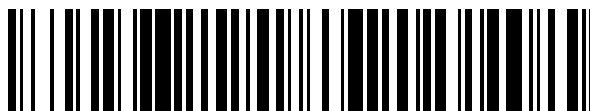


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 332**

51 Int. Cl.:

F23L 7/00 (2006.01)
F23N 5/08 (2006.01)
F23C 9/08 (2006.01)
C21D 1/52 (2006.01)
C21D 9/00 (2006.01)
F27D 99/00 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2014 PCT/IB2014/062654**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2014 WO14207711**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2014 E 14747136 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019 EP 3014181**

54 Título: **Horno industrial y proceso de control de la combustión interior**

30 Prioridad:

28.06.2013 IT MI20131093

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.10.2019

73 Titular/es:

**TENOVA S.P.A. (100.0%)
Via Monte Rosa 93
20149 Milano, IT**

72 Inventor/es:

**DELLA ROCCA, ALESSANDRO y
FANTUZZI, MASSIMILIANO**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 728 332 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

Horno industrial y proceso de control de la combustión interior

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema y un proceso para eliminar (o, al menos, reducir) las emisiones de óxidos de nitrógeno generadas por hornos industriales y, en general, en procesos de combustión industrial.

10 Estado de la técnica

La combustión sin llama podría ser un procedimiento válido para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) en las combustiones industriales, en particular en hornos del llamado tipo de combustión libre, es decir, en los que la combustión calienta el horno en la misma cámara (actualmente llamada cámara caliente) en la que se encuentran los materiales u objetos que se van a calentar. Sin embargo, los numerosos parámetros físicos que afectan a una combustión sin llama, la escasa monitorización intrínseca en un fenómeno «invisible», la interacción entre los distintos quemadores que podrían estar presentes, las características geométricas de la cámara caliente que afectan a la dinámica de los fluidos en la cámara caliente y las interacciones relativas con la cinética de combustión y el hecho de que los materiales o productos que se van a calentar con formas y características térmicas variables transitan por el interior de la cámara, son factores que pueden generar inestabilidad localizada en el proceso de combustión, ya que tal inestabilidad está asociada a puntos calientes, es decir, picos térmicos localizados que a su vez aumentan la producción de NOx total y, por lo tanto, frustran el esfuerzo de reducir dichas emisiones nocivas.

Actualmente, se sabe que limita la formación de estos picos térmicos inyectando un agente diluyente adecuado; más en concreto, se sabe que inyecta vapor de agua en calderas para generar energía eléctrica con el fin de reducir las emisiones de NOx. Sin embargo, una inyección tan masiva e indiscriminada implica todo el volumen de la cámara de combustión sin tener en cuenta los fenómenos locales.

Además, la inyección de un líquido diluyente en una cámara de combustión provoca un aumento de los consumos específicos debido al incremento del volumen de humos que transportan una cantidad significativa de energía, que constituye la mayor pérdida térmica del sistema, hacia el exterior. Por tal motivo, la inyección indiscriminada de grandes cantidades de líquido diluyente dentro de un proceso térmico se suele desaconsejar debido al aumento en el consumo y al consiguiente aumento de las emisiones de dióxido de carbono, como resultado del incremento de las cantidades de combustible quemado para el mismo efecto útil en el proceso térmico. Los documentos US5120214 A1, EP2527734 A1 y US6461145 B1 muestran hornos industriales en los que las emisiones de NOx se reducen mezclando el combustible con un diluyente.

Uno propósito de la presente invención es evitar los inconvenientes y limitaciones ya mencionados en el estado de la técnica y, en particular, proporcionar un sistema y un proceso para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno en combustiones industriales que requieren un suministro de diluyentes menos significativo en la combustión.

Resumen de la invención

En un primer aspecto de la presente invención, tal propósito se consigue con un horno industrial que tenga las características citadas en la reivindicación 1.

En un segundo aspecto de la invención, tal propósito se consigue con un proceso para controlar la combustión en el citado horno con las características citadas en la reivindicación 7.

Las ventajas que se pueden obtener con la presente invención quedarán más claras para el experto en la materia en la siguiente descripción detallada de una realización concreta aportada como ejemplo y no a efectos limitativos, ilustrada haciendo referencia a las figuras esquemáticas siguientes.

Lista de las figuras

La figura 1 muestra la vista longitudinal, parcialmente seccionada, de un horno industrial según una realización concreta de la invención;

La figura 2 muestra un diagrama funcional del sistema estabilizador de combustión del horno de la figura 1; la figura 3 muestra la vista lateral, parcialmente seccionada, de un inyector del horno de la figura 1.

Descripción detallada

Las figuras 1-3 muestran un horno industrial según una realización concreta de la invención, enteramente indicado con el número de referencia 1. El horno 1 puede ser del tipo utilizado, por ejemplo, para calentar losas, palanquillas, alambrones, palancas, chapas y otros productos siderúrgicos semiacabados antes de someterlos a otras operaciones

de trabajo en caliente o un horno para calentar materiales no metálicos inorgánicos como, por ejemplo, materiales cerámicos, o materiales de sinterización o fusión en general. El horno 1 está provisto de una cámara caliente 3 en la que se produce una combustión y los gases calientes generados por dicha combustión entran en contacto directo con los materiales que se van a tratar en el propio horno lamiéndolos directamente.

5 La cámara caliente 3 puede ser, por ejemplo, un túnel rectilíneo con una forma paralelepípeda global que se cierra en sus extremos con paredes divisorias móviles 5 capaces de abrirse para permitir la entrada de los materiales o productos que se van a procesar P, por ejemplo, transportados en un plano de rodillos u otro sistema de movimiento adecuado 7, por ejemplo, un transportador de rodillos continuo adecuado.

10 Además, el horno 1 está provisto de un sistema estabilizador de la combustión 9, que a su vez comprende:

- un sistema de inyección que, a su vez, incluye, como mínimo, un mezclador

15 11 dispuesto para mezclar un combustible y un diluyente antes de inyectarlos en la cámara caliente 3, donde el diluyente tiene el efecto de reducir la cantidad de óxidos de nitrógeno (NOx) en los productos resultantes de la combustión entre el combustible y un comburente adecuado, como, por ejemplo, el oxígeno atmosférico. Además, el sistema de inyección puede incluir, por ejemplo, bombas adecuadas 23 que suministran el combustible y el diluyente al mezclador 11.

20 El mezclador 11 puede estar formado por un tubo de chorro o un inyector 12, a su vez formado por una varilla tubular externa u otro conducto exterior 13 que contenga en su interior una varilla tubular u otro conducto interior 15 (figura 3). Uno del conducto exterior 13 y el conducto interior 15 se suministra con el combustible, por ejemplo, una mezcla de hidrocarburos gaseosos o líquidos, mientras que el otro del conducto interior 15 o del conducto exterior 13 se suministra con un diluyente. El diluyente puede ser, ventajosamente, vapor de agua que, a diferencia de otros y además de tener un bajo coste, ofrece la ventaja de no añadir compuestos a la combustión.

25 Preferentemente, la varilla tubular o el conducto interior 15 está provista, en o cerca de su punta, de uno o más orificios de inyección 150 a través de los cuales se inyecta el combustible o el diluyente en el flujo, respectivamente, de diluyente o de combustible que fluye en el conducto exterior 13. Una vez mezclados en el conducto exterior 13, el combustible y el diluyente son expulsados hacia el exterior (por ejemplo, introducidos en la cámara de combustión 3), por ejemplo, a través de un último tramo del conducto convergente 25.

30 Se insertan uno o varios inyectores 12, preferentemente, en un quemador relativo 14, que enciende la mezcla de combustible y de diluyente posiblemente después de haberlos mezclado con un comburente (por ejemplo, oxígeno) además del oxígeno de la atmósfera.

35 La referencia PF de la fig. 3 indica la pared interior del horno a través de la cual el quemador o los quemadores conducen y miran hacia la cámara caliente 3.

40 El horno 1 puede estar provisto de varios mezcladores 11 o inyectores 12 para mejorar aún más la distribución de combustible y diluyente en la cámara 3.

45 Además, el horno 1 está provisto de un sistema de control que está dispuesto para actuar sobre el sistema de inyección de manera que se elimine o, en cualquier caso, se reduzca la formación de llamas y otros puntos calientes durante la combustión en la cámara caliente. Por «puntos calientes», en la presente descripción, entendemos las zonas relativamente pequeñas con respecto al volumen total de la cámara caliente correspondientes a una concentración de temperatura y que a menudo pueden manifestarse como una llama globular, con un diámetro de unos pocos centímetros y que son visibles a simple vista.

50 Según la invención, el sistema de control 17 comprende al menos un detector de vibración 19 que está dispuesto de tal manera que detecte vibraciones ópticas, electromagnéticas, mecánicas (por ejemplo, un micrófono acústico o un acelerómetro) en la cámara caliente 3 y que controle el sistema de inyección según las detecciones del detector de vibración para eliminar o, en cualquier caso, reducir la formación de llamas y otros puntos calientes durante la combustión en la cámara caliente, a fin de mantener una combustión sin llama en la cámara caliente 3 tanto como sea posible.

55 Preferentemente, al menos un detector de vibraciones 19 está dispuesto para detectar vibraciones, como mínimo, en una banda de frecuencia que está substancialmente comprendida entre 10 hercios y 30 kilohercios, y más preferiblemente, como mínimo, en una banda comprendida entre 20 hercios y 20 kilohercios. En efecto, se ha comprobado que estas bandas de frecuencias sustancialmente acústicas son especialmente importantes para detectar la posible presencia de puntos calientes inestables, así como su formación y desaparición.

60 De forma ventajosa, al menos un detector de vibraciones consta de un fotodetector, es decir, un sensor de radiación electromagnética en el espectro visible o infrarrojo o ultravioleta. Un fotodetector ofrece la ventaja de no verse afectado por las inevitables vibraciones mecánicas y por los ruidos presentes en el horno y en la fábrica en la que se encuentra,

65

- 5 y proporciona una indicación significativa solo en los puntos calientes y sobre si la combustión se produce sin llama o con llama. La detección en el campo ultravioleta fue particularmente eficaz y significativa, aunque es preferible cubrir, en las detecciones, las frecuencias UV y las frecuencias IR, así como las del espectro visible: esto permite detectar con mayor precisión y fiabilidad los puntos calientes que no pueden ser detectados en el espectro visible único, es decir, los puntos calientes que no son luminosos y que no están asociados a una llama.
- 10 El fotodetector puede comprender, por ejemplo, un sensor que se selecciona entre los siguientes grupos: un fotorresistor, un fotodiodo, un fototransistor, una fotocélula o una célula fotovoltaica. El fotodetector se dirige directamente a la cámara caliente 3. Preferentemente, el detector de vibraciones 19 comprende también un colimador óptico 190 que, a su vez, comprende, por ejemplo, una o varias lentes, espejos u otras dioptrías, que coliman los rayos procedentes de la cámara caliente sobre el fotodetector.
- 15 El sistema de control está compuesto, además, por una unidad lógica 21 programada o dispuesta para la adquisición de las detecciones del detector de vibraciones 19, procesando y generando, a partir de ellas, las señales de accionamiento adecuadas que actúan sobre el sistema de inyección y, en particular, sobre el mezclador o sobre los mezcladores 11. La unidad lógica 21 puede estar formada, por ejemplo, por uno o más microprocesadores programables.
- 20 La unidad lógica 21 está programada o dispuesta de tal manera que actúa sobre el sistema de inyección comparando el espectro de frecuencia de la señal de salida del detector (o de los detectores) de vibraciones 19 con un espectro de frecuencia «ideal» o con una referencia, que corresponde a un funcionamiento óptimo del horno 1 con una combustión sin llama. Para ello, la unidad lógica 21 puede evaluar las diferencias punto por punto entre los dos espectros o las diferencias medias en las bandas de frecuencias que son suficientemente pequeñas y posiblemente ponderadas con coeficientes adecuados. Preferentemente, los espectros también se comparan en una banda de frecuencias que está comprendida sustancialmente entre 10 hercios y 30 kilohercios y, más preferiblemente, entre 20 hercios y 20 kilohercios.
- 25 Para controlar el sistema de inyección, la unidad lógica puede programarse o, en cualquier caso, disponerse de manera que pueda activar varias alternativas de algoritmos, por ejemplo, algoritmos de control óptimos, controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo), algoritmos de autoaprendizaje.
- 30 El horno 1 puede estar provisto de muchos mezcladores 11 o inyectores 12 que se controlan tomando como base las detecciones de un solo detector de vibraciones 19, o con un número N de inyectores 12 o mezcladores 11 que se controlan tomando como base las detecciones de los detectores de vibraciones M 19, donde M y N son mayores que 1, y M y N pueden ser iguales o diferentes entre sí.
- 35 En una realización, cada mezclador 11 se controla tomando como base las detecciones de un solo detector de vibraciones 19 que está asociado con dicho mezclador y está colocado cerca del mezclador 11 en cuestión, es decir, $M = N$, de modo que, por ejemplo, cada par de mezclador 11/detector 19 supervisa y controla una parte de la cámara caliente más cercana a ellos. En otra realización, un número N de inyectores 12 o mezcladores 11 que son controlados basados en las detecciones de detectores de vibración M 19, donde M y N son ambos mayores que 1, $M < N$ y cada mezclador 11 es conducido basado en las detecciones de varios detectores de vibración 19.
- 40 El ajuste de cada mezclador 11 o inyector 12 puede ser ON/OFF, es decir, simplemente consiste en activar o desactivar el mezclador o los mezcladores 11, o una variación continua (o, en cualquier caso, con varios niveles) del caudal total de combustible de mezcla + diluyente dispensado por cada mezclador 11. La relación entre el caudal de combustible y el del diluyente dispensado por cada mezclador puede ser constante o variable en el tiempo, incluso si el control con relación constante entre los caudales de combustible y de diluyente es capaz de proporcionar rendimientos muy satisfactorios.
- 45 El sistema de control puede ser de tipo alimentación anticipada o retroalimentación. En la versión de alimentación anticipada, la unidad lógica 21 puede accionar uno o más inyectores 12 o mezcladores 11 para reducir y posiblemente anular las diferencias entre el espectro de frecuencia del horno detectado por uno o más detectores de vibración 19 y el espectro del horno que funciona en condiciones sin llama ideales. En el control de alimentación anticipada, es decir, el sistema de control verifica la divergencia del estado actual del sistema con respecto al estado de referencia (monitorización) que tiene los niveles de emisión óptimos, obteniéndose dicho estado de referencia, por ejemplo, mediante una caracterización experimental del quemador realizada en el laboratorio en condiciones en las que el proceso puede ser perfectamente controlado. En consecuencia, evalúa el grado de divergencia respecto al nivel de referencia y activa, desactiva o modifica la cantidad de caudal del líquido y la localización de la inyección del mismo actuando sobre el correspondiente dispositivo de control del sistema de inyección. Por otro lado, en el ajuste de retroalimentación, es posible, por ejemplo, verificar continuamente, a través del sistema de monitorización ya mencionado, la variación de la señal resultante de la variación de la cantidad de fluido inyectado y modificarla en función de la reducción de emisiones estimada en función de la señal.
- 50 El sistema de control puede ser de tipo alimentación anticipada o retroalimentación. En la versión de alimentación anticipada, la unidad lógica 21 puede accionar uno o más inyectores 12 o mezcladores 11 para reducir y posiblemente anular las diferencias entre el espectro de frecuencia del horno detectado por uno o más detectores de vibración 19 y el espectro del horno que funciona en condiciones sin llama ideales. En el control de alimentación anticipada, es decir, el sistema de control verifica la divergencia del estado actual del sistema con respecto al estado de referencia (monitorización) que tiene los niveles de emisión óptimos, obteniéndose dicho estado de referencia, por ejemplo, mediante una caracterización experimental del quemador realizada en el laboratorio en condiciones en las que el proceso puede ser perfectamente controlado. En consecuencia, evalúa el grado de divergencia respecto al nivel de referencia y activa, desactiva o modifica la cantidad de caudal del líquido y la localización de la inyección del mismo actuando sobre el correspondiente dispositivo de control del sistema de inyección. Por otro lado, en el ajuste de retroalimentación, es posible, por ejemplo, verificar continuamente, a través del sistema de monitorización ya mencionado, la variación de la señal resultante de la variación de la cantidad de fluido inyectado y modificarla en función de la reducción de emisiones estimada en función de la señal.
- 55 El sistema de control puede ser de tipo alimentación anticipada o retroalimentación. En la versión de alimentación anticipada, la unidad lógica 21 puede accionar uno o más inyectores 12 o mezcladores 11 para reducir y posiblemente anular las diferencias entre el espectro de frecuencia del horno detectado por uno o más detectores de vibración 19 y el espectro del horno que funciona en condiciones sin llama ideales. En el control de alimentación anticipada, es decir, el sistema de control verifica la divergencia del estado actual del sistema con respecto al estado de referencia (monitorización) que tiene los niveles de emisión óptimos, obteniéndose dicho estado de referencia, por ejemplo, mediante una caracterización experimental del quemador realizada en el laboratorio en condiciones en las que el proceso puede ser perfectamente controlado. En consecuencia, evalúa el grado de divergencia respecto al nivel de referencia y activa, desactiva o modifica la cantidad de caudal del líquido y la localización de la inyección del mismo actuando sobre el correspondiente dispositivo de control del sistema de inyección. Por otro lado, en el ajuste de retroalimentación, es posible, por ejemplo, verificar continuamente, a través del sistema de monitorización ya mencionado, la variación de la señal resultante de la variación de la cantidad de fluido inyectado y modificarla en función de la reducción de emisiones estimada en función de la señal.
- 60 El sistema de control puede ser de tipo alimentación anticipada o retroalimentación. En la versión de alimentación anticipada, la unidad lógica 21 puede accionar uno o más inyectores 12 o mezcladores 11 para reducir y posiblemente anular las diferencias entre el espectro de frecuencia del horno detectado por uno o más detectores de vibración 19 y el espectro del horno que funciona en condiciones sin llama ideales. En el control de alimentación anticipada, es decir, el sistema de control verifica la divergencia del estado actual del sistema con respecto al estado de referencia (monitorización) que tiene los niveles de emisión óptimos, obteniéndose dicho estado de referencia, por ejemplo, mediante una caracterización experimental del quemador realizada en el laboratorio en condiciones en las que el proceso puede ser perfectamente controlado. En consecuencia, evalúa el grado de divergencia respecto al nivel de referencia y activa, desactiva o modifica la cantidad de caudal del líquido y la localización de la inyección del mismo actuando sobre el correspondiente dispositivo de control del sistema de inyección. Por otro lado, en el ajuste de retroalimentación, es posible, por ejemplo, verificar continuamente, a través del sistema de monitorización ya mencionado, la variación de la señal resultante de la variación de la cantidad de fluido inyectado y modificarla en función de la reducción de emisiones estimada en función de la señal.
- 65 A continuación, describiremos un ejemplo del funcionamiento del horno 1, utilizado, por ejemplo, para calentar productos metalúrgicos semielaborados como, por ejemplo, desbastes, barras o alambres de acero.

En el siguiente ejemplo de funcionamiento, el horno 3 está provisto de un único mezclador 11 o inyector 12 y de un único detector de vibraciones óptico 19.

5 Los productos semielaborados P entran en el horno 1 movidos por el transportador continuo 7. Cuando un número adecuado de productos semielaborados P ha entrado en la cámara caliente 3 del horno, se cierran las paredes divisorias móviles 5. Según la temperatura en la cámara caliente y las señales ópticas detectadas por el detector 19, el sistema de control, a intervalos de tiempo predeterminados (por ejemplo, con una duración constante) modifica el caudal de combustible Qc y de diluyente Qd que el inyector 12 o el mezclador 11 deben inyectar gradualmente para
10 acercarse gradualmente el espectro de frecuencia de la señal emitida por el detector 19, lo más posible al espectro de frecuencia del horno 3 en condiciones ideales de combustión sin llama, o de combustión de llama, si así se desea, por ejemplo, en el caso de transitorios específicos. Si en un momento dado el detector 19 detecta un espectro que indica una combustión no deseada con una llama, el sistema de control puede bloquear la inyección de combustible y también del diluyente en la cámara caliente o inhibir solo la inyección de combustible y continuar, posiblemente en una cantidad mayor, inyectando el diluyente hasta que se hayan restablecido las condiciones sin llama.

Se ha comprobado experimentalmente que las enseñanzas anteriores permiten reducir drásticamente las alimentaciones de diluyente, en particular, de vapor de agua, que son necesarias para reducir las emisiones de NOx en un proceso de combustión sin llama. Un primer factor que contribuye a una reducción tan considerable es la mezcla de combustible y diluyente antes de inyectarlos en la cámara caliente y, en particular, en el interior del tubo del chorro de inyección 12: de hecho, en tales condiciones, la mezcla se produce de forma más profunda y eficiente, protegida del turbulento entorno de la cámara caliente, que presenta una alteración y variabilidad mucho mayor. Dado que ya se dispensa mezclado con el combustible, el diluyente se introduce justo en la zona de la cámara caliente en la que se produce la combustión o, en cualquier caso, varía cerca de ellos, por lo que es mucho más eficaz también en
20 cantidades mucho más pequeñas. Otro factor que contribuye a una reducción tan considerable es la dosificación controlada en función de las condiciones de combustión detectadas en la cámara: el diluyente se dispensa solo donde y cuando sea necesario, y en la cantidad estrictamente necesaria. Además, las disposiciones anteriores permitieron aproximar las combustiones reales a las condiciones ideales de ausencia de llama, hasta el punto de reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno a 1 ppm, con un 3 % de O₂ en los humos secos; por el contrario, las emisiones de NOx en los procesos de ausencia de llama según el estado de la técnica nunca habían podido ser inferiores a 50-70 ppm, siempre con un 3% de O₂ en los humos secos.

Además, el sistema de control de la combustión descrito anteriormente permite optimizar muy bien las condiciones de combustión sin llama también en caso de fenómenos perturbadores y transitorios como, por ejemplo, el paso en el
35 horno 3 de piezas a tratar con dimensiones y formas considerablemente diferentes (basta con tener en cuenta la gran variedad de productos semiacabados siderúrgicos que debe calentar un único horno) o la repetida apertura y cierre de las paredes divisorias 3.

Las realizaciones anteriormente descritas pueden experimentar varias modificaciones y variantes sin apartarse del alcance de protección de la presente invención. Además, todos los detalles pueden sustituirse por elementos técnicamente equivalentes. Por ejemplo, los materiales utilizados, así como las dimensiones, pueden ser cualquiera según los requisitos técnicos. Se entenderá que la expresión del tipo «A comprende B, C, D» o «A está formado por B, C, D» comprende y describe también el caso particular en el que «A consta de B, C, D». Los ejemplos y listas de posibles variantes de la presente solicitud deben considerarse listas no exhaustivas.

45

REIVINDICACIONES

- 5 1. Horno industrial (1) que puede utilizarse, por ejemplo, para el tratamiento de productos semiacabados y siderúrgicos, metales y materiales inorgánicos, que comprenden:
- una cámara caliente (3) en la que se produce una combustión y los gases calientes generados por la combustión entran en contacto directo con los materiales que se van a tratar (p) en el propio horno;
 - un sistema estabilizador de la combustión que, a su vez, comprenda:
- 10 - un sistema de inyección que incluya, como mínimo, un mezclador (11) dispuesto para mezclar un combustible y un diluyente antes de inyectarlos en la cámara caliente (3), en la que el diluyente tiene el efecto de reducir la cantidad de óxidos de nitrógeno en los productos de combustión;
- 15 - un sistema de control dispuesto para actuar sobre el sistema de inyección de manera que se elimine o, en cualquier caso, se reduzca la formación de llamas o de otros puntos calientes durante la combustión en la cámara caliente, cuando los puntos calientes indiquen que la combustión se está produciendo en presencia de llamas,
- 20 en la que el sistema de control esté compuesto al menos por un detector de vibraciones (19) dispuesto para detectar vibraciones ópticas, electromagnéticas, acústicas o mecánicas en la cámara caliente y para controlar el sistema de inyección en función de las detecciones del detector de vibraciones (19), de forma que se elimine o, en cualquier caso, se reduzca la formación de llamas durante la combustión en la cámara caliente, de modo que la combustión se mantenga en la cámara caliente (3) en la medida de lo posible en condiciones de ausencia de llama, y
- 25 en el que el sistema de control está programado o, en cualquier caso, configurado para realizar las siguientes operaciones:
- asociar un espectro de frecuencias de destino con las condiciones de combustión en el horno que se desea alcanzar, en el que dichas condiciones de combustión son las condiciones de combustión sin llama;
 - comparar el espectro de frecuencias de destino con el espectro de frecuencias de la señal o de las señales emitidas por al menos un detector de vibraciones (19);
 - actuar, como mínimo, en un mezclador (11) o, como mínimo, un inyector (12) de manera que el caudal del combustible o diluyente introducido en la cámara caliente se aproxime al espectro de frecuencias de la señal o las señales emitidas por al menos un detector de vibraciones (19) más similar al espectro de frecuencias de destino.
- 30
- 35
- 40 2. Horno industrial según la reivindicación 1, en el que al menos un detector de vibraciones (19) está dispuesto para detectar vibraciones al menos en una banda de frecuencias comprendida sustancialmente entre 10 hercios y 30 kilohercios.
- 45 3. Horno industrial según la reivindicación 1, en el que al menos un detector de vibraciones (19) comprende un sensor seleccionado entre los siguientes grupos: un fotodetector, un fotorresistor, un fotodiodo, un fototransistor, una célula fotoeléctrica, una célula fotovoltaica y un detector de radiaciones electromagnéticas en una banda de frecuencias seleccionada de entre una o varias de las siguientes:
- frecuencias de espectro visible, frecuencias infrarrojas, frecuencias ultravioletas.
- 50
- 55 4. Horno industrial según la reivindicación 1, en el que el sistema de inyección comprende al menos un inyector (12) que a su vez comprende un conducto exterior (13) que se extiende a la cámara caliente (3), un conducto interior (15) contenido en el conducto exterior y que conduce a este último, en el que uno del conducto interior (15) y el conducto exterior (13) está conectado a una fuente de combustible, y el otro, respectivamente, del conducto exterior (13) y del conducto interior (15) está conectado a una fuente de diluyente, el sistema de inyección está dispuesto para mezclar el combustible y el diluyente en el interior del conducto exterior (13) antes de expulsarlos del conducto exterior (13).
- 60 5. Horno industrial según la reivindicación 4, en el que el conducto interior (15) se extiende y termina dentro del conducto exterior y a lo largo del mismo.
- 65 6. Horno industrial según la reivindicación 1, en el que el sistema de control está programado o, en cualquier caso, dispuesto para comparar el espectro de frecuencias de destino con el espectro de frecuencias de la señal o de las señales emitidas por al menos un detector de vibraciones (19), al menos en una banda de frecuencias comprendida sustancialmente entre 10 hercios y 30 kilohercios.
7. Procedimiento para controlar la combustión en un horno industrial (1) que tenga las características descritas en la reivindicación 1 y que comprenda las operaciones siguientes:

- a través de al menos un detector de vibraciones (19), detectar las posibles vibraciones ópticas, electromagnéticas, acústicas o mecánicas en la cámara caliente (3);
- mezclar el combustible y el diluyente en el mezclador (11), donde el diluyente es vapor de agua;
- inyectar el combustible mezclado con el diluyente en la cámara caliente (3) del horno (1) a fin de reducir la cantidad de óxidos de nitrógeno presentes en los productos de combustión, conducir la mezcla en el mezclador (11) y/o la inyección de combustible mezclado con el diluyente en la cámara caliente (3) de acuerdo con las detecciones del detector de vibraciones (19) para eliminar o, en cualquier caso, reducir la formación de llamas o de otros puntos calientes durante la combustión en la cámara caliente (3), con el objetivo de mantener la combustión en la cámara caliente (3) en la medida de lo posible en condiciones de ausencia de llama,
- asociar un espectro de frecuencias objetivo con las condiciones de combustión en el horno que se desea alcanzar, en las que dichas condiciones de combustión son las condiciones de combustión sin llama;
- comparar el espectro de frecuencias de destino con el espectro de frecuencias de la señal o de las señales emitidas por al menos un detector de vibraciones (19);
- actuar, como mínimo, en un mezclador (11) o, como mínimo, un inyector (12) de manera que el caudal del combustible o diluyente introducido en la cámara caliente se aproxime al espectro de frecuencias de la señal o las señales emitidas por al menos un detector de vibraciones (19) más similar al espectro de frecuencias de destino.

Fig.1

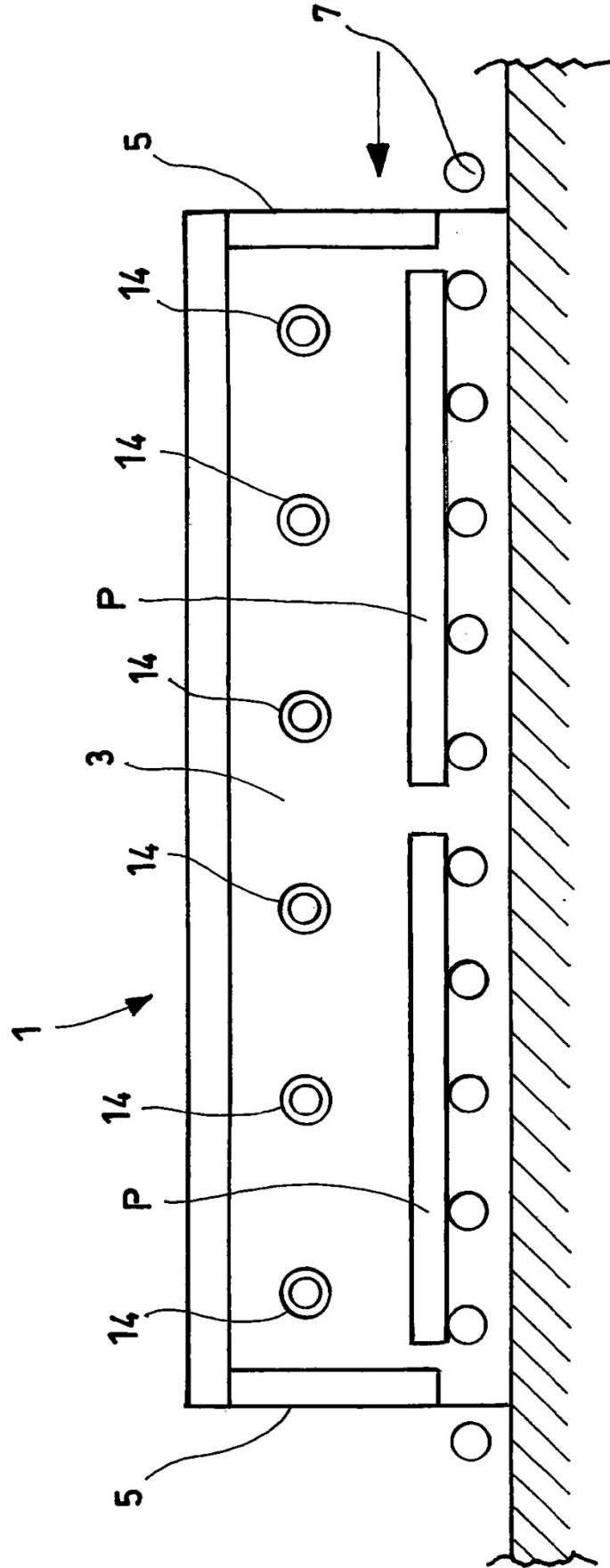


Fig.2

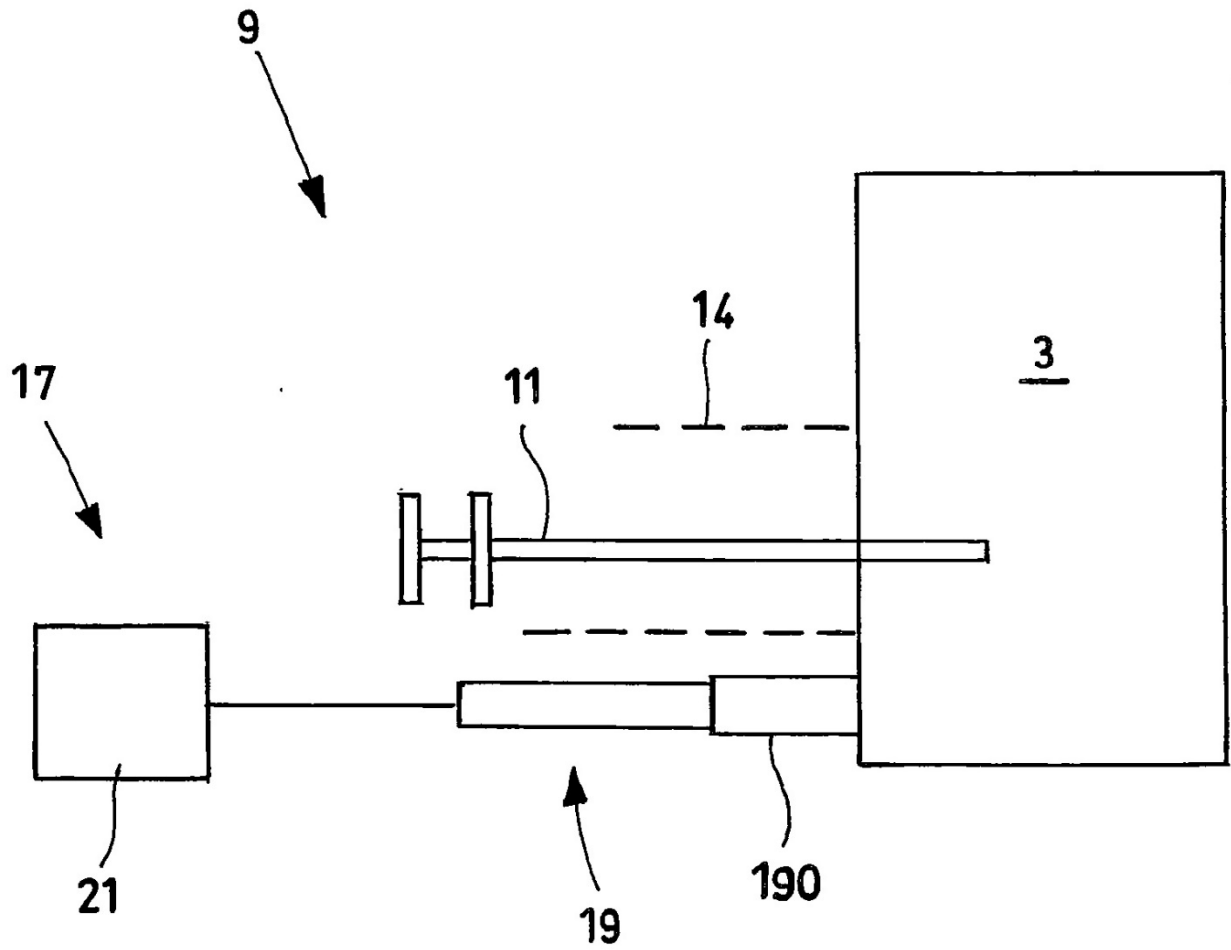


Fig.3

