C y 850°C;
 - y se controla el exceso de aire en el lecho fluidizado para mantener el contenido de oxígeno al valor más bajo admisible para el cual la producción de óxidos de nitrógeno NOx se reduce sin perjudicar a la combustión y a la temperatura del lecho, estando este contenido comprendido entre el 0% y el 6% en volumen,
- controlándose el exceso de aire del lecho fluidizado a partir de una medición del contenido de oxígeno O2 en los humos en la salida del horno y de la diferencia de temperatura entre los humos en la salida del horno y el lecho fluidizado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que utiliza una combustión combinada con un combustible auxiliar en forma líquida, o sólida o gaseosa.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que se efectúa una introducción, en el combustible, de un reactivo o de un soporte catalítico que mejora la desnitrificación.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que se actúa sobre el caudal de aire secundario para mantener el exceso de aire global al valor más bajo posible que asegura una combustión completa.
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que:
 - para limitar la producción de N2O, se utiliza un algoritmo en un medio de cálculo de una unidad de regulación, que comprende en particular un regulador PID (19);
 - se introduce en el algoritmo una temperatura de consigna (SP) del lecho,
 - se mide el contenido de protóxido de nitrógeno N2O en los humos, y se corrige la temperatura de consigna según este contenido de N2O medida,
 - se mide la temperatura del lecho (B) y su valor se introduce en la unidad de regulación,
 - la unidad de regulación determina, a partir de la diferencia entre temperatura de consigna corregida del lecho y temperatura medida del lecho, la acción a ejercer sobre la temperatura del aire de combustión (13) y/o sobre la sequedad del combustible (11), y/o sobre una adición eventual de combustible, en particular de fuel, para asegurar la temperatura de consigna corregida.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que la consigna de temperatura (SP) del lecho corregida con respecto a la emisión de N2O se determina utilizando una prueba (14), fundándose esta corrección sobre la evolución de la producción de N2O sobre una base de tiempo adecuada, en particular de 30 minutos, consistiendo este prueba (14) en verificar si la producción de N2O está aumentando y si permanece inferior a un umbral predeterminado; si la prueba (14) es válida, la corrección se orienta hacia un aumento de la temperatura del lecho, y si la prueba (14) no es válida, la corrección está orientada hacia una disminución de la temperatura del lecho; y por que antes del aumento de la temperatura del lecho, se efectúa una prueba (15a) sobre la consigna (SP) en curso que debe permanecer inferior a la temperatura máxima (Tmax) en el lecho, mientras que antes de la disminución de la temperatura del lecho, se efectúa una prueba (16a) sobre la consigna (SP) en curso que debe permanecer superior a la temperatura mínima (Tmin) en el lecho.
7. Procedimiento según la reivindicación 5 o 6, caracterizado por que, para controlar la producción de NOx, el exceso de aire en el lecho está controlado por acción sobre el caudal de aire primario que atraviesa el lecho (23), teniendo en cuenta una función de corrección f(NOx) según el contenido de NOx en los humos en la salida de postcombustión,

estando la acción de control de NOx limitada por la diferencia de temperatura (ΔT) entre el lecho y la postcombustión, a fin de asegurar el escalonamiento de la combustión de los hidrocarburos desvolatilizados.

- 5 8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que un circuito de regulación (G) controla el exceso de aire global de la combustión por acción sobre el caudal de aire secundario (26), a partir de una medición de oxígeno realizada en la salida de horno, permitiendo el caudal total de combustible (28) determinar el caudal total de aire de combustión.
- 10 9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que se determina el contenido de oxígeno del lecho fluidizado por medición del contenido de oxígeno en los humos en la salida de horno, y por medición de la diferencia de temperatura entre la salida de la zona de postcombustión y la salida del lecho, con cálculo de la cantidad de oxígeno consumida durante la postcombustión.
- 15 10. Instalación para la realización de un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un horno de combustión de lecho fluidizado, especialmente de lecho de arena, según la cual un caudal de aire primario de combustión se sopla a través del lecho, estando el combustible constituido en particular de residuos orgánicos, o de residuos urbanos, o de lodos de planta de depuración, del aire secundario que puede inyectarse en el espacio del horno situado por encima del lecho, comprendiendo la instalación:
 - 20 - unos medios de medición (12, 20), en la salida del horno, del contenido en los humos de protóxido de nitrógeno N_2O y de óxidos de nitrógeno NOx;
 - una unidad de regulación (H), que comprende en particular un regulador PID (19), con un medio de cálculo (K) para realizar un algoritmo para limitar la producción de N_2O ;
 - 25 - una entrada para una temperatura de consigna (SP) del lecho en el algoritmo, siendo la unidad de regulación apropiada para corregir la temperatura de consigna según el contenido de protóxido de nitrógeno N_2O en los humos,
 - 30 - un medio de medición (10) de la temperatura del lecho (B), introduciéndose el valor medido en la unidad de regulación,
 - unos medios de control del exceso de aire global, que comprende una sonda (18) de medición del contenido de oxígeno O_2 en los humos en la salida del horno, unas sondas de temperatura (10a, 10b) para proporcionar la diferencia de temperatura entre los humos en la salida de postcombustión y el lecho fluidizado, y un bloque para el cálculo del oxígeno consumido por la postcombustión que corresponde a la diferencia de temperatura entre la salida del lecho (B) y la salida de la postcombustión
- 35 determinando dicha unidad de regulación (H), a partir de la diferencia entre temperatura de consigna corregida del lecho y temperatura medida del lecho, la acción a ejercer sobre la temperatura del aire de combustión (13) y/o sobre la sequedad del combustible (11), y/o sobre una adición eventual de combustible, en particular de fuel, para asegurar la temperatura de consigna corregida.
- 40 11. Instalación según la reivindicación 10, caracterizada por que comprende:
 - 45 - unos medios de control (11, 13; 14, 15, 16) de la temperatura del lecho fluidizado para mantenerla al valor más alto admisible para el cual la producción de protóxido de nitrógeno N_2O se reduce sustancialmente, mientras que la producción de óxidos de nitrógeno NOx no se aumenta sustancialmente;
 - 50 - y unos medios de control (23) del exceso de aire en el lecho fluidizado para mantenerlo al valor más bajo admisible para el cual la producción de óxidos de nitrógeno NOx se reduce sin perjudicar a la combustión y a la temperatura del lecho.
- 55 12. Instalación según la reivindicación 10 u 11, caracterizada por que comprende, para controlar la producción de NOx, un medio de control (23) del exceso de aire por acción sobre el caudal de aire primario que atraviesa el lecho, teniendo en cuenta una función de corrección $f(NO_x)$ (24) según el contenido de NOx en los humos en la salida de postcombustión, estando la acción de control de NOx limitada por la diferencia de temperatura (ΔT) entre el lecho y la postcombustión, a fin de asegurar el escalonamiento de la combustión de los hidrocarburos desvolatilizados.
- 60 13. Instalación según la reivindicación 12, caracterizada por que comprende un circuito de regulación (G) que controla el exceso de aire global de la combustión por acción sobre el caudal de aire secundario (26), a partir de una medición de oxígeno realizada en la salida del horno, permitiendo el caudal total de combustible de lodo (28) determinar el caudal total de aire de combustión.

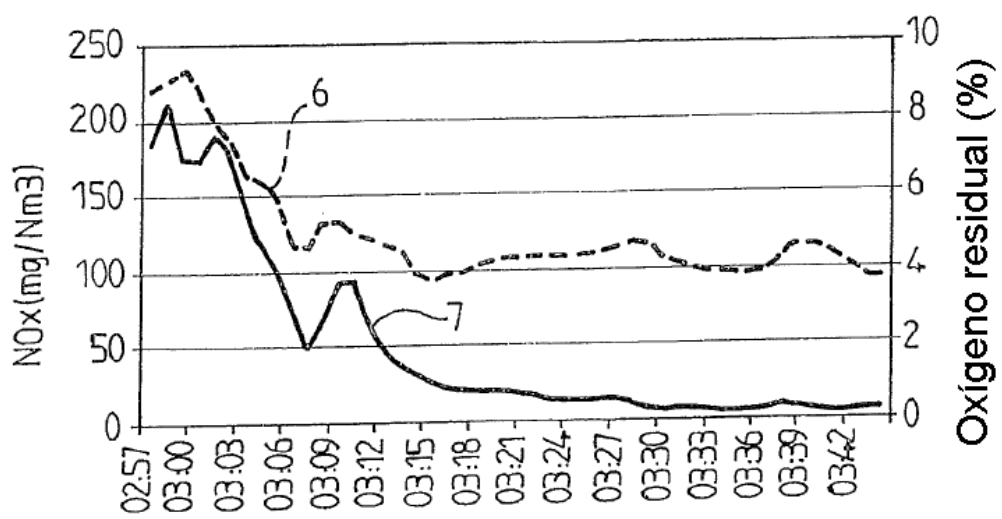
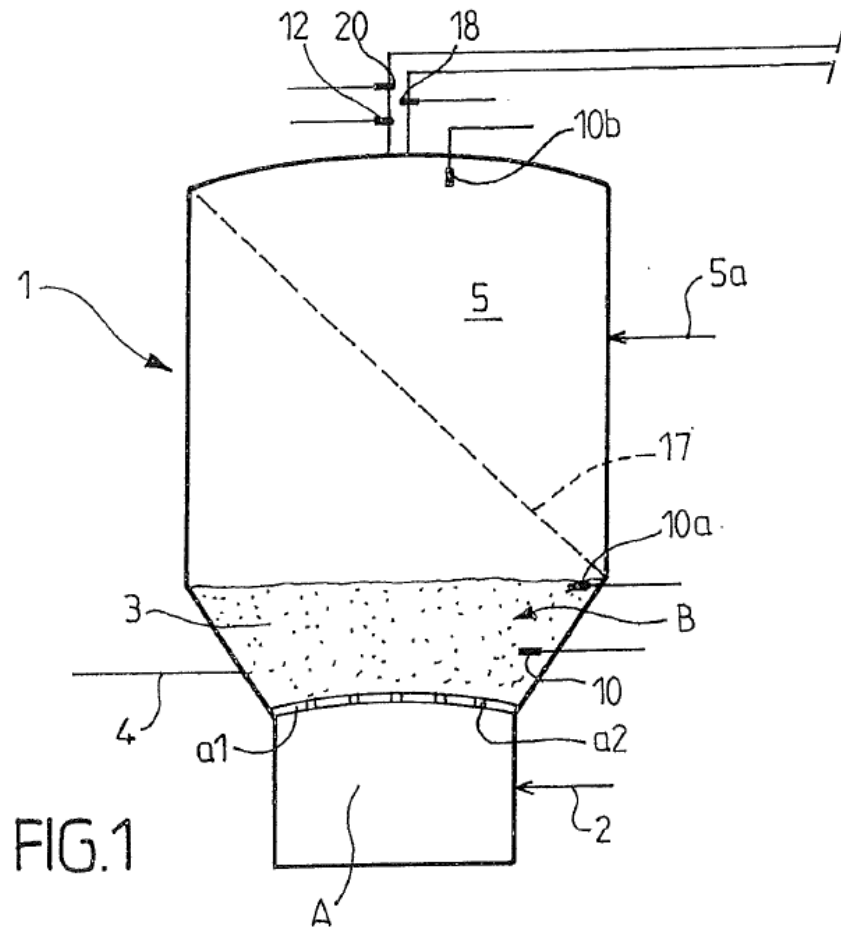


FIG.2

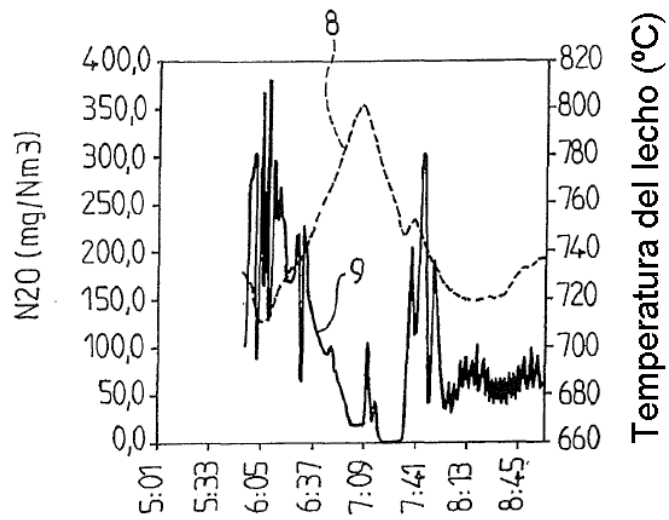


FIG. 3

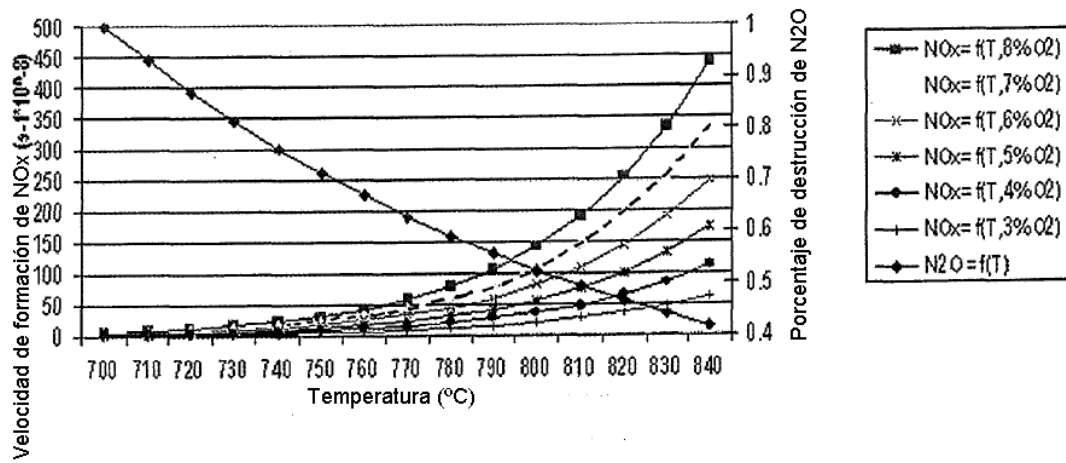


FIG. 4

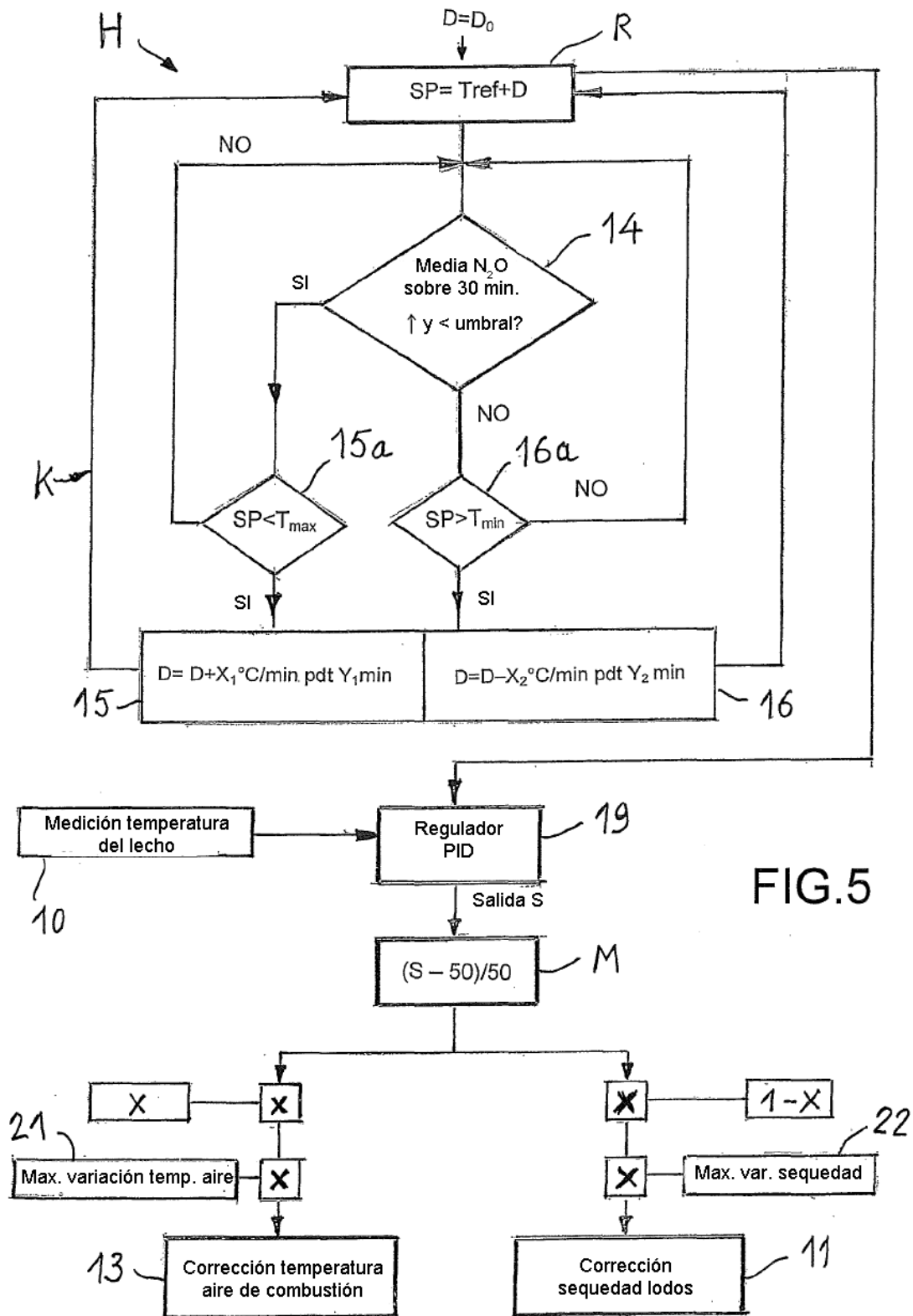


FIG.6

