

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 601**

51 Int. Cl.:

<b>G01N 21/39</b>	(2006.01)
<b>F23N 5/00</b>	(2006.01)
<b>F24H 9/00</b>	(2006.01)
<b>G01N 21/84</b>	(2006.01)
<b>F23N 5/08</b>	(2006.01)
<b>G02B 5/122</b>	(2006.01)
<b>F23M 11/04</b>	(2006.01)
<b>F23M 20/00</b>	(2014.01)
<b>G01J 3/02</b>	(2006.01)
<b>G01J 3/42</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.03.2013 PCT/US2013/032479**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **24.10.2013 WO13158311**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2013 E 13779007 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2017 EP 2839265**

54 Título: **Retroreflectores en el horno con el espectrómetro de absorción del láser del diodo sintonizable orientable**

30 Prioridad:

**19.04.2012 US 201261635733 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.11.2017**

73 Titular/es:

**ZOLO TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)  
4946 North 63rd Street  
Boulder, CO 80301, US**

72 Inventor/es:

**HOWELL, JIM;  
MASTERSON, BERNARD PATRICK;  
HARRIS, ROD;  
GILTNER, DAVID;  
JOBSON, ATILIO;  
ESTES, MICHAEL JOHN y  
SAPPEY, ANDREW D.**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 644 601 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**

Retroreflectores en el horno con el espectrómetro de absorción del láser del diodo sintonizable orientable

5 Campo técnico

La presente divulgación está dirigida hacia un método y un horno de combustión que incluye un aparato para medir las propiedades de combustión en un interior del horno, y más particularmente hacia un método y un horno de combustión que incluye un aparato para medir las propiedades de combustión en el horno que usa retroreflectores en el horno en combinación con un espectrómetro de absorción de láser de diodo sintonizable orientable.

Antecedentes

15 La patente de EEUU No. 7,469,092 describe un método y un aparato para la monitorización y control de un procedimiento que usa espectroscopia de absorción de láser de diodo sintonizable (TDLAS). En resumen, el método de TDLAS y el aparato implican dirigir un haz de luz, que puede ser un haz multiplexado de un número de longitudes de onda distintas, en una cámara de combustión de caldera u horno para medir las propiedades de combustión de la caldera o del horno tales como la temperatura y la concentración de varias especies de combustión que incluyen CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Las técnicas de monitorización de TDLAS se basan en una relación predeterminada entre la cantidad y la naturaleza de la luz láser recibida por un detector después de que la luz ha sido transmitida a través de una región de interés y absorbida en bandas espectrales específicas que son características de la especie de gas resultante de la combustión. El espectro de absorción recibido por el detector puede usarse para determinar la cantidad de una especie de gas bajo análisis más parámetros de combustión asociados tales como temperatura.

25 La técnica requiere una línea de visión a través de la caldera u horno. De hecho, típicamente se requieren muchas líneas de visión, ya que a menudo es deseable medir las propiedades de combustión en múltiples ubicaciones de calderas o de hornos. Típicamente, un haz láser multiplexado de longitud de onda se transmite desde una óptica de paso a una óptica de captura en el lado opuesto de la caldera u horno. Ciertas aplicaciones requieren hasta 15 o más trayectorias de medición, requiriendo así 15 o más pares ópticos de paso/captura y 30 o más penetraciones de horno. Sin embargo, el uso de 15 o más pares de ópticas de paso/captura sustancialmente idénticas y la necesidad de 30 o más penetraciones correspondientes del horno impone altos costes, sin mencionar el aumento de las complejidades del sistema. En algunos casos, la instalación del sistema puede requerir años de espera para el cierre programado de la caldera u horno.

35 Debido a los costes y complejidades de la óptica y de las correspondientes penetraciones del horno, la viabilidad del sistema convencional está limitada en el caso donde se desee monitorear (y tal vez también controlar) un mayor número de zonas de combustión dentro del horno.

La presente invención está dirigida a superar uno o más de los problemas discutidos anteriormente.

40 Resumen de las realizaciones

Un primer aspecto de la divulgación es un método para monitorear las propiedades de combustión en un interior de un horno de combustión (que incluye, pero sin limitarse a, temperaturas y concentraciones de diversas especies de combustión), como se definió en la reivindicación 1. El método comprende proporcionar al menos una penetración en una pared del horno; proporcionar al menos dos superficies que hacen retroreflexión dentro de un interior del horno; proyectar un haz de luz a través de una óptica que comprende un lente de colimación que reside fuera del interior del horno, estando el lente de colimación acoplado ópticamente a la por lo menos una penetración para proyectar el haz hacia el interior del horno hacia unas primeras superficies que hacen retroreflexión de las al menos dos superficies que hacen retroreflexión; recibir el haz de luz desde las primeras superficies que hacen retroreflexión con la óptica; medir las propiedades de combustión en base al haz de luz recibido de las primeras superficies que hacen retroreflexión; dirigir el haz de luz a través de la óptica hasta una segunda superficie retroreflectora de las al menos dos superficies que hacen retroreflexión; recibir el haz de luz desde la segunda superficie que hacen retroreflexión con la óptica; y medir las propiedades de combustión en base a al menos el haz de luz recibido de la segunda superficie retroreflectora. Tal como se usa aquí, un retroreflector se define ampliamente como un dispositivo óptico que redirige la luz láser incidente hacia su fuente, independientemente del ángulo de incidencia, siempre y cuando el haz sea incidente sobre una abertura del reflector.

De acuerdo con algunas realizaciones, el haz de luz se propaga/proyecta a través de una fibra multimodo y a través de la óptica que comprende el lente de colimación, reflejado desde una de las superficies que hacen retroreflexión, recibida por el mismo lente de colimación, y propagada en la dirección inversa dentro de la misma fibra multimodo.

En algunas realizaciones, la al menos una penetración incluye una de las penetraciones circulares y penetraciones alargadas paralelas a una pluralidad de tubos de vapor paralelos separados por membranas metálicas incorporadas en la pared del horno. Por ejemplo, algunas calderas de plantas de generación eléctrica de combustión de carbón requieren tubos de vapor paralelos. Para hornos sin los tubos de vapor, se puede usar cualquier forma de

penetraciones (por ejemplo, triángulo, cuadrado, rectángulo, elipse, otros polígonos, etc.), siempre y cuando el haz pueda ser proyectado y/o recibido efectivamente a través de la misma.

5 De acuerdo con algunas realizaciones, cada una de las al menos dos superficies que hacen retrorreflexión está hecha de un material seleccionado del grupo que consiste en zafiro y cuarzo. En una realización, cada una de las al menos dos superficies que hacen retrorreflexión es una de un solo retroreflector grande o un conjunto de elementos que hacen retrorreflexión más pequeños. En algunas realizaciones, las al menos dos superficies que hacen retrorreflexión incluyen al menos una de una óptica retrorefractora de cubo de esquina o una esfera retrorefractora de ojo de gato. En algunas realizaciones, la primera y segunda superficies que hacen retrorreflexión son primera y segunda porciones de una única superficie retrorefractora que comprende un conjunto de retroreflectores discretos, y en el que la dirección desde la primera superficie retrorefractora a la segunda superficie retrorefractora se dirige desde la primera porción a la segunda porción de la única superficie retrorefractora.

10 Como se usa aquí, la referencia a, o mención de, retroreflectores puede indicar cualquiera de (a) un retroreflector único, grande situado en una posición discreta en un horno para el cual se desee supervisar y/o controlar los procedimientos de combustión (por ejemplo, un "retroreflector discreto"), (b) un conjunto de elementos retroreflectores discretos más pequeños (es decir, un "conjunto de retroreflectores" o "retroreflector de conjunto") que sustituyen al único, retroreflector grande descrito en (a).

15 De acuerdo con algunas realizaciones, el método incluye además proporcionar una estructura de montaje para montar cada superficie retrorefractora dentro del interior del horno colocada en un lado del horno opuesto a un lado del interior del horno sobre el cual están posicionados los quemadores emisores de llama, en el que cada uno de los al menos dos reflectores está configurado para fijarse a una estructura de montaje. La al menos una estructura de montaje puede incluir una estructura de montaje cerámica que tiene ranuras en las que se sostiene cada retroreflector. Alternativamente, se puede usar alambre de nicromo (que puede estar hecho de, por ejemplo, aleación de nicromo que incluye 80% de níquel y 20% de cromo) para asegurar cada uno de los retroreflectores a una estructura de montaje. En algunas realizaciones, el horno incluye un techo y un suelo, el techo y el suelo son sustancialmente perpendiculares a la pared del horno, y en el que los quemadores emisores de llama están montados en el techo, mientras que cada estructura de montaje está montada en el suelo. Las realizaciones podrían incluir también más de un retroreflector acoplado a una estructura de montaje. Por ejemplo, en realizaciones donde el retroreflector comprende una pluralidad de pequeños retroreflectores, e incluso en realizaciones donde dos o más retroreflectores grandes están unidos a una única estructura de montaje.

20 En base a algunas realizaciones, proporcionar los al menos dos retroreflectores dentro del interior del horno incluye disponer una pluralidad de retroreflectores en al menos una de una configuración de un solo plano, una configuración de múltiples planos, una configuración ajustada previamente, y una configuración arbitraria en todo el interior del horno. En algunas realizaciones, cada plano de la configuración de un solo plano y la configuración de múltiples planos es ya sea perpendicular a la pared del horno o paralela al haz de luz proyectado a través de la óptica.

25 De acuerdo con la invención, dirigir el haz que usa la óptica incluye inclinar la óptica aproximadamente al menos uno de dos ejes ortogonales que son perpendiculares a un eje óptico de la por lo menos una penetración.

30 De acuerdo con una realización, recibir el haz de luz incluye recibir el haz en una fibra óptica multimodo, y en el que la medición de las propiedades de combustión incluye filtrar ruido promediando la variación de nivel de señal inducida por ruido modal de luz propagándose dentro de la fibra óptica multimodo.

35 De acuerdo con algunas realizaciones, proporcionar los al menos dos retroreflectores incluye proporcionar una pluralidad de retroreflectores situados dentro del interior del horno para monitorear zonas de combustión dentro del horno, en el que la proyección del haz de luz incluye proyectar el haz hacia cada una de la pluralidad de retroreflectores, y en la que la medición de las propiedades de combustión incluye el cálculo de las propiedades de combustión tomando en cuenta las mediciones del haz reflejado y recibido desde cada zona.

40 En algunas realizaciones, la óptica incluye además un lente de relé que reside fuera del interior del horno, estando el lente de relé acoplado ópticamente al lente de colimación y ópticamente acoplado a la por lo menos una penetración para proyectar el haz hacia el interior del horno hacia cada uno del primer y segundo reflectores de los al menos dos reflectores.

45 Un segundo aspecto de la divulgación es un horno de combustión como se definió en la reivindicación 5, el horno de combustión que comprende una pared que rodea un interior del horno, la pared que está provista con al menos una penetración, el horno de combustión que además comprende un aparato para detectar propiedades de combustión en un interior de un horno de combustión (incluyendo, pero no limitado a, temperaturas y concentraciones de diversas especies de combustión). El aparato comprende un láser de diodo sintonizable, un lente de colimación, al menos dos retroreflectores; una plataforma cinemática de inclinación, y un detector. El láser de diodo tiene una frecuencia de láser de selección. El lente de colimación está ópticamente acoplado a un haz generado por el láser de diodo, el lente de colimación que está configurado para proyectar el haz desde el láser de diodo en una penetración en una pared del horno. Los al menos dos retroreflectores están situados dentro de un interior del horno, y cada uno está configurado

- 5 para reflejar el haz del lente de colimación de retorno al lente de colimación. La plataforma de inclinación cinemática incluye al menos un motor paso a paso, un accionamiento de motor y una plataforma acoplada al lente de colimación t. El al menos un motor paso a paso está configurado para inclinar la plataforma aproximadamente a al menos uno de dos ejes ortogonales que son perpendiculares a un eje óptico de la primera penetración, con el fin de dirigir el haz de luz de uno a otro de los al menos dos retroreflectores. El detector es de un tipo que es sensible a la frecuencia de láser de selección ópticamente acoplada al lente de colimación.
- 10 El aparato, de acuerdo con algunas realizaciones, comprende además una fibra multimodo a través de la cual el haz se propaga desde el láser de diodo al lente de colimación. El lente de colimación está configurado para proyectar el haz desde el láser de diodo y la fibra multimodo a través de una penetración a una de al menos dos superficies que hacen retroreflexión situadas en el interior del horno. El lente de colimación está configurado adicionalmente para recibir el haz reflejado desde dicha una de al menos dos superficies que hacen retroreflexión, y para transmitir el haz reflejado a través de la misma fibra multimodo al detector, que está ópticamente acoplado a la fibra multimodo.
- 15 De acuerdo con algunas realizaciones, la primera penetración incluye una de penetraciones circulares y penetraciones alargadas paralelas a una pluralidad de tubos de vapor paralelos a la pared del horno. Típicamente sólo las calderas requieren los tubos de vapor paralelos. Para hornos sin los tubos de vapor, se puede usar cualquier forma de penetración, siempre y cuando el haz pueda ser proyectado y/o recibido a través de la misma.
- 20 En algunas realizaciones, cada uno de los al menos dos retroreflectores está hecho de un material seleccionado del grupo que consiste en zafiro y cuarzo. En una realización, cada uno de los al menos dos retroreflectores es un conjunto de elementos de retroreflectores más pequeños. En algunas realizaciones, los al menos dos reflectores incluyen al menos una de una óptica que hacen retroreflexión de cubo de esquina y una esfera que hacen retroreflexión de ojo de gato.
- 25 De acuerdo con algunas realizaciones, el aparato comprende además una estructura de montaje para montar cada superficie que hacen retroreflexión dentro del interior del horno posicionada en un lado del horno opuesto a un lado del interior del horno sobre el cual están situados los quemadores emisores de llama, en el que cada uno de los al menos dos retroreflectores está configurado para ser fijado a una estructura de montaje. En una realización, cada estructura de montaje incluye una estructura de montaje de cerámica que tiene ranuras en las que se sostiene cada retroreflector. En otra realización, cada uno de los al menos dos retroreflectores se asegura a una estructura de montaje a través de un alambre de nicromo (que puede estar hecho de, por ejemplo, aleación de nicromo que incluye 80% de níquel y 20% de cromo). Las realizaciones podrían incluir también más de un retroreflector acoplado a una estructura de montaje. Por ejemplo, en realizaciones donde el retroreflector comprende una pluralidad de pequeños reflectores, e incluso en realizaciones donde dos o más retroreflectores mayores están unidos a una única estructura de montaje.
- 30 En base a algunas realizaciones, el horno incluye un techo y un suelo, el techo y el suelo son sustancialmente perpendiculares a la pared del horno, y en el que los quemadores emisores de llama están montados en el techo, mientras que cada estructura de montaje está montada en el suelo.
- 35 En varias realizaciones, los al menos dos retroreflectores incluyen una pluralidad de retroreflectores dispuestos en al menos una de una configuración de un solo plano, una configuración de múltiples planos, una configuración ajustada previamente y una configuración arbitraria a través de todo el interior del horno. En algunas realizaciones, cada plano de la configuración de un solo plano y la configuración de múltiples planos es ya sea perpendicular a la pared del horno o paralelo al haz de luz proyectado a través de la óptica.
- 40 En algunas realizaciones, los al menos dos retroreflectores incluyen una pluralidad de retroreflectores situados dentro del interior del horno para monitorear zonas de combustión dentro del horno, en donde el lente de colimación proyecta el haz hacia cada uno de la pluralidad de retroreflectores, y en el que el detector calcula las propiedades de combustión tomando en cuenta las mediciones de los haces reflejados y recibidos desde cada zona.
- 45 El aparato, de acuerdo con algunas realizaciones, incluye además un lente de relé. El lente de relé está ópticamente acoplado al lente de colimación y la penetración, y está configurado para proyectar el haz desde el láser de diodo, a través del lente de colimación y la penetración, a los al menos dos retroreflectores.
- 50 Un tercer aspecto de la divulgación está dirigido a un software de ordenador almacenado en un medio grabable que cuando es ejecutado por un procesador (por ejemplo, uno en un propósito general o un ordenador específico de aplicación) hace que el procesador: acceda a una base de datos para determinar ubicaciones de retroreflectores dentro de un interior de un horno; enviar instrucciones a un accionamiento de motor para accionar al menos un motor paso a paso para inclinar una plataforma sobre la que se alojan ópticas de transmisión/recepción, de manera que dirige un haz proyectado desde las ópticas de transmisión/recepción a uno de los retroreflectores en base a la ubicación determinada de los retroreflectores; recibir y almacenar una señal procedente de un detector acoplado ópticamente a las ópticas de transmisión/recepción que han detectado el haz reflejado de retorno a la óptica de transmisión/recepción desde dicho uno de los reflectores; y calcular las propiedades de combustión en base a la señal recibida y almacenada del detector.
- 55
- 60
- 65

- En algunos ejemplos, el software de ordenador cuando se ejecuta por el procesador hace además que el procesador: envíe instrucciones al accionamiento de motor, de manera que hacer saltar el haz a cada uno de los retroreflectores dentro de una primera zona predeterminada del horno, en base a la ubicación determinada de los retroreflectores; recibir y almacenar señales desde el detector que ha detectado el haz reflejado de retorno a la óptica de transmisión/recepción desde cada uno de dichos retroreflectores dentro de la primera zona predeterminada del horno; y calcular las propiedades de combustión de la primera zona predeterminada en base a las señales recibidas y almacenadas desde el detector.
- De acuerdo con algunos ejemplos, el software de ordenador, cuando es ejecutado por el procesador, hace además que el procesador: envíe instrucciones al accionamiento de motor, de manera que hace saltar el haz a cada uno de los retroreflectores dentro de una segunda zona predeterminada del horno, en base a la ubicación determinada de los retroreflectores; recibir y almacenar señales desde el detector que ha detectado el haz reflejado de retorno a la óptica de transmisión/recepción desde cada uno de dichos retroreflectores dentro de la segunda zona predeterminada del horno; y calcular las propiedades de combustión de la segunda zona predeterminada en base a las señales recibidas y almacenadas del detector, teniendo en cuenta las propiedades de combustión calculadas de la primera zona predeterminada.
- En algunos ejemplos, el software de ordenador cuando es ejecutado por el procesador hace además que el procesador: envíe instrucciones al accionamiento de motor, de manera que dirige el haz a una pluralidad de porciones de dicho uno de los retroreflectores; reciba y almacene una señal de calibración del detector que ha detectado el haz reflejado de retorno desde dicha pluralidad de porciones de dicho uno de los retroreflectores; determine una posición óptima en base a cuál de la pluralidad de porciones de dicho uno de los retroreflectores refleja la señal de calibración más fuerte; y enviar instrucciones al accionamiento del motor, de modo que conduzca el haz a la posición óptima. Esta característica de alineación propia permite que las ópticas de transmisión/recepción mantengan la alineación óptica con el retroreflector en el horno y consigo mismo, aunque las ópticas de transmisión/recepción y el retroreflector estén empujados sobre un horno o cámara de proceso hostil que es, por sí mismo, sujeto al movimiento de efectos térmicos o de viento y vibración.
- El método y el horno que comprende el aparato para medir las propiedades de combustión en un interior del horno descrito aquí permite la detección de propiedades de combustión sin tener que usar ópticas de paso y de captura separadas, lo que resulta en al menos la mitad del número de puertos necesarios y la configuración óptica y equipo de alineación. El método y el aparato permiten adicionalmente reducir aún más el número de equipos ópticos de configuración y alineación usando sistemas de espectroscopia de absorción de láser de diodos sintonizables orientables en conjunción con un conjunto de retroreflectores en el horno, que juntos permiten un número máximo de trayectorias de haz con un número mínimo de equipo óptico de configuración y alineación. Por lo tanto, el método y el aparato permiten que los muchos beneficios de la monitorización de la combustión se disfruten eficientemente, económicamente y con menos complejidad, en comparación con sistemas que no usan ni una combinación de óptica de paso/captura y/o sistemas de espectroscopia de absorción láser de diodos sintonizables orientables acoplados a los retroreflectores en el horno.
- Breve descripción de los dibujos
- Las Figs. 1A y 1B ilustran penetraciones alternativas en la pared de una caldera u horno para proporcionar acceso óptico al interior de la caldera o del horno.
- Las Figs. 2A y 2B ilustran ópticas orientables de paso/captura para dirigir el haz dentro del interior de la caldera u horno.
- La Fig. 3 es una ilustración esquemática de una realización de ópticas alineables y orientables de paso/captura.
- La Fig.4 es una ilustración esquemática de una realización alternativa de ópticas alineables y orientables de paso/captura.
- La Fig. 5 es una ilustración esquemática de una realización de un sistema de espectroscopia de absorción de láser de diodos sintonizables orientables con una combinación de óptica de paso/captura usada en conjunción con un conjunto de retroreflectores en el horno.
- La Fig. 6 es una ilustración esquemática de vista superior de una realización de un conjunto de ópticas de paso/captura de combinación usadas en conjunción con un conjunto de retroreflectores en el horno.
- La Fig. 7 es una ilustración esquemática de vista superior de una realización de un sistema de espectroscopia de absorción de láser de diodo sintonizable orientable con una combinación de óptica de paso/captura usada en conjunción con un conjunto de retroreflectores en el horno.

La Fig. 8 es una ilustración esquemática en vista en planta de una realización de un sistema de espectroscopia de absorción de láser de diodo sintonizable orientable con una de combinación óptica de paso/captura usada en conjunción con un conjunto de retroreflectores en el horno, donde se realiza la monitorización y control de combustión en zonas predeterminadas dentro del horno.

La Fig. 9 es una ilustración esquemática de vista lateral de una realización de un sistema de espectroscopia de absorción de láser de diodo sintonizable orientable, donde la realización 300 ilustra el seguimiento orientable 1D (en plano), mientras que la realización 400 ilustra un seguimiento orientable 2D y la realización 500 ilustra la monitorización orientable de múltiples planos.

La Fig. 10 es un diagrama de flujo que ilustra el seguimiento y la medición en base a zonas de las propiedades de combustión dentro del interior del horno.

La Fig. 11 es una vista en planta de un horno con hileras de tubos de procedimiento entre hileras de quemadores que muestran un sistema de espectroscopia de absorción de láser de diodo sintonizable orientable con una combinación de óptica de paso/captura usada en conjunción con una serie de retroreflectores en el horno, donde el seguimiento y el control de la combustión se realizan en zonas predeterminadas dentro del horno

La Fig. 12 es una vista lateral de un horno con fuego interior donde las salidas de gases de combustión están situadas en la parte inferior del horno, que muestran además un sistema de espectroscopia de absorción de láser de diodo sintonizable orientable con una combinación de óptica de paso/captura usada en conjunción con un conjunto de retroreflectores en el horno, donde la monitorización y el control de la combustión se realizan en zonas predeterminadas dentro del horno.

#### Descripción detallada

A menos que se indique lo contrario, todos los números que expresan cantidades de ingredientes, dimensiones, condiciones de reacción, etc., usados en la especificación y las reivindicaciones deben entenderse como modificados en todos los casos por el término "aproximadamente".

En esta solicitud y en las reivindicaciones, el uso del singular incluye el plural a menos que se indique específicamente lo contrario. Además, el uso de "o" indica "y/o" a menos que se indique lo contrario. Además, el uso del término "que incluye", así como otras formas, tales como "incluye" e "incluido", no es limitante. Además, términos tales como "elemento" o "componente" abarcan tanto elementos como componentes que comprenden una unidad y elementos y componentes que comprenden más de una unidad a menos que se indique específicamente lo contrario.

La Patente de EEUU No. 7,469,092 divulga un método y un aparato para la monitorización y el control de un procedimiento de combustión del tipo que requiere instalación de curvaturas de tubos en la pared de una caldera con el fin de proporcionar acceso óptico a la caldera. La Patente de EEUU No. 7,469,092 describe un sistema de detección que incorpora una característica de alineación automática que permite las ópticas de paso y captura mantengan la alineación óptica aunque estén atornillados sobre una caldera u cámara de procedimiento hostil que está, por sí misma, sujeta al movimiento de efectos térmicos o de viento y vibración. El sistema descrito proporciona ópticas de paso y captura separada que incluye lentes de colimación de paso y captura separados que están montados en plataformas de inclinación de control de retroalimentación. La luz multiplexada se pone en marcha a través de la región de medición mediante un lente de paso de colimación conectado directamente a una fibra de entrada y el lente de colimación de captura, situado en el extremo opuesto de la región de medición, acopla ópticamente la luz transmitida a una fibra de salida que es típicamente una fibra multimodo. Como un resultado, la óptica de captura debe estar orientada de manera que sea colineal con el haz que emana de la óptica de paso. Esto es necesario de manera que el haz transmitido enfocado llegue dentro del cono de aceptación de la fibra multimodo.

En lo sucesivo, los términos "caldera" y "horno" se usarán indistintamente para referirse a cualquier cámara de combustión para la que se desee la monitorización y el control del procedimiento de combustión.

Haciendo referencia a las Figs. 1-10 y en contraste con el sistema descrito en la Patente de EEUU No. 7,469,092, el sistema de acuerdo con diversas realizaciones proporciona una combinación de óptica de paso/captura que incluye un lente de colimación de paso/captura que está montado sobre plataformas de inclinación de control de retroalimentación. La luz multiplexada se lanza a través de la región de medición mediante un lente de paso de colimación conectado directamente a una fibra de entrada y el lente de captura de colimación ópticamente acopla la luz transmitida a una fibra de salida que es típicamente una fibra multimodo. Aquí, el lente de paso de colimación y el lente de captura de colimación están incorporados en el mismo lente de colimación. La luz multiplexada que se lanza a través de la región de medición se refleja de retorno a la fuente mediante al menos un retroreflector que está posicionado en el horno. Un retroreflector es un dispositivo óptico que redirige la luz láser incidente de retorno hacia su fuente independientemente del ángulo de incidencia, siempre que el haz golpee una entrada a una abertura del retroreflector.

Las Figuras 1A y 1B ilustran dos ejemplos de penetraciones 16 en la pared 12 del horno 10 para proporcionar acceso óptico al interior del horno. La Fig. 1A ilustra una pared 12 de caldera que comprende una serie de tubos 14 de vapor paralelos separados por una membrana 12a metálica. Se proporcionan curvas 14a de tubo, como se ilustra en la Fig. 1A, para desviar los tubos 14 de vapor alrededor de una penetración, que puede ser, por ejemplo, una penetración 16' circular de diámetro 2" (5.08 cm).

La Fig. 1B ilustra una realización alternativa, que se describe en el documento WO 2010/080892 A2. La Fig. 1B ilustra una penetración 16" de membrana con ranuras que tiene aproximadamente un ancho de ½ pulgada (1.27 cm) (igual al ancho de la membrana 12a) y es alargada en una dirección paralela a los tubos 14 de vapor. Esta disposición elimina la necesidad de proporcionar curvas 14a de tubo (como se muestra en la Fig. 1A), aunque de alguna manera ayuda en términos de eficiencia de recolección de luz. La alineación y mantenimiento de la alineación, sin embargo, son significativamente más difíciles de lo requerido con la penetración 16' circular de 2 pulgadas (5.08 cm) soportado por la aproximación de la curva de tubo, como se muestra en la Fig. 1A, y requiere una tolerancia de alineación más estricta.

Aunque las realizaciones mostradas en las Figs. 1A y 1B están dirigidas a una caldera que tiene tubos de vapor en las paredes de la caldera, las realizaciones no están limitadas, y pueden aplicarse a cualquier cámara de combustión para la que se desee monitorear las propiedades de combustión. En tales casos, la forma 16 de la penetración puede ser de cualquier forma (incluyendo, pero sin limitarse a, circular, sustancialmente circular, elíptica, rectangular, triangular, cuadrada, otros polígonos, etc.), siempre y cuando permita que el haz se proyecte y reciba efectivamente a través del mismo.

Haciendo referencia a las Figs. 2A y 2B, la invención proporciona un sistema 20 de dirección y alineación que comprende un lente 22 de relé, un lente 24 de colimación y una plataforma 26 ajustable. El lente 22 de relé está provisto en comunicación óptica con el lente 24 de colimación. El lente 22 de relé está alineado durante la construcción en la el eje 30 (mostrado, por ejemplo, en la Fig. 3) de la penetración 16 (que incluye la penetración 16' circular, penetración 16" de la membrana con ranuras, o penetraciones en otras formas como se ha descrito anteriormente). Con el lente 22 de relé alineado como tal, el haz recibido por el lente 22 de relé debe pasar a través de la penetración 16 en lo que es el punto focal del lente 22 de relé. El ángulo que atraviesa el haz a través de la penetración 16 se puede ajustar en dos dimensiones dirigiendo el haz del lente de colimación a diferentes posiciones en el lente de relé. Esto permite que el haz sea dirigido a través de la penetración 16 para controlar el ángulo de incidencia del haz sobre un retroreflector 42 (como se muestra en las Figs. 5-9) que se proporciona en el horno, para reflejar el haz de retorno hacia el lente 22 de relé y el lente 24 de colimación del sistema 20 de dirección y alineación. Las realizaciones como se ilustran en las Figs. 2A y 2B que incorporan un lente de relé se favorecerían más a menudo en las cámaras de combustión que tienen penetraciones estrechas, tal como se ilustra en la Fig. 1B.

Como tal, el sistema 20 de dirección y alineación proporciona una característica de alineación automática que permite que la combinación de óptica de paso y de captura mantenga la alineación óptica con el retroreflector 42 de horno y consigo mismo, aunque el sistema 20 de dirección y alineación y el retroreflector 42 están atornillados sobre una caldera u cámara de procedimiento hostil que está, por sí misma, sujeta al movimiento de los efectos térmicos o el viento y la vibración. El uso de la plataforma 26 ajustable asegura que se transporte un haz recibido colimado de máxima potencia a una fibra 25 multimodo acoplada ópticamente (como se muestra en las Figs. 3-5). Para proporcionar adicionalmente acoplamiento óptico efectivo, el haz de paso está colimado a un diámetro de aproximadamente 5 mm, en contraposición al orden de 20 mm en sistemas de la técnica anterior.

De acuerdo con diversas realizaciones, el sistema 20 de dirección y alineación puede estar configurado para dirigir el haz hacia no sólo un retroreflector 42, pero a cada uno de una pluralidad de retroreflectores 42 en el horno (como se muestra, por ejemplo, en las Figs. 7- 9), que se analizará en detalle a continuación.

La Fig. 3 ilustra esquemáticamente una realización de combinación ópticas de paso/captura orientables y alineables que sirven tanto como el transmisor que genera un haz colimado de luz láser que emerge de una fibra 25 óptica como el receptor que captura un haz colimado de luz (reflejado desde una pluralidad de retroreflectores 42 en el horno), y enfoca el haz en la fibra 25 óptica.

La combinación de ópticas de paso/captura puede estar montada en un alojamiento 28 con el lado delantero que tiene un orificio ocupado por una ventana 21. El alojamiento puede ser una carcasa NEMA-4 para proteger la combinación de ópticas de paso/captura del entorno. Como se muestra en la Fig. 3, la invención incluye un lente 24 de colimación unido a una plataforma 26 de inclinación cinemática situada para levantar e inclinar el lente 24 de colimación alrededor de ejes ortogonales (es decir, ejes X e Y) perpendiculares a un eje 30 óptico de combinación de ópticas de paso/captura orientable y alineable. En diversas realizaciones, el lente de colimación puede ser un lente individual, un lente doble o incluir más de dos lentes. La plataforma 26 de inclinación cinemática incluye la plataforma 26a, dos motores 26b paso a paso de accionamiento directo, y el accionamiento 26c de motor. Los motores 26b paso a paso están configurados para levantar e inclinar la plataforma 26a alrededor de ejes ortogonales X e Y que son perpendiculares al eje 30 óptico, y son controlados por un ordenador a través de una conexión Ethernet o similar. Esta conexión puede ser a través de una fibra óptica con el fin de evitar interferencias eléctricas. Los motores 26b paso a

paso mantienen sus posiciones cuando se elimina la potencia, de modo que la alineación óptica no se ve afectada por cortes de energía. Los motores 26b paso a paso son accionados por accionamiento 26c de motor.

5 Durante la alineación periódica o continua del sistema, el ordenador de control monitorea la cantidad de luz láser que se transmite y se detecta. Preferiblemente, se puede proporcionar una longitud de onda de alineación discreta tal como una luz visible o cercana a la luz infrarroja para procedimientos de alineación continua o periódica. Cualquier desalineación reducirá esta señal detectada. En el modo de alineación automática, el ordenador mide la señal detectada, dirige uno de los dos motores 26b paso a paso para mover una pequeña cantidad en una dirección y, a continuación, vuelve a medir la señal detectada. Si la señal aumenta, el ordenador dirige uno de los motores 26b paso a paso para moverse de retorno en la misma dirección hasta que la señal no aumente. El ordenador entonces dirige el otro motor 26b paso a paso para moverse a lo largo del eje ortogonal para maximizar la señal detectada, y luego repite todo el procedimiento para la otra cabeza del sensor. A medida que aumenta la señal detectada, la ganancia del amplificador del detector disminuye automáticamente de manera que la alineación automática procede sobre varias iteraciones del tamaño de la señal. El sistema de alineación automática puede funcionar con potencias detectadas de nanovatios a milivatios.

15 Este algoritmo de "escalada en pendiente" es capaz de alinear el sistema después de una pérdida casi total de señal, en la presencia de ruido sustancial, y es tolerante a bloqueos de haz, interrupciones de energía, choques mecánicos y otras perturbaciones que podrían causar otros sistemas de alineación para desalinearse a los límites de la electrónica de control. Todo lo que se requiere para la alineación automática es una señal finita con un máximo global en el espacio de posición. Dependiendo de las condiciones de instalación específicas, la alineación automática puede ocurrir periódicamente en intervalos establecidos, tal como cada hora o según sea necesario después de un período prolongado, como días de funcionamiento. El ordenador de control puede monitorear la señal dirigida y alinearse automáticamente sólo cuando la señal cae por debajo de un umbral predeterminado.

25 El ordenador dirige el haz hacia un segundo retroreflector 42 en el horno dirigiendo los motores 26b paso a paso para "saltar" al segundo retroreflector 42, en el que el "salto" se realiza en dos dimensiones conduciendo motores 26b paso a paso alrededor de los dos ejes ortogonales (por ejemplo, ejes X e Y) que son perpendiculares al eje óptico de la combinación de ópticas de paso/captura orientable y alineable, en cuyo caso los retroreflectores 42 en el horno pueden estar dispuestos de manera que se encuentren en múltiples planos, en algún patrón predispuesto, o en posiciones arbitrarias dentro del horno. El uno o más planos pueden estar paralelos a un piso del horno 10 o paralelo con el haz, en un momento particular en que se emite el haz (en tal caso, los planos múltiples se desplazarían por ángulos predeterminados o calculados con respecto al uno del otro).

35 Con respecto a la Fig. 3, en una realización, un tubo 12b de visión tiene un extremo proximal y uno distal. El extremo proximal está unido para extenderse normalmente desde una pared 12 exterior del horno 10 con penetración 16 que comunica con el interior del tubo 12b de visión. Se proporciona una brida en un extremo distal del tubo 12b de visión. La brida permite que la carcasa 28 se fije con el extremo delantero lindante con la brida del horno con la ventana 21 en comunicación óptica con la penetración 16. De esta manera, un haz puede ser transmitido al interior del horno a través de la penetración 16 y para reflejar al menos un retroreflector 42 en el horno situado en el horno 10 de vuelta a la penetración 16 para pasar a través de la ventana 21 y ser capturado por el lente 24 de colimación. En estas realizaciones, la fibra 25 óptica multimodo estaría configurada para transmitir el haz y recibir el haz reflejado.

45 La Fig. 4 ilustra una realización alternativa de combinación de ópticas 20 de paso/captura orientables y alineables. En esta realización alternativa, un lente 24 está ópticamente acoplado a una fibra 25 óptica. El lente 24 se denomina aquí lente de "colimación" y puede ser un verdadero lente de colimación (que produce un haz de diámetro sustancialmente constante). Alternativamente, el lente 24 de colimación puede ser un lente de colimación "cercana" que proporcione una ligera expansión del haz 25a. La fibra 25 y el lente de colimación 24 están mecánicamente unidos entre sí en una relación fija y movable por "traslación" a lo largo de ejes XY ortogonales que son perpendiculares al eje óptico 30 de la combinación de ópticas de paso/captura orientables y alineables, mediante un mecanismo de traslación 26. El haz 25a emitido es móvil por traslación para golpear porciones seleccionadas del lente 22 de relé, el cual dirige el haz a través de la ranura 16 de membrana y enfoca el haz en aproximadamente uno de una pluralidad de retroreflectores 42 en el horno (como se muestra, por ejemplo, en las Figs. 5-9). Los motores 26b paso a paso (como se muestra, por ejemplo, en la Fig. 3), un controlador 26c de ordenador (como se muestra también, por ejemplo, en la Fig. 3), y un algoritmo de "escalada en pendiente" similar al discutido anteriormente con respecto a la realización de la Fig. 3 está asociado de manera operativa con el mecanismo 26 de traslación para proporcionar una corrección de alineación sustancialmente continua, y para proporcionar un "salto" entre los retroreflectores 42 en el horno.

60 Con referencia a la Fig. 5, se muestran varias realizaciones del sistema 20 de dirección y alineación acopladas al horno 10 que tiene al menos un retroreflector 42 en el horno situado en el mismo. El sistema 20 de dirección y alineación incluye una fibra 25 óptica multimodo, una óptica 24 de transmisión y recepción, una plataforma 26 ajustable, un módulo 32 de reducción de ruido, un divisor 34 óptico, un láser 36 de diodo sintonizable, y un detector 38. En una realización, la fibra 25 óptica multimodo, la óptica 24 de transmisión y recepción, y la plataforma 26 ajustable puede ser como se ha descrito anteriormente con respecto a una cualquiera de las realizaciones como se muestra, por ejemplo, en las Figs. 2A a 4. La óptica 24 de transmisión y recepción también puede incluir solamente un lente de colimación sin una lente 22 de relé. El módulo 32 de reducción de ruido incluye cualquier tipo de dispositivo de



reducción de ruido. Por ejemplo, el módulo 32 de reducción de ruido puede incluir un componente de nivelación, que puede asociarse operativamente con la fibra 25 óptica multimodal, con el fin de nivelar la variación del nivel de señal inducida por el ruido modal de la luz que se propaga dentro de la fibra 25 óptica multimodal. En una realización, el componente 32 promediado es un vibrador mecánico. El documento WO 2011/019755 describe varios sistemas y métodos para reducir el ruido en una fibra óptica multimodal.

En algunas realizaciones, el componente promediado puede promediar variaciones de nivel de señal inducidas por el ruido modal variando cíclicamente un índice de refracción de la fibra óptica multimodo durante un periodo de tiempo seleccionado, codificando una distribución de luz dentro de la fibra óptica multimodo o ambas. El índice de refracción de la fibra óptica multimodo puede variarse cíclicamente variando cíclicamente la temperatura de la fibra óptica multimodo. El índice de refracción puede variar o se puede codificar la distribución de luz dentro de la fibra óptica multimodo mediante la manipulación cíclica y física de la fibra óptica multimodo.

En algunas realizaciones, la temperatura de la fibra óptica multimodo puede variarse a través de la acción de un elemento térmico colocado en comunicación térmica con la fibra óptica multimodo. Los dispositivos adecuados para uso como elemento térmico incluyen, pero no se limitan a, un módulo termoeléctrico, un calentador resistivo, un calentador infrarrojo, un calentador químico, un dispositivo de refrigeración convencional, un enfriador químico, una fuente de fluido refrigerado por debajo de la temperatura ambiente, o una fuente de fluido calentada por encima de la temperatura ambiente. El dispositivo óptico puede incluir un sensor de temperatura tal como un termopar en contacto térmico con la fibra óptica multimodo y un controlador que recibe entrada desde el sensor de temperatura y que controla el elemento térmico.

En una realización alternativa, que presenta un aparato para manipular cíclicamente la fibra óptica multimodal, la manipulación puede incluir torsión, estiramiento, o agitación de la fibra óptica multimodal. Se puede usar una camilla piezoeléctrica para llevar a cabo el estiramiento cíclico de la fibra óptica multimodal. Alternativamente, se puede usar un motor para torcer cíclicamente una porción de la fibra óptica multimodal en direcciones alternadas en sentido horario y contrario a las manecillas del reloj con respecto al eje longitudinal de la fibra y con respecto a una porción fija de la fibra.

El documento WO 2005/103781 describe diferentes aparatos y métodos para la nivelación de ruido en modo óptico, que incluye la variación cíclica de un índice de refracción mediante uno de variación cíclicamente de la temperatura de la fibra óptica multimodal y manipular cíclicamente mediante torsión, estiramiento o agitación de la fibra óptica multimodal, como se describió anteriormente.

Haciendo referencia de nuevo a la Fig. 5, la fibra 25 óptica multimodo se acopla ópticamente a la óptica de transmisión 24 y recepción. La fibra 25 óptica multimodo se acopla ópticamente adicionalmente a un láser 36 de diodo sintonizable, que produce un haz de luz a una longitud de onda seleccionada. En una realización, un divisor 34 óptico está asociado ópticamente con la fibra 25 óptica multimodo. El divisor 34 óptico puede ser, a modo de ejemplo, un multiplexor espacial o un circulador del tipo usado en aplicaciones de telecomunicaciones. La función del divisor 34 óptico es dividir señales ópticas recibidas por la óptica 24 de transmisión y recepción de una señal óptica generada por el láser 36 de diodo sintonizable y entregar la porción recibida de la señal a un detector 38, que es típicamente un detector de detector sensible a la frecuencia de luz generada por el láser 36 de diodo sintonizable. En realizaciones seleccionadas, el sensor 20 de TDLAS está asociado operativamente con una porción de un horno 10 de combustión con una porción del horno 10 que incluye una pared 12 externa y un espacio interno que tiene al menos un retroreflector 42 en el horno colocado en el mismo.

Un haz 44 de sonda generado por el láser 36 de diodo sintonizable es dirigido fuera del al menos un retroreflector 42 de horno de modo que refleja de retorno a la óptica 24 de transmisión y recepción como se ilustra en la Fig. 5. Se transporta una porción del haz transmitido recibido por la óptica 24 de transmisión y recepción mediante la fibra 25 óptica multimodo al divisor 34 óptico para ser detectado por el detector 38. En algunas realizaciones, el componente 32 de reducción de ruido (que puede incluir un componente de promediado, tal como un vibrador mecánico) puede usarse para reducir la variación de la señal inducida por el ruido modal de la luz que se propaga dentro de la fibra 25 óptica multimodo (por ejemplo, promediando las variaciones de la señal inducida por el ruido modal).

Con referencia a la Fig. 6, se muestra una realización 100 en la que existe una relación uno a uno entre las ópticas  $24_{1 \text{ a } n}$  de transmisión y recepción, y el conjunto de retroreflectores en horno, de tal manera que el haz 44 de una óptica  $24_x$  de transmisión y recepción se transmite y refleja sólo uno de la pluralidad de retroreflectores 42 en el horno de retorno hacia dicha óptica  $24_x$  de transmisión y recepción. De este modo, para 30 trayectorias, se necesitarían 30 ópticas  $24_{1 \text{ a } n}$  de recepción y transmisión y 30 retroreflectores 42 en el horno. Cada uno de la pluralidad de retroreflectores puede estar situado en una rejilla 11 del horno 10 para permitir el seguimiento y control de la combustión para cada rejilla 11.

Alternativamente, con respecto a la Fig. 7, una realización 200 puede usar la técnica de dirección y "salto" como se ha descrito anteriormente para "saltar" el haz 44 desde una óptica  $24_x$  de transmisión y recepción a una pluralidad de retroreflectores 42 en el horno, que pueden estar dispuestos en un solo plano, en múltiples planos, en un patrón predeterminado, o en posiciones arbitrarias dentro del horno 10 (como se ha descrito anteriormente). En una

realización, como se ilustra en la Fig. 7, se pueden usar 5 ópticas 24<sub>a n</sub> de transmisión y recepción para monitorear y controlar el procedimiento de combustión en un horno de 30 rejillas, en el que cada rejilla 11 ha colocado en ella uno de los 30 retroreflectores 42.

5 Con referencia a la Fig. 8, se muestra una realización en la que una pluralidad de óptica 24 de transmisión y recepción (que forman parte de un sistema 20 de dirección y alineación, por ejemplo, como se muestra y describe con respecto a las Figs. 2A - 5) están dispuestas aproximadamente en la mitad del perímetro del horno 10 (por ejemplo, a lo largo de dos paredes 12 de un horno 10 rectangular (como se muestra, por ejemplo, en la Fig. 8) o a lo largo de un arco de un horno circular o elíptico (no mostrado)). En algunas realizaciones, los retroreflectores 42 están posicionados en zonas o rejillas 11 entre los quemadores 18. Las realizaciones de los hornos en los que el sistema podría usarse podrían incluir filas de tubos 50 de procedimiento entre los quemadores 18, por ejemplo como se conoce en los hornos de Reformador de Metano al Vapor (SMR) u otros hornos de diseño similar con tubos de horno para realizar otros procedimientos, tales como craqueo de etileno. Una vista esquemática en planta de dicho horno se muestra en la Fig. 11. Los retroreflectores están posicionados para permitir el muestreo de la zona de combustión corriente abajo de un quemador o grupos apropiados de quemadores y adyacentes a los tubos del procedimiento. Cada óptica 24 de transmisión y recepción está configurada para dirigir y "saltar" su haz 44 a cada uno de los retroreflectores 42 en sus zonas o rejillas 11 asignadas.

20 En algunas realizaciones, con referencia a la Fig 8, la temperatura o concentración de especies se mide a lo largo de las trayectorias más cortas que corresponden en primer lugar a la zona 11c. En tal caso, la óptica 24 de transmisión y recepción dirige o "salta" el haz 44 a cada uno de los dos retroreflectores 42 en la zona o rejilla 11c. Una vez que se conocen las condiciones en la zona 11c, el haz 44 puede dirigirse a retroreflectores 42 que también permiten el muestreo en la zona 11b. Con el conocimiento de las condiciones de la zona 11c y las mediciones de absorción que incluyen aquellas de las zonas 11c y 11b, las condiciones se pueden calcular para la zona 11b. Una vez que se conocen las condiciones en las zonas 11b y 11c, las condiciones de la zona 11a pueden medirse de una manera similar dirigiendo el haz 44 de medición a retroreflectores que permiten el muestreo de las zonas 11a, 11b y 11c. Este procedimiento puede repetirse para tantas zonas como sea posible. La dirección o "salto" del haz 44 puede estar en cualquier orden predeterminado, no necesariamente desde la rejilla 11c hasta la rejilla 11b hasta la rejilla 11a. En tal caso, los cálculos de las condiciones de la zona pueden realizarse después de realizar todas las mediciones. La dirección o "salto" del haz 44 por cada una de las otras ópticas de transmisión y recepción 24 puede realizarse de una manera similar.

35 Un beneficio de este enfoque de dirección o de "salto" es que el número de penetraciones del horno requerido disminuye en al menos un factor de 2; que disminuye así los costos de instalación. Además, una sola cabeza puede realizar mediciones en un solo plano como se representa en la Fig. 8 o en localizaciones que no están en el plano definido en la Fig. 7. Así, se puede obtener información espacial volumétrica. La Fig. 9 ilustra varios ejemplos y para monitorear y controlar la combustión en un horno 10, que incluye seguimiento orientable 1D (en plano) como se muestra en el ejemplo 300, seguimiento orientable 2D como se muestra en la realización 400, y seguimiento orientable de múltiples planos como se muestra en la realización 500. En este caso, 1D y 2D se refiere a la dirección dimensional desde la perspectiva de la óptica 24 de transmisión y recepción. Para las realizaciones 300 y 400, la óptica 24 de transmisión y recepción puede estar dispuesta en cualquier altura deseable con respecto a un suelo del horno 10, y puede estar dispuesta alrededor de los lados del horno 10 de manera similar, por ejemplo, mostrada en la Fig. 8. Para el ejemplo 500, se puede disponer cualquier combinación de seguimiento dirigible 1D y/o seguimiento orientable 2D alrededor del horno 10 (por ejemplo, solamente seguimiento dirigible 1D dispuesto para monitorear dos o más planos paralelos a dos o más alturas predeterminadas con respecto al suelo del horno 10; o seguimiento orientable 2D dispuesto para monitorear diferentes zonas de altura del horno 10 con retroreflectores dispuestos a lo largo de sustancialmente la totalidad o una porción del interior del horno 10, etc.). Aunque la Fig. 9 representa un conjunto dirigido hacia abajo de quemadores 18, que emitirían llamas hacia abajo al suelo del horno 10, los diversos ejemplos y realizaciones no están limitados, y los quemadores 18 pueden estar situados en cualquier lugar del interior del horno - incluyendo en el suelo del horno 10 con llamas emitidas hacia el techo del horno 10, y en el lado del horno 10 con las llamas emitidas hacia un lado opuesto del horno 10. En algunos casos, se pueden usar los quemadores de pared radiante en cuyo caso las llamas se dirigen a lo largo de las paredes refractarias forradas del horno por los quemadores montados en estas mismas paredes. El propósito de estos quemadores es calentar el refractario que luego calienta los tubos principalmente por transferencia de calor irradiada. En todos estos casos, los retroreflectores preferiblemente estarían dispuestos en general hacia abajo de la llama de los quemadores 18 en la medida de lo posible (por ejemplo, en el lado opuesto del horno con respecto a los quemadores) en las diversas configuraciones posibles como se ha descrito anteriormente o en cualquier configuración que permita monitorear y controlar el procedimiento de combustión en el horno 10.

60 Las ventajas del uso de retroreflectores 42 incluyen que se requieren menos trayectorias, que evitan así complejidades de trayectorias anguladas en un horno muy apretado. Además, el haz 44 de láser usado para medir cada celda debe propagarse hacia fuera y hacia atrás, que dobla así la longitud de la trayectoria ("trayectoria de láser de doble paso") y que aumenta la fuerza de la señal de absorción. La señal de absorción más fuerte reduce los efectos perjudiciales de las fuentes de ruido, como el ruido modal, de etalon y de detector. Además, pueden obtenerse "trayectorias de láser alineación automática". En otras palabras, por definición, los objetivos que hacen retroreflexión en el horno redirigen la luz de láser incidente de retorno hacia la fuente, donde la cabeza del sensor recoge la luz de retorno y la

envía a detectores ópticos. La cabeza del sensor necesita dirigir el haz transmitido hacia el retroreflector, pero después de eso, no se requiere alineación adicional. El procedimiento de alineación automática discutido anteriormente sería alinear el haz con uno de los retroreflectores.

5 Para uso efectivo dentro de un horno, que generalmente puede alcanzar temperaturas de 1000 a 1300°C cerca de la salida de gas del horno, los retroreflectores en el horno deben ser capaces de soportar estas altas temperaturas, así como ser capaces de soportar un entorno oxidante. No sólo se necesita un elemento óptico que pueda sobrevivir dentro de ese entorno, es probable que se necesiten elementos de montaje o de superestructura para mantener el elemento óptico en su lugar.

10 Dos materiales potenciales que pueden ser adecuados para los retroreflectores en el horno incluyen el zafiro, que tiene un punto de fusión de 2030 °C, y cuarzo, que tiene un punto de fusión de 1670-1713°C. Así, tanto el zafiro como el cuarzo pueden resistir las altas temperaturas del horno. Como óxidos, tanto el zafiro como el cuarzo son estables en ambientes oxidantes. Otros materiales también pueden funcionar, pero pueden estar sujetos a problemas de costo y disponibilidad.

15 Aparte de los materiales para los retroreflectores, hay varios tipos para considerar. Por ejemplo, en algunas realizaciones, puede usarse un retroreflector de cubo de esquina - un elemento retroreflector clásico-. Los cubos de esquina hechos de materiales ópticos estándar, que incluyen zafiro, están ampliamente disponibles comercialmente. El cubo de esquina aprovecha la reflexión interna total en la parte posterior del elemento para que su eficiencia de reflexión posterior sea muy alta. Un cubo de esquina no tiene potencia óptica, por lo que un haz divergente que entra en el cubo, sale como un haz con la misma divergencia. Por lo tanto, la mayor eficiencia de retroreflexión de vuelta a la fuente se produce cuando el haz incidente en el cubo de esquina es colimado (iluminación de onda plana).

20 En otra realización, se puede usar una esfera que hace retrorreflexión de ojo de gato. Una esfera con índice de refracción 2.0 también retrorefleja un haz incidente. Los rayos de un haz de iluminación colimada forman un punto de enfoque en la superficie trasera de la esfera, donde una porción de estos rayos se refleja de retorno en el mismo ángulo que el rayo incidente. Las esferas de calidad óptica generalmente cuestan menos que un retroreflector de tamaño comparable.

25 Una desventaja del retro reflector de ojo de gato es una reflectividad global más baja comparada con la de un cubo de esquina. A diferencia de un cubo de esquina, la luz que rebota en la superficie posterior del ojo del gato no está totalmente internamente reflejada. La reflectividad de la superficie posterior del ojo de gato depende del índice de refracción del material, pero estará en el intervalo de 4 - 8%. En aplicaciones de temperaturas más bajas, de acuerdo con algunas realizaciones, pueden aplicarse recubrimientos parcialmente reflectantes, tales como oro, a la esfera para aumentar su reflectancia trasera.

30 De acuerdo con algunas realizaciones, en lugar de un único reflector grande colocado en un lugar particular en el interior del horno, se puede usar un conjunto de retroreflectores más pequeños. Una serie de retroreflectores 42' para retroreflejar un único haz 44 tenderá a actuar más como un espejo conjugado de fase. Es decir, independientemente de si el haz de iluminación es colimado, divergente o convergente, el haz retroreflejado tenderá a retroceder su trayecto incidente de regreso a la fuente. Por lo tanto, un haz de fuente divergente será retroreflejado como un haz que converge de retorno hacia la fuente. Además, los elementos retroreflectores más pequeños contribuirán a una mayor dispersión en la reflexión. Además, cada elemento retroreflector producirá un patrón de interferencia en el haz reflejado. Este patrón de interferencia se observaría como franjas de intensidad en la señal de TDLAS escaneada en longitud de onda. Se espera que un solo retroreflector grande tenga franjas grandes y bien definidas porque el número de ondas interferentes sería pequeño. Por otra parte, una serie de pequeños retroreflectores produciría muchas más ondas interferentes y las franjas resultantes en la señal TDLAS serían probablemente de menor amplitud, serían menos estacionarias en el tiempo y serían más fáciles de eliminar mediante el promedio de la señal y modo de codificación. Además, para un área de superficie de retroreflector fija, una serie de elementos más pequeños puede costar menos que un elemento grande individual.

35 En algunas realizaciones, en lugar de que cada uno de los retroreflectores discretos o retrorreflectores en arreglo estén situados en lugares discretos dentro del horno para los que se desee supervisar y/o controlar procedimientos de combustión, una o más superficies que hacen retrorreflexión remanente que comprenden un arreglo de pequeños elementos retroreflectores discretos pueden usarse cuando dos o más superficies que hacen retrorreflexión de cada superficie que hacen retrorreflexión remanente pueden cubrir una primera ubicación, una segunda ubicación, una tercera ubicación, y así sucesivamente, en el horno para el cual se pueden desear monitorear y/o controlar los procedimientos de combustión. Para tales superficies que hacen retrorreflexión remanente, la etapa cinemática estaría configurada para "saltar" el haz desde una superficie retrorefleitora situada en la primera ubicación a otra superficie retrorefleitora situada en la segunda ubicación, y así sucesivamente.

40 Con respecto al montaje de los retroreflectores, de acuerdo con algunas realizaciones, se puede usar una superestructura de montaje. Para la superestructura de montaje, la cerámica es probablemente el mejor material, ya que pueden soportar las altas temperaturas y el ambiente oxidante. La cerámica se puede mecanizar o moldear y cocinar hasta la forma deseada. Una superestructura de cerámica podría ser formada con ranuras u otras

características para capturar y mantener la óptica retrorefleitora. Aunque los adhesivos no resistirán las temperaturas del horno, las ópticas de zafiro o de cuarzo pueden estar fusionadas a una estructura de montaje cerámica, de acuerdo con una realización. Alternativamente, de acuerdo con otra realización, la óptica podría ser capturada/mantenida en ranuras u otras características formadas en la cerámica.

5 Alternativamente, de acuerdo con una realización, puede usarse alambre de nicromo. Una aleación de nicromo común incluye 80% de níquel y 20% de cromo, tiene un punto de fusión de aproximadamente 1400°C, y es relativamente resistente a la oxidación debido a una capa protectora de óxido de cromo. En una realización, las matrices de ópticas que hacen retrorreflexión están conectadas entre sí a través de orificios en la óptica (como perlas en una cuerda) o creando jaulas de alambre para capturar cada elemento. El alambre de nicromo podría entonces ser atado en las características de montaje en el horno o en los montajes cerámicos. Para hornos con fuego interior, de acuerdo con algunas realizaciones, donde las salidas 52 de gases de combustión están situadas en la parte inferior del horno (véase la Fig. 12), se proporciona una característica de retención, tal como un pasador cerámico que encaja en un agujero correspondiente en el suelo, para montar los retroreflectores en el fondo o piso del horno. Generalmente, puesto que es deseable localizar las trayectorias del láser donde la combustión es apenas completa, esta disposición trabajaría bien. En realizaciones alternativas, donde se usan hornos de fuego superior o fuego lateral, los montajes de retroreflectores pueden estar situados opuestos a los quemadores, donde las salidas de gases de combustión están situadas típicamente, de manera que las trayectorias de láser se localizan en donde la combustión está completa. En el caso de los quemadores de pared radiante, donde la combustión se completa muy cerca de la pared sobre la cual están montados los quemadores, puesto que las llamas se dirigen radialmente hacia fuera en una dirección paralela a la pared, una rejilla puede estar acoplada de forma estrecha a la pared del quemador.

Con referencia a la Fig. 10, se muestra un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo 600 para monitorear y calcular las propiedades de combustión de zonas dentro del interior del horno. En el Paso 605, se puede usar un ordenador de propósito general o de aplicación específica para determinar la ubicación de todos los retroreflectores situados dentro del interior de un horno particular. Esto puede lograrse, por ejemplo, accediendo a una base de datos en la que se almacenan las ubicaciones de los retroreflectores. Alternativamente, se podría usar un haz de escaneo para escanear el interior del horno, donde se determina la ubicación de un retroreflector cuando se detecta un haz reflejado (por ejemplo, un haz reflejado de retorno o un haz reflejado a un detector separado). En el Paso 610, el ordenador envía instrucciones al accionamiento 26c de motor para accionar los motores 26b de paso a paso para inclinar la etapa 26a de manera que se "dirige" el haz a uno de los retroreflectores 42 (ya sea un único retroreflector grande o un conjunto de elementos que hacen retrorreflexión más pequeños). La alineación automática, como se ha descrito anteriormente, se puede realizar con el fin de asegurar una señal óptima reflejada desde el retroreflector 42. En el Paso 615, el ordenador almacena y procesa la señal de TDLAS desde el detector correspondiente al haz reflejado desde el retroreflector 42. En el Paso 620, el ordenador envía instrucciones al accionamiento de motor 26c para accionar los motores 26b paso a paso para inclinar la etapa 26a de modo que "salte" el haz a cada uno de los otros retroreflectores 42 en una zona predeterminada del horno. También se puede realizar la alineación automática en ese momento. En el Paso 625, el ordenador almacena y procesa las señales de TDLAS procedentes del detector correspondiente al haz reflejado de todos los retroreflectores 42 en la zona.

En el Paso 630, se repiten los Pasos 620-625 para cada una de las otras zonas para las que se asigna esta óptica de transmisión/recepción particular. En el Paso 635, el ordenador calcula las características de combustión para cada zona teniendo en cuenta los cálculos para otras zonas, de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto a la Fig. 8. Los Pasos 605-635 pueden repetirse posteriormente para cada óptica de transmisión/recepción. El software para controlar el ordenador puede almacenarse en cualquier medio grabable que incluye, pero no está limitado a, un disquete, una unidad de memoria flash, una base de datos, un servidor, una unidad de memoria SD, un disco duro, etc.

Aquí anteriormente, aunque se pueden usar retroreflectores típicos (que incluyen, pero sin limitarse a, cubo de esquina, ojo de gato, u otros tipos de retroreflectores, etc.) en los hornos, también pueden usarse espejos ópticos o matrices o espejos ópticos pequeños para reflejar el haz ya sea de vuelta a la óptica de fuente o a una óptica diferente montada en el exterior de la pared del horno. Sin embargo, tales realizaciones pueden ser más difíciles para alinear un haz transmitido para ser dirigido fuera de los espejos a la óptica de recepción que las realizaciones que usan una sola óptica de transmisión/recepción y retroreflectores.

Aunque la invención se ha mostrado y descrito particularmente con referencia a un número de realizaciones, los expertos en la técnica entenderían que se pueden realizar cambios en la forma y detalles en las diversas realizaciones divulgadas aquí sin apartarse del alcance de la presente invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas, y que las diversas realizaciones divulgadas aquí no pretenden actuar como limitaciones en el alcance de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para monitorear las propiedades de combustión en el interior de un horno (10) de combustión, donde el método comprende:
- 5 proporcionar al menos una penetración (16) en una pared (12) del horno (10);
- proporcionar al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión dentro de un interior del horno (10);
- 10 proporcionar un láser (36) de diodo sintonizable que tiene una frecuencia de láser seleccionada;
- proporcionar un detector (38) sensible a la frecuencia de láser seleccionada ópticamente acoplada a un lente (24) de colimación;
- 15 proyectar un haz (44) de luz a través de una óptica que comprende el lente (24) de colimación que se encuentra fuera del interior del horno (10), estando acoplado ópticamente el lente (24) de colimación a al menos una penetración (16) para proyectar el haz (44) en el interior del horno (10) hacia una primera superficie (24) retrorefleitora de las al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión;
- 20 recibir el haz (44) de luz desde la primera superficie (42) retrorefleitora con la óptica y el detector (38);
- medir las propiedades de combustión en base al haz (44) recibido de luz procedente de la primera superficie (42) retrorefleitora;
- 25 inclinar una plataforma (26a) acoplado a al menos el lente de colimación (24) alrededor de al menos uno de dos ejes ortogonales que están perpendiculares a un eje óptico de la por lo menos una penetración (16) para dirigir el haz (44) de luz a través de la óptica a una segunda superficie (42) retrorefleitora de las al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión; recibir el haz (44) de luz desde la segunda superficie (42) retrorefleitora con la óptica y el detector (38); y
- 30 medir las propiedades de combustión en base a al menos el haz (44) recibido de luz desde la segunda superficie (42) retrorefleitora.
- 35 2. El método de la reivindicación 1, en el que la primera superficie (42) retrorefleitora y la segunda superficie (42) retrorefleitora son primera y segunda porciones de una superficie retrorefleitora individual que comprende un conjunto de retroreflectores discretos, y en el que la dirección desde la primera superficie (42) retrorefleitora a la segunda superficie (42) retrorefleitora se dirige desde la primera porción a la segunda porción de la superficie retrorefleitora individual.
- 40 3. El método de la reivindicación 1, en el que recibir el haz (44) de luz incluye recibir el haz (44) en una fibra (25) óptica multimodo, y en el que medir las propiedades de combustión incluye filtrar ruido promediando la variación de nivel de señal inducida por ruido modal de luz que se propaga dentro de la fibra (25) óptica multimodo.
- 45 4. El método de la reivindicación 1, en el que proporcionar las al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión incluye proporcionar una pluralidad de retroreflectores (42) posicionados dentro del interior del horno (10) para monitorear las zonas de combustión dentro del horno (10); en el que la proyección del haz (44) de luz incluye proyectar el haz (44) hacia cada uno de la pluralidad de retroreflectores (42), y en el que la medición de las propiedades de combustión incluye calcular las propiedades de combustión tomando en cuenta las mediciones del haz (44) reflejado y recibido de cada zona.
- 50 5. Un horno (10) de combustión que comprende una pared (12) que rodea un interior del horno (10), la pared (12) que ésta provista con al menos una penetración (16), el horno (10) de combustión que comprende además un aparato para detectar propiedades de combustión en el interior del horno (10) de combustión, donde el aparato comprende:
- 55 un láser de diodo (36) sintonizable que tiene una frecuencia de láser seleccionada;
- un lente (24) de colimación acoplado ópticamente a un haz (44) generado por el láser (36) de diodo, el lente (24) de colimación que está configurado para proyectar el haz (44) desde el láser (36) de diodo en al menos una penetración (16) en la pared (12) del horno (10);
- 60 al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión posicionadas dentro del interior del horno (10), y cada una configurada para reflejar el haz desde el lente (24) de colimación de retorno al lente (24) de colimación;
- 65 una plataforma (26) de inclinación cinemática que incluye al menos un motor (26b) paso a paso, un accionamiento (26c) de motor y una plataforma (26a) acoplado a al menos el lente (24) de colimación, en el que el al menos un motor (26b) paso a paso está configurado para inclinar la plataforma (26a) alrededor de al menos uno de dos ejes

- 5 ortogonales que son perpendiculares a un eje óptico de la primera penetración (16), de modo que dirige el haz (44) desde una primera superficie (42) retroreflector a una segunda superficie (42) retroreflector de las al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión; y un detector (38) sensible a la frecuencia de láser seleccionada ópticamente acoplada a la lente (24) de colimación.
6. El horno (10) de combustión de la reivindicación 5, en el que cada una de las al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión está hecha de un material seleccionado del grupo que consiste en zafiro y cuarzo.
- 10 7. El horno (10) de combustión de la reivindicación 6, en el que cada una de las al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión es una de un retroreflector individual grande y un conjunto de elementos de retroreflectores más pequeños.
- 15 8. El horno (10) de combustión de la reivindicación 6, en el que las al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión incluyen al menos una de una óptica que hacen retrorreflexión de cubo de esquina y una esfera que hacen retrorreflexión de ojo de gato.
- 20 9. El horno (10) de combustión de la reivindicación 5, que comprende además una estructura de montaje provista dentro del interior del horno (10) colocada en un lado del horno (10) opuesta a un lado del interior del horno (10) sobre el cual se encuentran quemadores (18) emisores de llama, en el que cada una de las al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión está configurada para ser asegurada a una estructura de montaje.
- 25 10. El horno (10) de combustión de la reivindicación 9, en el que la al menos una estructura de montaje incluye una estructura de montaje de cerámica que tiene ranuras en las que se mantiene cada una de las superficies (42) que hacen retrorreflexión.
- 30 11. El horno (10) de combustión de la reivindicación 5, en el que las al menos dos superficies (42) que hacen retrorreflexión incluyen una pluralidad de retroreflectores dispuestos en al menos una configuración de un solo plano, una configuración de múltiples planos, una configuración dispuesta previamente, y una configuración arbitraria a través de todo el interior del horno (10).
- 35 12. El horno (10) de combustión de la reivindicación 11, en el que cada plano de la configuración de un solo plano y la configuración de múltiples planos es perpendicular ya sea a la pared (12) del horno (10) o paralelo al haz (44) proyectado a través de la óptica.
- 40 13. El horno (10) de combustión de la reivindicación 5, que comprende además una fibra (25) óptica multimodo acoplada ópticamente al lente (24) de colimación y al detector (38), y configurada para recibir el haz reflejado desde el lente (24) de colimación y para transmitir el haz (44) reflejado al detector (38).
14. El horno (10) de combustión de la reivindicación 13, que comprende además un componente de reducción de ruido que está configurado para filtrar el ruido al promediar la variación del nivel de señal inducida por el ruido modal de propagación de luz dentro de la fibra (25) óptica multimodo, y para emitir una señal filtrada al detector (38).

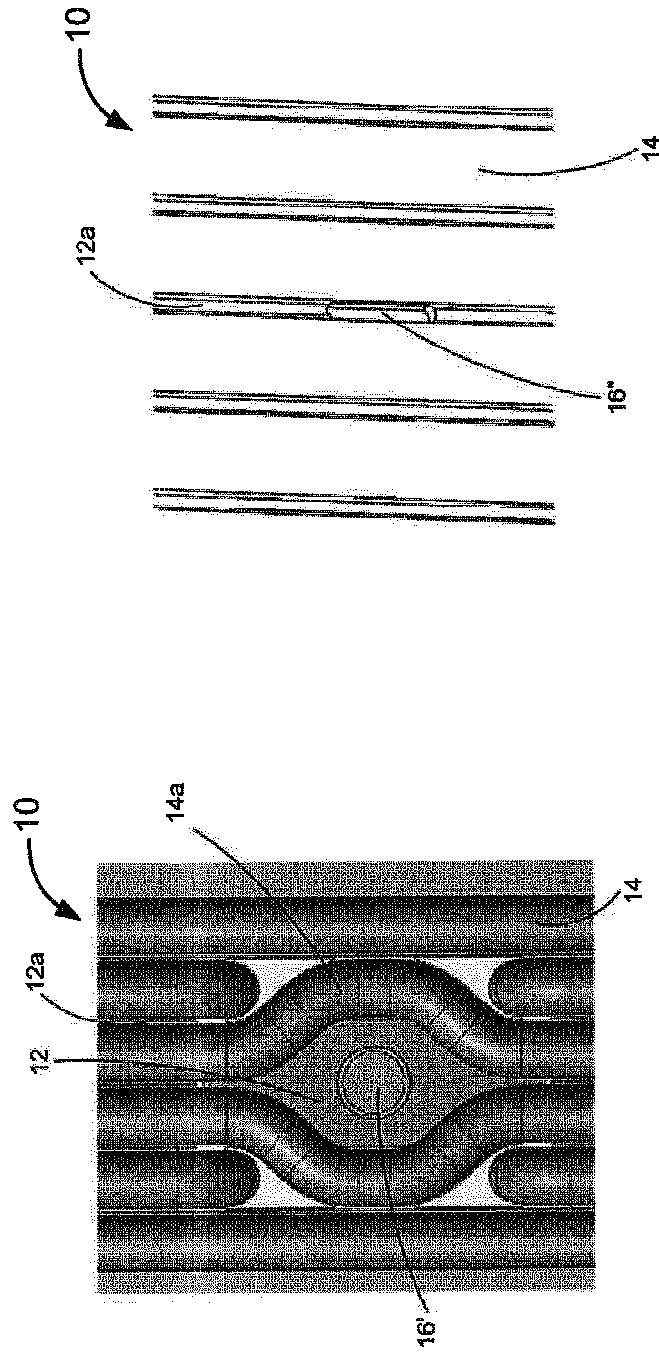


FIG. 1B

FIG. 1A

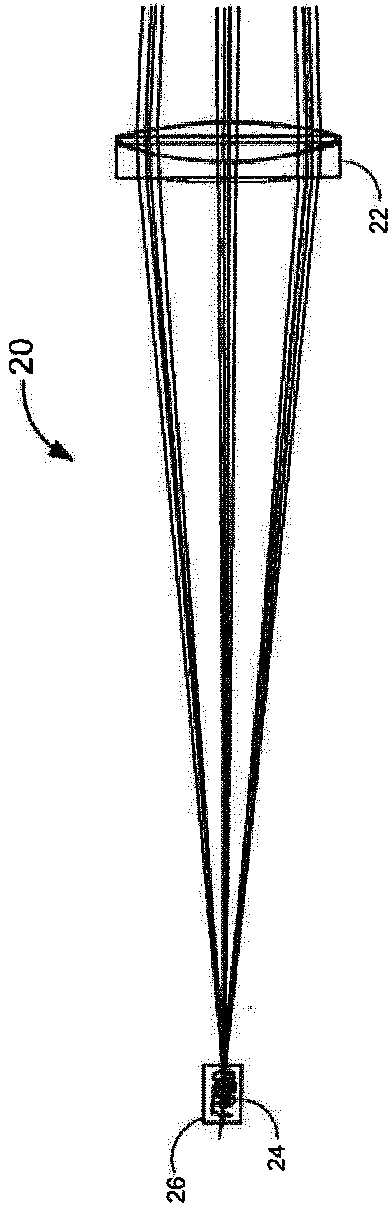


FIG. 2A

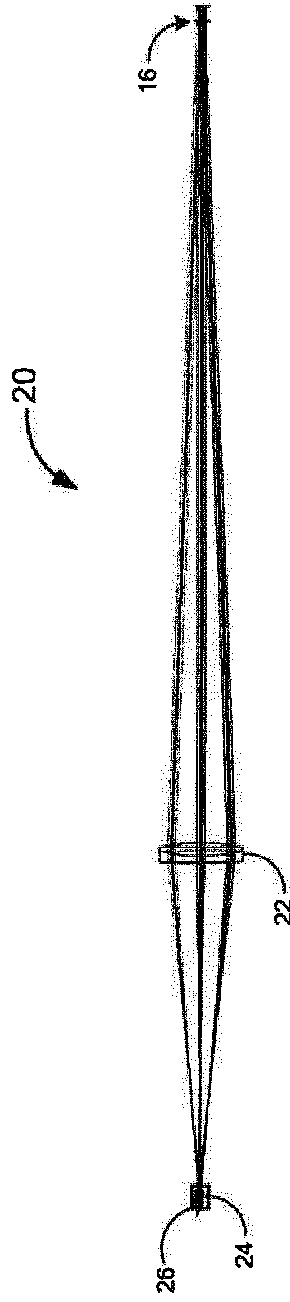


FIG. 2B



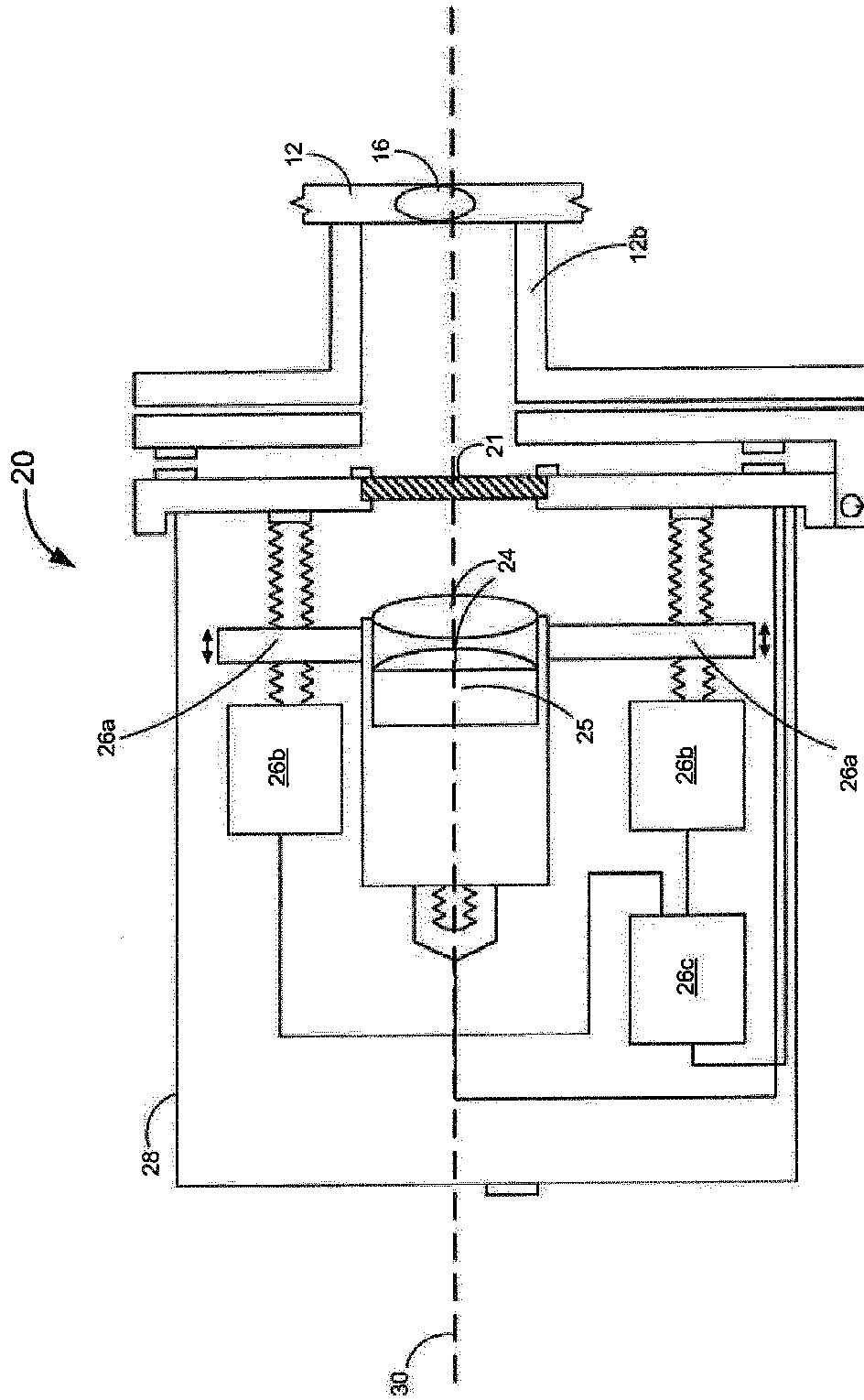


FIG. 3

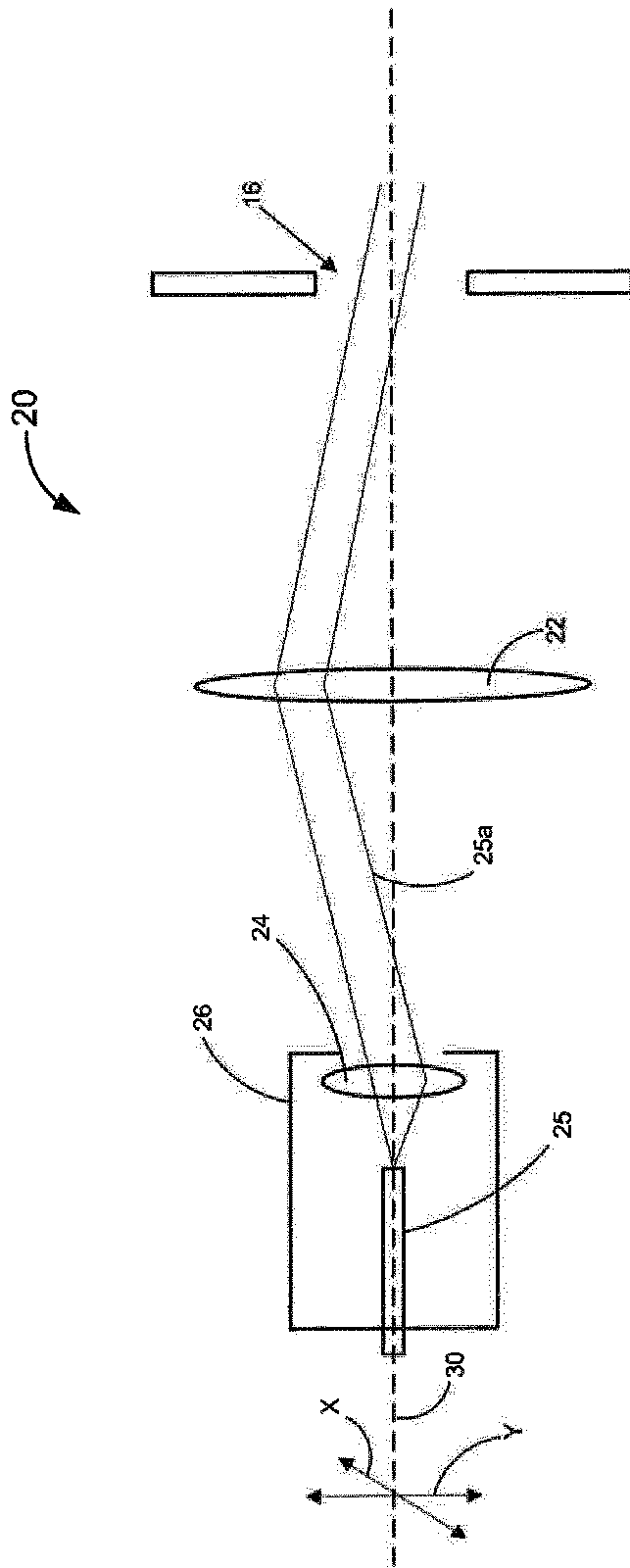


FIG. 4

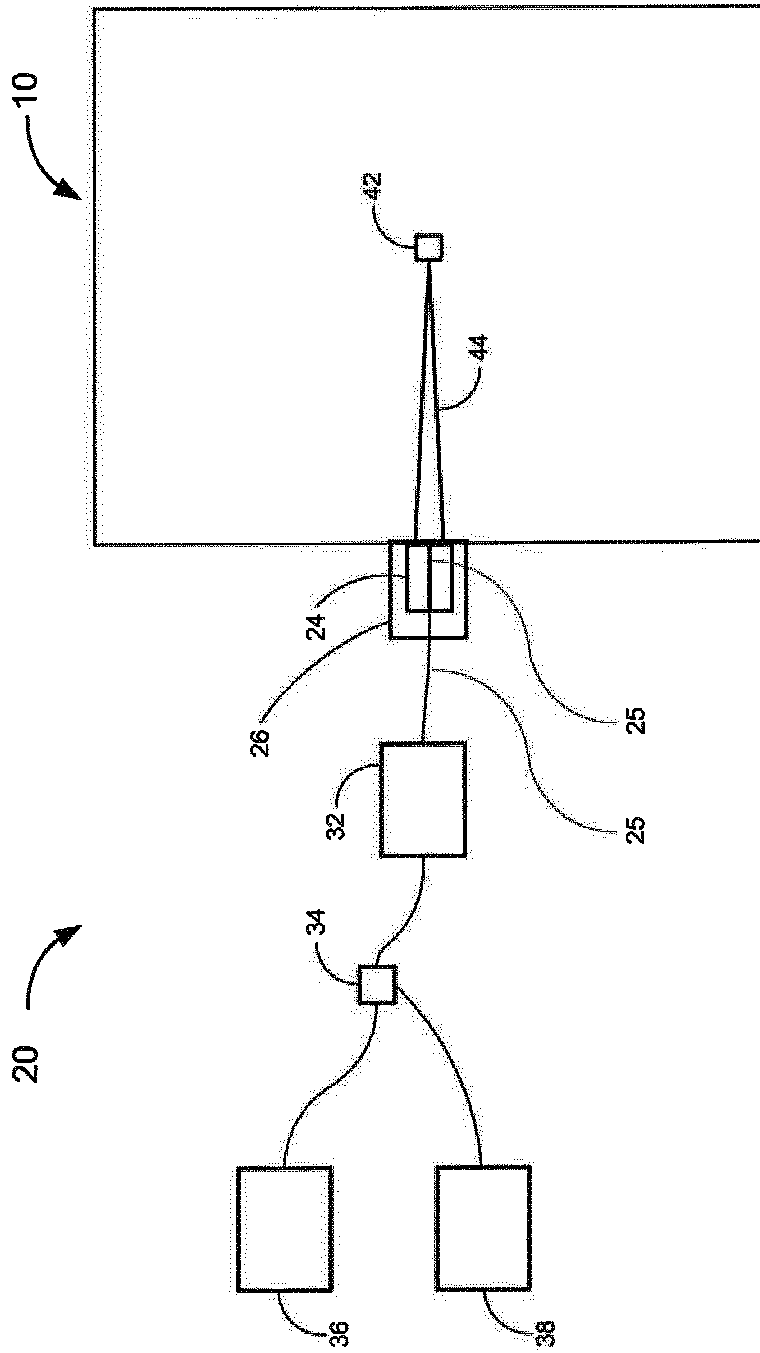


FIG. 5

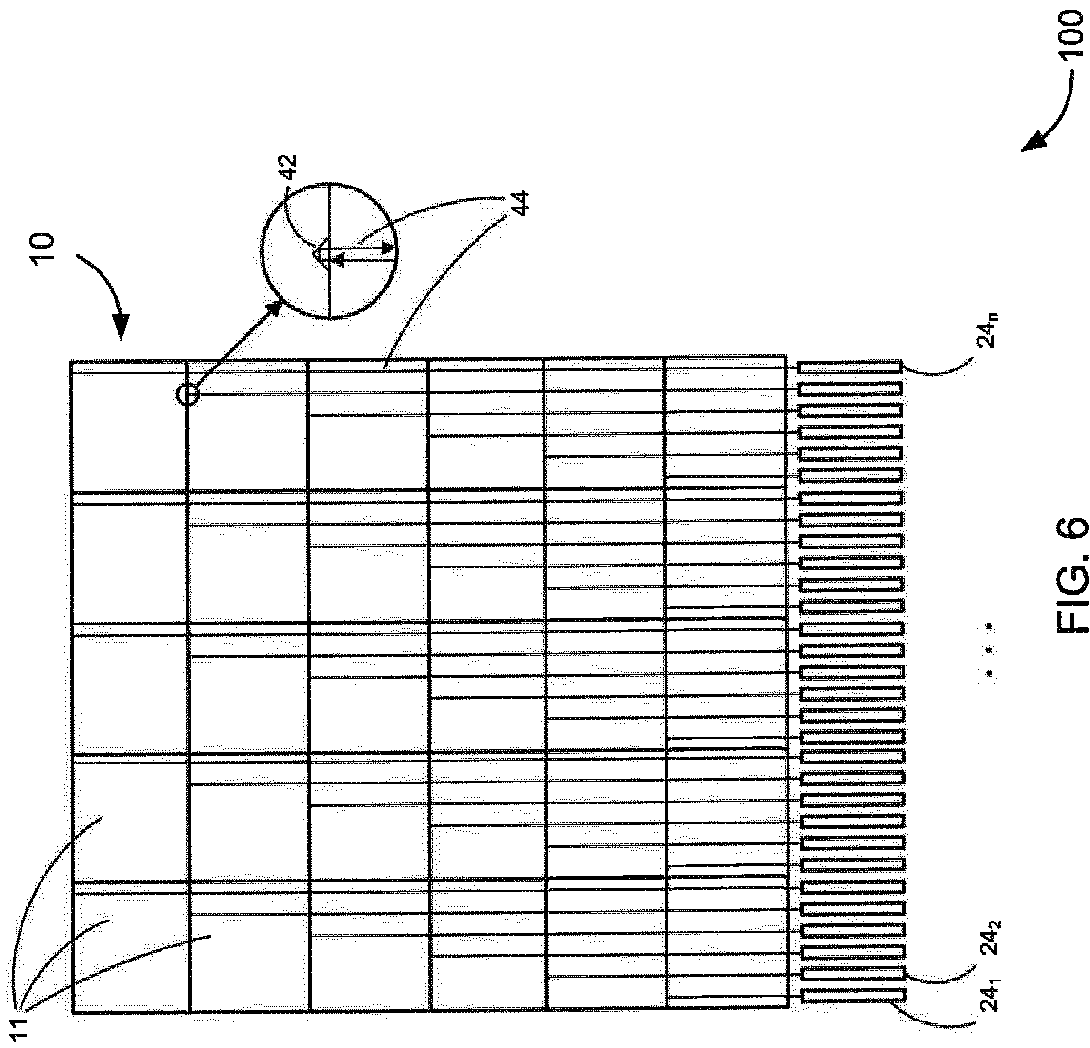


FIG. 6

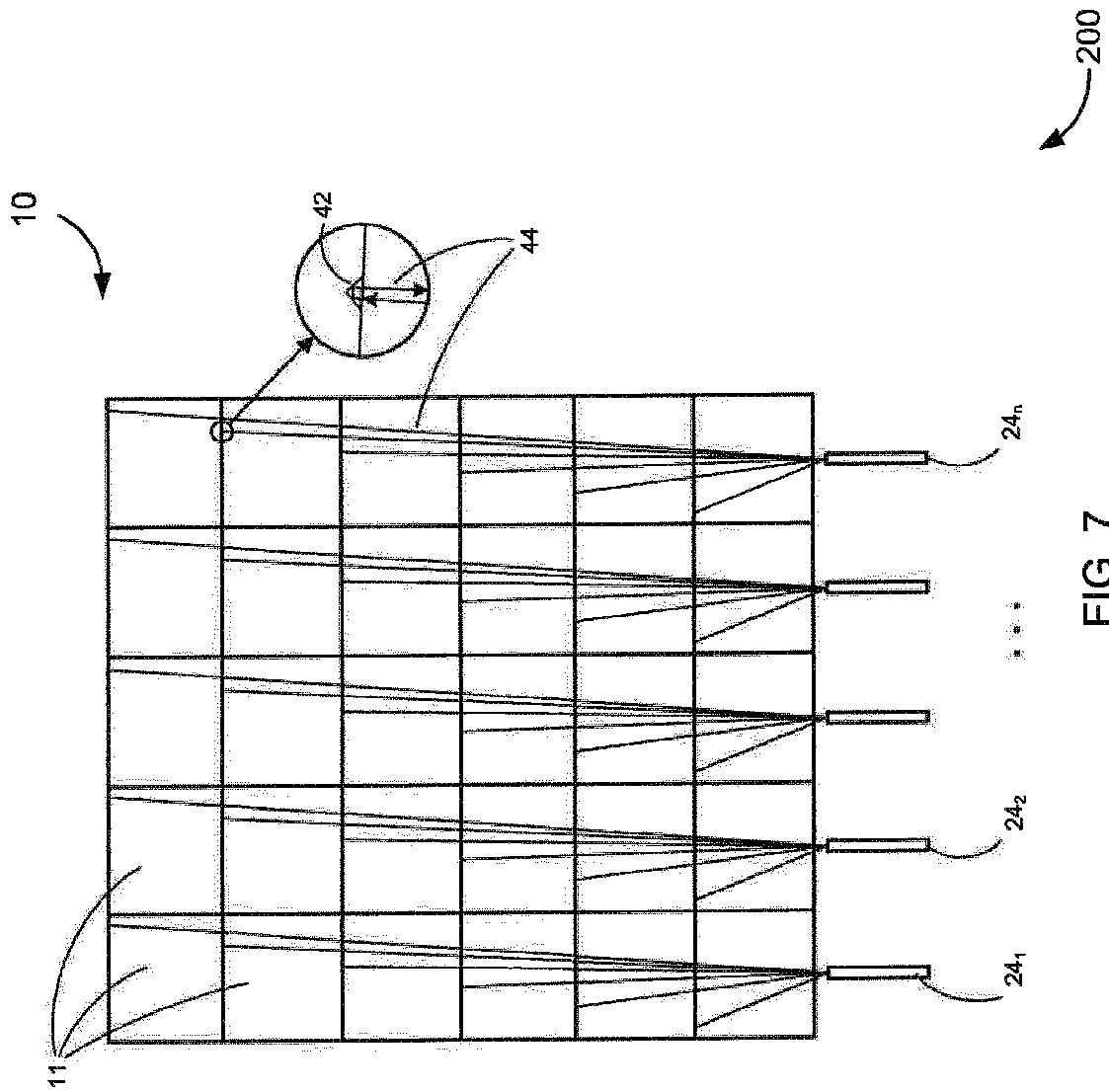


FIG. 7

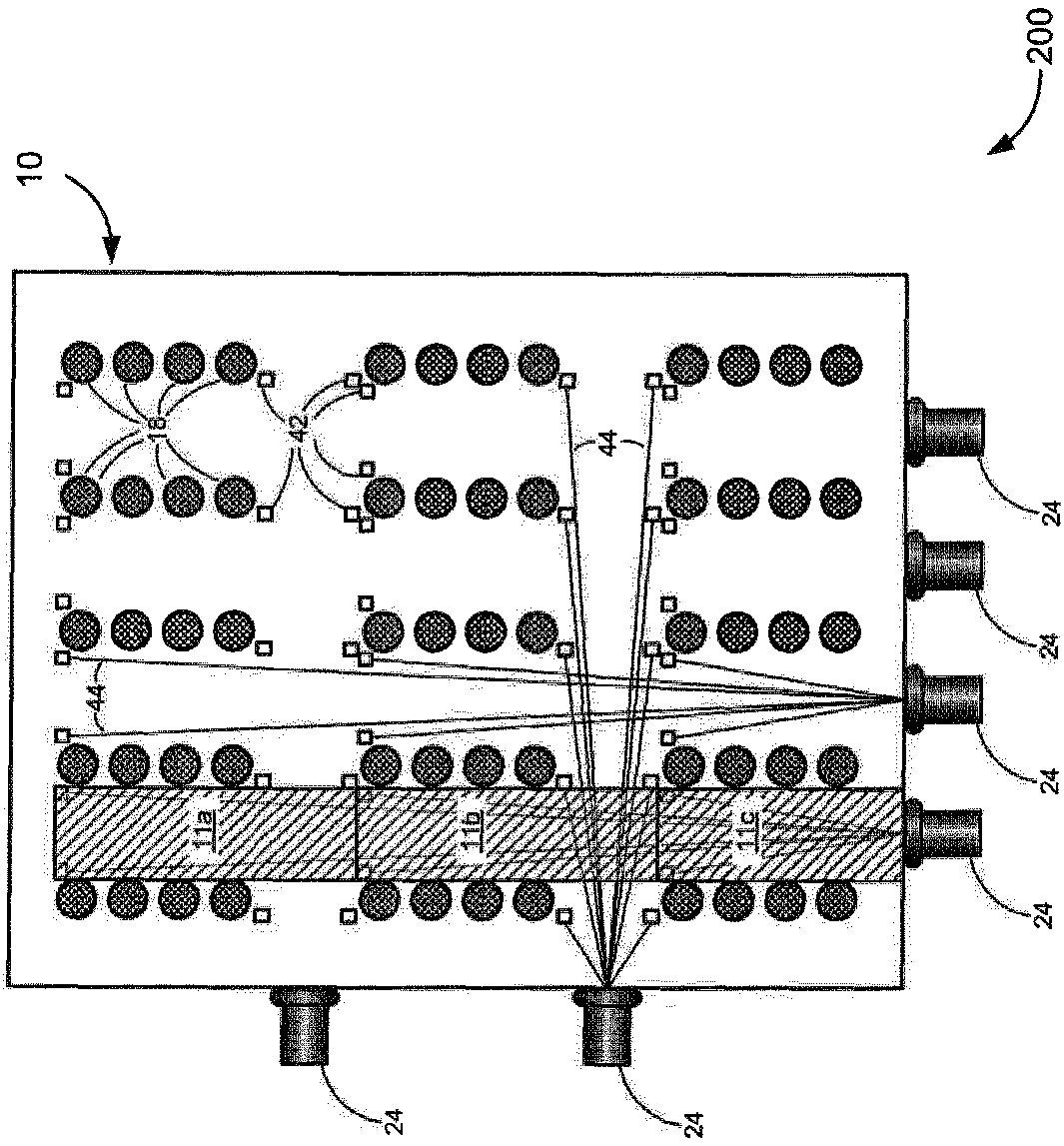


FIG. 8

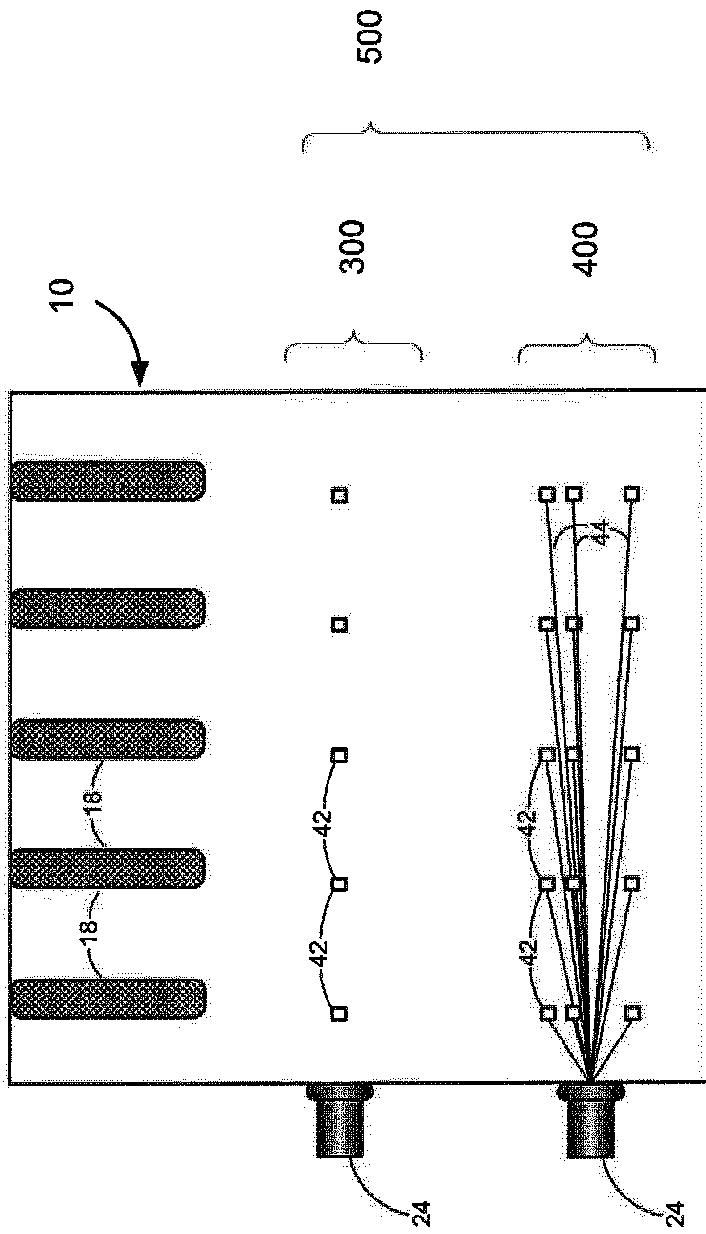


FIG. 9

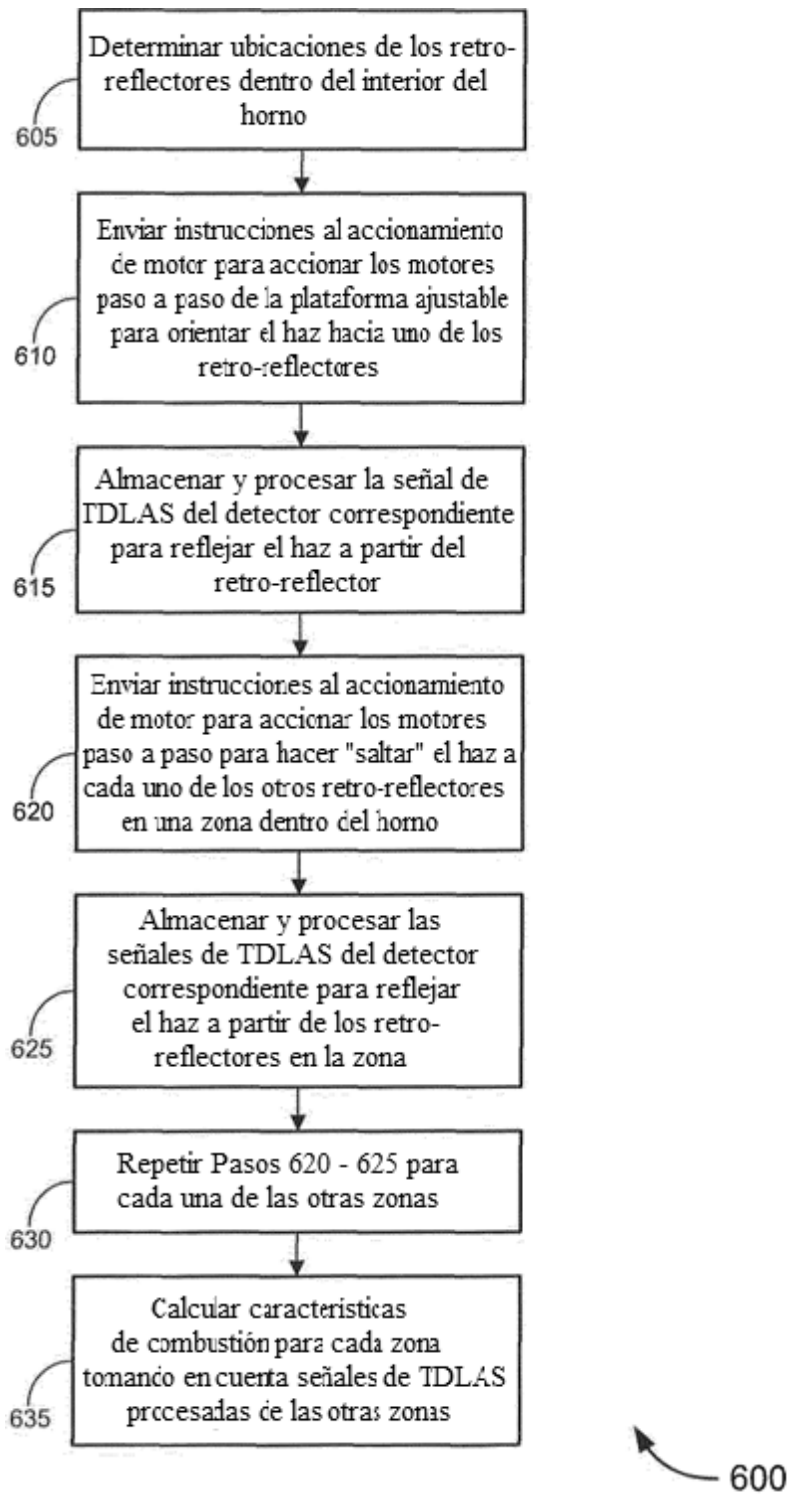


FIG. 10



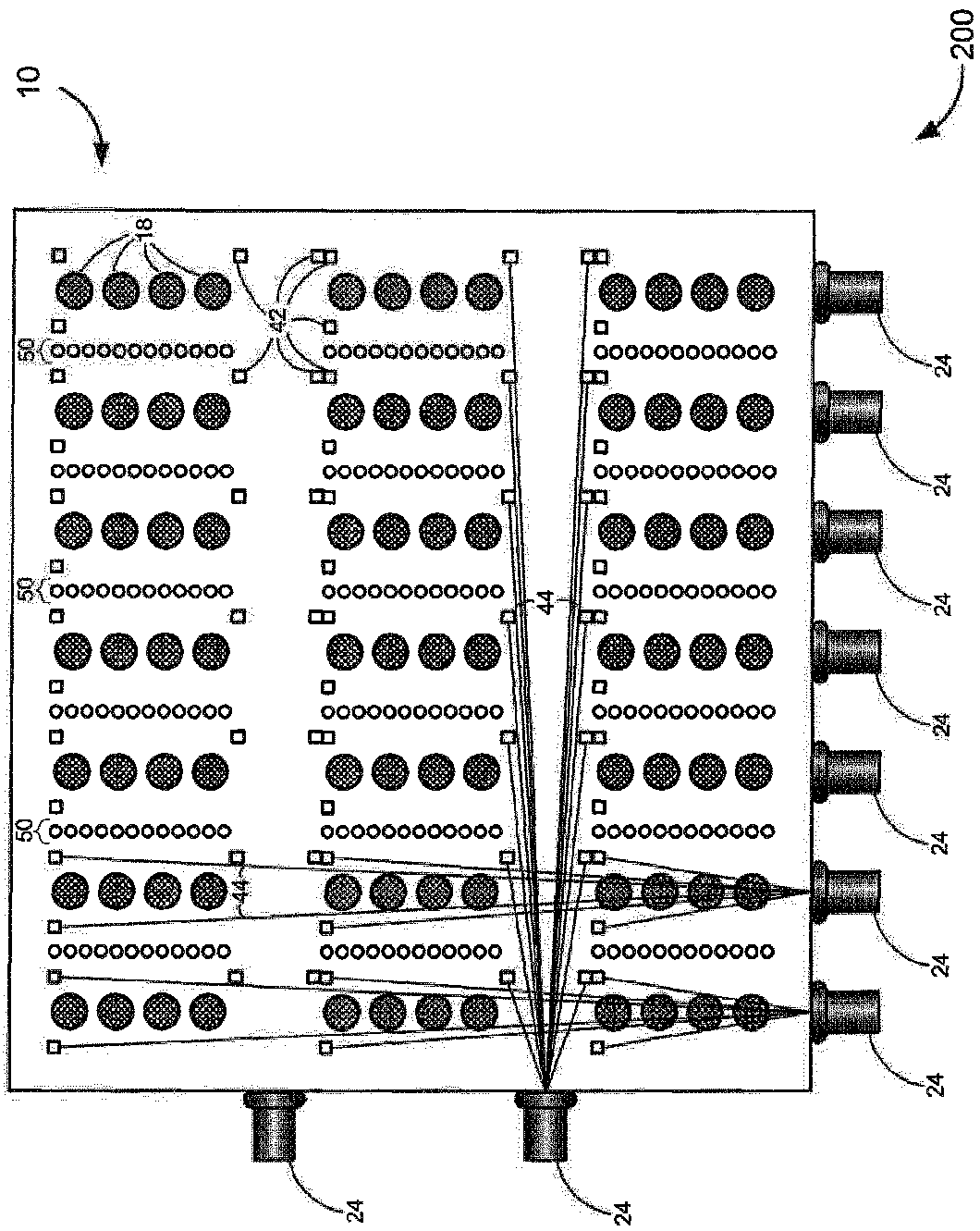


FIG. 11

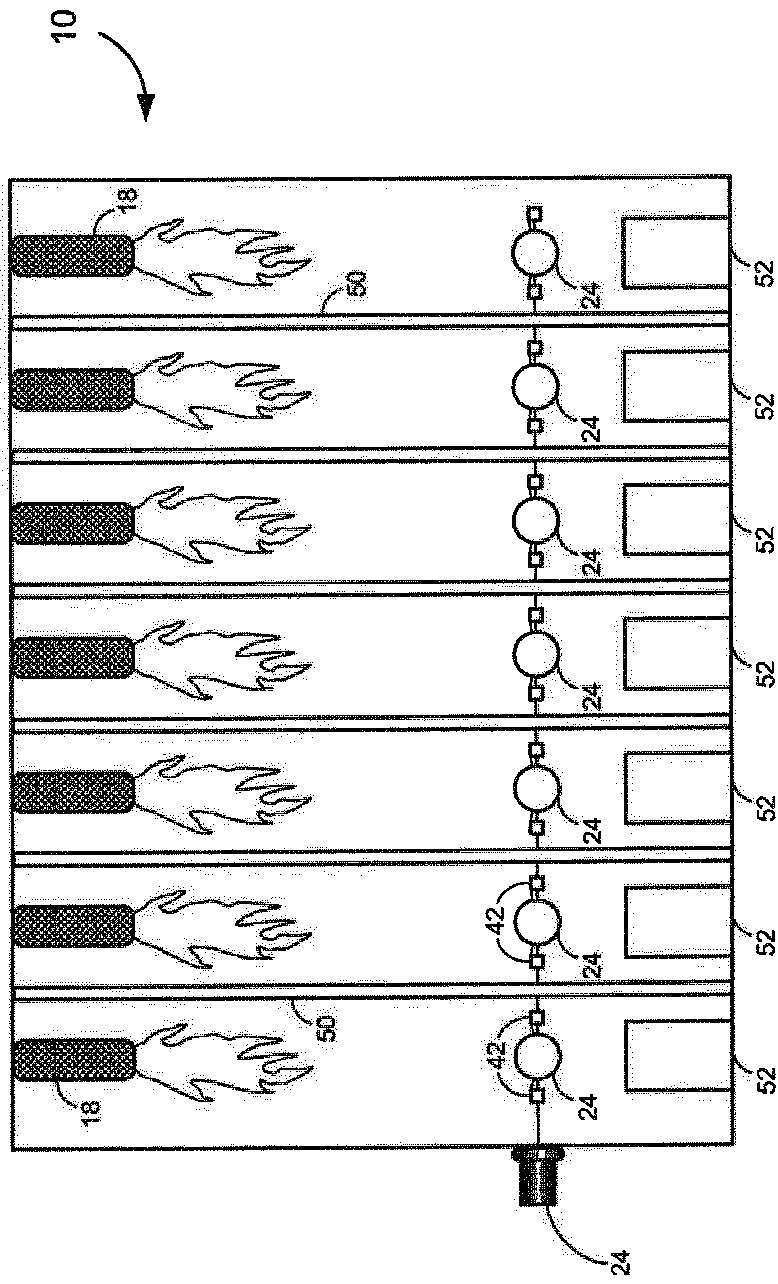


FIG. 12