

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 981 586**

51 Int. Cl.:

F23K 5/06 (2006.01)

F23C 5/08 (2006.01)

F23D 11/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2019** **PCT/GB2019/050952**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.10.2019** **WO19193329**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2019** **E 19717555 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024** **EP 3775691**

54 Título: **Un dispositivo de combustión sin llama de múltiples combustibles**

30 Prioridad:

05.04.2018 GB 201805687

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

09.10.2024

73 Titular/es:

INTELLIGENT POWER GENERATION LIMITED
(100.0%)
4 The Gables, Vale of Health
Hampstead, Greater London NW3 1AY, GB

72 Inventor/es:

SMITH, GEOFF y
BRACEY, TRISTRAM

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 981 586 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

Un dispositivo de combustión sin llama de múltiples combustibles

5 **Campo de la invención**

La invención presentada es un método para utilizar un dispositivo de combustión sin llama y un dispositivo de combustión sin llama adaptado para su uso con dicho método.

10 **Antecedentes**

Un dispositivo de combustión es un dispositivo que pone en ignición y quema un combustible para elevar la temperatura de un fluido de trabajo, idealmente con poca pérdida de presión y baja formación de especies gaseosas no deseables, tal como el monóxido de carbono (CO) y los monóxidos de nitrógeno (NO_x).

15 Una llama es una reacción de oxidación en cascada de un combustible mediante la cual el calor exotérmico local (ya sea de una fuente de ignición o de una llama anterior) perpetúa únicamente la ignición local. Esto crea grandes gradientes espaciales en propiedades, tal como la temperatura y la relación aire-combustible de combustión, por lo que puede crear más productos no deseables que un proceso ideal. También requiere velocidades relativamente bajas de aire y/o combustible (típicamente del orden de 5 - 10 m/s), un gran volumen de cualquier cámara de combustión y un diseño muy cuidadoso para asegurar la estabilidad de la llama.

25 En la literatura abundan diversas formas de combustión "sin llama" con nombres tales como FLOX (oxidación sin llama), CDC (combustión distribuida incolora) y combustión por remolino asimétrico. En todos los casos, la energía de activación necesaria para la combustión se proporciona por medios distintos de un frente de llama convencional; por ejemplo, en algunos diseños los gases de combustión se recirculan y/o se precientan en gran medida. La falta de llama reduce los picos de temperatura asociados con la formación de NO_x y proporciona una temperatura y distribución del producto distribuidos uniformemente, reduciendo, por lo tanto, la formación de CO.

30 La combustión sin llama requiere una zona de reacción distribuida (DRZ), de manera que no se produce un frente de llama. En muchos sistemas de dispositivo de combustión sin llama de la técnica anterior, tal como el representado en la patente estadounidense 5154599 o en la solicitud PCT WO 99/18392, esto se lleva a cabo reduciendo la concentración de oxígeno a través de la recirculación de los gases de combustible (que también puede aumentar la temperatura de la zona de combustión a por encima del punto de autoignición del combustible) u otros medios y aumentando las velocidades del gas en la región de reacción. La reducción de oxígeno reduce la tasa de reacción y las altas velocidades del gas distribuyen los reactivos lo suficiente, de manera que no se produce combustión en la región local del inyector de combustible y, por lo tanto, se distribuye de tal manera que se evita la aparición de un frente de llama o el requisito de una fuente de ignición; como resultado de la reacción que se desarrolla, por lo tanto, lentamente sobre un área distribuida, se establece una DRZ.

40 Los dispositivos de combustión convencionales a base de llama usan típicamente su agente oxidante como refrigerante para un revestimiento, ya que evita la zona de reacción principal para agregarse a través de los orificios de dilución. En tales dispositivos de combustión, el revestimiento es típicamente una carcasa de metal delgada que separa la zona de combustión del aire de dilución que pasa a través de los orificios del revestimiento para diluir los gases de combustión. Tales dispositivos de combustión basados en llama de la técnica anterior no pueden aceptar agentes oxidantes a alta temperatura, ya que las temperaturas dentro de la zona de reacción alcanzarían niveles extremadamente altos, elevando, por lo tanto, considerablemente las emisiones de NO_x y porque si el agente oxidante está demasiado caliente ya no actúa para enfriar el revestimiento, por lo que los metales no serían adecuados para dicha construcción de revestimiento. Esto es un problema particular, porque los revestimientos típicamente tienen una geometría compleja para incorporar los orificios de dilución, hasta el punto de que frecuentemente son demasiado complejos para fabricarlos a partir de materiales cerámicos.

50 Otra variedad de sistema de dispositivo de combustión sin llama de la técnica anterior se ejemplifica en la solicitud PCT WO 99/18392. En este ejemplo hay una cámara de oxidación cilíndrica, en la cual tiene lugar el oxígeno y dentro de la cámara de oxidación y extendiéndose a lo largo de su longitud hay un conducto de combustible con una pluralidad de boquillas, de manera que se inyecta combustible en la cámara de oxidación para reaccionar con el oxígeno en cada una de las boquillas a lo largo de la longitud del conducto de combustible.

La solicitud PCT WO 2007/128963 A1 describe un quemador de combustible que comprende una pluralidad de ductos de combustible sellados.

60 La patente rusa RU 2447364 C2 describe una cámara de postquemador de una planta de ciclo combinado.

La patente china CN 107420937 A describe un generador de gas de inyección multipunto que usa etanol como combustible.

Resumen de la invención

65 La invención se expone en el conjunto de reivindicaciones adjunto.

Los sistemas contruidos según los criterios de la invención permiten la combustión sin llama con inyección de agente oxidante e inyección de combustible a alta velocidad. En configuraciones preferibles, el combustible se inyecta en lugares distribuidos uniformemente y la presión de inyección de combustible en cada lugar es, en líneas generales, la misma.

La invención permite mantener localmente una relación aire-combustible (AFR) específica controlada en cada inyector de combustible. En condiciones operativas preferibles, la relación aire-combustible local es la misma en cada lugar de inyección de combustible, siendo el resultado que estas relaciones aire-combustible locales son las mismas que la relación aire-combustible global dentro del dispositivo de combustión. Esto asegura una mezcla perfecta de combustible y agente oxidante, eliminando, por lo tanto, las zonas calientes y ricas en combustible dentro del dispositivo de combustión asociadas con la producción de subproductos no deseados. Las tuberías de inyección con sus inyectores de combustible están repartidas equitativamente por todo el dispositivo de combustión con sus posiciones seleccionadas basándose en el flujo másico del agente oxidante, dimensionadas para asegurar que la velocidad del combustible sea significativamente mayor que la velocidad del agente oxidante.

Descripción de las Figuras

Las Figuras 1 y 4 proporcionan una vista en perspectiva de un sistema de dispositivo de combustión según la presente invención, que incluye varias características preferibles.

Las Figuras 2 y 3 proporcionan una vista en perspectiva de las tuberías de combustible del sistema de dispositivo de combustión de las Figuras 1 y 4.

La Figura 5 representa datos de prueba derivados de un sistema de dispositivo de combustión según la presente invención, que indican un nivel extremadamente bajo de aumento de NO_x y CO.

La Figura 6 representa una cámara de combustión compatible con la presente invención que incorpora un número de características opcionales.

Descripción detallada

El dispositivo de combustión se opera utilizando un agente oxidante a alta temperatura, tal como aire recuperado. Los procesos de combustión dentro del dispositivo de combustión producen niveles ultrabajos de NO_x (<5 ppm en el escape) y bajos niveles de CO (<6 ppm en el escape), haciendo menor, por lo tanto, la necesidad de métodos de eliminación secundarios. El dispositivo de combustión puede usar un combustible presurizado y/o un agente oxidante presurizado si la aplicación lo requiere y la mezcla de aire y combustible puede estar por debajo del límite explosivo inferior del combustible.

Como se ha descrito anteriormente, los dispositivos de combustión sin llama de la técnica anterior se basan en la recirculación de gases de combustible. El dispositivo de combustión descrito en el presente documento logra una combustión sin llama sin el requisito de recirculación de gases de combustible. Esto permite el establecimiento de una DRZ sin reducir la concentración de oxígeno dentro de la zona de reacción.

En ejemplos, una carcasa exterior estacionaria forma un espacio dentro con fines de combustión, teniendo el espacio una entrada para la admisión de agente oxidante y una salida hacia la que viaja el agente oxidante. Las dimensiones específicas de la carcasa exterior dependerán de la condición y la entrada y esta invención no limita las dimensiones a ningún rango específico, sin embargo, la separación se construye para asegurar altas velocidades del agente oxidante a través del dispositivo de combustión a través del cálculo del área en sección transversal y suficiente tiempo de permanencia para la combustión completa del combustible a través del cálculo del tamaño longitudinal. El agente oxidante pasa axialmente a lo largo del interior del dispositivo de combustión, preferiblemente a altas velocidades (>50 m/s), muy por encima de la celeridad de llama del combustible a temperatura ambiente, que se ha inyectado en la entrada. Como la temperatura del agente oxidante está por encima del punto de autoignición del combustible, la combustión se produce inmediatamente después del contacto entre el combustible y el agente oxidante.

El combustible se suministra por mediación de líneas de combustible (ya sean únicas o numerosas). Las líneas de combustible están divididas por una selección de colectores y/o uniones en T u otros accesorios para formar una matriz tridimensional de tuberías de inyección de combustible que corren perpendiculares al flujo de agente oxidante.

Como ejemplo, en una realización preferida, las líneas de combustible pueden residir fuera de la cámara de combustión y extenderse en una dirección paralela al flujo del agente oxidante y pueden tener tuberías de entrada de combustible que se bifurcan desde ellas y en comunicación fluida con ellas en una dirección perpendicular y estas tuberías de entrada de combustible pueden tener tuberías de inyección de combustible que se mueven en una dirección perpendicular tanto a las líneas de combustible como a las tuberías de entrada de combustible, de manera que las tuberías de inyección de combustible pasan a través de la carcasa exterior, a través de una pared de la cámara de combustión, a través de la cámara de combustión, a través de la pared opuesta de la cámara de combustión, de regreso a través de la carcasa exterior y hacia una tubería de inyección de combustible en el lado opuesto de la cámara de combustión.

Dado que la sección de la tubería de inyección de combustible que está dentro de la cámara de combustión está expuesta al flujo de agente oxidante, el combustible que fluye a través de ella es precalentado por el agente oxidante que pasa. Esto es ventajoso en los casos de combustibles que requieren precalentamiento y, de hecho, las tuberías de inyección de combustible pueden dimensionarse para proporcionar suficiente transferencia de calor para este proceso. Si el combustible es un líquido, tal como carburante para automóviles u otros combustibles líquidos, se pueden usar boquillas de inyección de combustible bien conocidas por los expertos en la técnica unidas a las tuberías de distribución de combustible o tal combustible se puede vaporizar antes de la inyección.

Por lo tanto, el combustible se inyecta en los inyectores de combustible (tales como, aunque no de forma limitativa, orificios o boquillas). Preferiblemente, los inyectores de combustible están orientados hacia la salida de la cámara de combustión. El resultado de esto es que el combustible se inyectará en la dirección del flujo del agente oxidante.

Las tuberías de inyección de combustible están distribuidas preferiblemente de tal manera que se forme una mezcla ideal de combustible y agente oxidante. Típicamente, esto significará que los inyectores de combustible están distribuidos uniformemente por toda la cámara de combustión. En cada inyector de combustible, la relación aire-combustible (AFR) dependerá del flujo de agente de oxidación en ese punto en la cámara de combustión, del grado en que el agente de oxidación se ha agotado por las reacciones de combustión antes de alcanzar el inyector de combustible y de la tasa a la cual el combustible es expulsado del inyector de combustible. (Este último factor puede controlarse mediante ajustes adecuados a la geometría de las líneas de combustible y las tuberías de entrada de combustible asociadas, las tuberías de inyección de combustible u otros elementos colectores).

En condiciones ideales preferibles, el flujo del agente de oxidación y la tasa a la que se expulsa el combustible de cada inyector de combustible se controlan de manera que la AFR en las proximidades de cada inyector de combustible sea aproximadamente la misma.

La AFR global para la cámara de combustión en su conjunto viene dada por la ecuación:

$$AFR_{global} = X/Y$$

Donde X es el flujo másico total de aire/agente oxidante e Y es el flujo másico total de combustible. Preferiblemente, cada inyector de combustible establece en sus proximidades una AFR local equivalente a la AFR global:

$$AFR_{local} = x_i/y_i$$

$$AFR_{local} = AFR_{global}$$

$$X/Y = x_i/y_i$$

$$\sum_i^n x_i = X$$

$$\sum_i^n y_i = Y$$

Donde x_i es el suministro de agente oxidante local al inyector de combustible i , y_i es el combustible asociado inyectado para el inyector de combustible i y el número de inyectores de combustible se caracteriza por un número n , adecuado para el tipo de combustible específico y la geometría de la cámara de combustión. Cada suministro de agente oxidante local no está separado físicamente de cada suministro de combustible local, sino que los inyectores de combustible están colocados de manera que cada inyector de combustible reciba el suministro de agente oxidante correcto según el flujo axial asociado con el área en sección transversal abarcada por ese inyector de combustible.

Preferiblemente, las tuberías de inyección de combustible y los inyectores de combustible están dimensionados de manera que se inyecten flujos másicos de combustible nominalmente iguales en cada punto de inyección. Así pues, estos ocupan un área en sección transversal del dispositivo de combustión de manera que nominalmente se suministra el mismo flujo másico de agente oxidante a cada lugar de inyección basándose en la distribución del flujo dentro del dispositivo de combustión. Este sistema de distribución de combustible elimina el requisito de una gran zona rica en combustible (tales zonas ricas en combustible típicamente dan como resultado la formación de CO) y, por lo tanto, elimina una gran zona caliente (tales zonas calientes típicamente dan como resultado la formación de NO_x). También elimina el requisito de revestimientos y aire de dilución. Las tuberías de inyección de combustible tienen un diámetro adecuadamente pequeño y están situadas en más de un plano longitudinal para reducir el bloqueo del flujo total del agente oxidante en cualquier plano longitudinal.

Según un aspecto de la invención, los inyectores de combustible están dimensionados de manera que el combustible se inyecta a una velocidad absoluta mayor que el flujo de agente oxidante (preferiblemente 2-3 veces nominalmente), si bien

preferiblemente se asegura un número de Mach adecuadamente por debajo de 1. Las altas velocidades características y las grandes velocidades diferenciales entre el combustible y el agente oxidante aseguran que los reactivos se eliminen de la zona de reacción local antes de que finalice la reacción de combustión, estableciendo, así pues, una DRZ. Debido al establecimiento de una DRZ, no hay puntas de temperatura (estando tales puntas asociadas con formación elevada de NO_x) y las temperaturas no alcanzan niveles más altos que las temperaturas precalculadas basándose en la AFR.

A medida que el agente oxidante pasa por las tuberías de inyección de combustible, puede producirse desprendimiento de von Karman. Las calles de von Karman que se producen aguas abajo de los inyectores de combustible ayudan a la mezcla local de combustible y agente oxidante a alta velocidad; la ayuda para mezclar donde se producen las calles de von Karman asegura que no haya lugares ricos en combustible, eliminando, por lo tanto, la posibilidad de puntos críticos y puntas de temperatura y mejorando la DRZ. La combinación preferida de inyectores de combustible distribuidos uniformemente de manera global en toda el dispositivo de combustión y una excelente mezcla local (posiblemente ayudada por el desprendimiento de von Karman) significa que el agente oxidante y el combustible se mezclan excelentemente después inmediatamente de la combustión sin complicadas geometrías de mezcla, deflectores o inyección de aire de dilución posterior a la combustión. Esto significa que la caída de presión se puede mantener muy baja a pesar de las altas velocidades asociadas con el dispositivo de combustión.

Los inyectores de combustible y las tuberías de inyección de combustible están preferiblemente separados, de tal manera que las calles de von Karman, en caso de que se produzcan, no choquen. La geometría exacta de las tuberías de inyección de combustible y el lugar exacto de los inyectores de combustible dependen de la entrada y esta invención no limita las dimensiones a ningún rango específico. Las líneas de combustible, tuberías de inyección de combustible y cualesquiera tuberías de entrada de combustible, colectores u otros componentes del aparato de suministro de combustible se enfrían mediante el flujo de combustible a través y, así pues, pueden construirse a partir de una aleación adecuada con alto contenido de níquel o acero resistente a altas temperaturas, permitiendo, así pues, geometrías complejas de inyección de combustible. Además, se puede aplicar un recubrimiento de barrera térmica, bien conocido por los expertos en la técnica, a la región de contacto de la zona de dispositivo de combustión de las tuberías para proteger las tuberías de la corrosión y la radiación.

Preferiblemente, la geometría de la cámara de combustión y del inyector de combustible da como resultado gases de combustión inmediatamente mezclados con un aumento de temperatura nominalmente lineal desde la temperatura de entrada del agente oxidante hasta la temperatura de salida deseada sin picos de temperatura. Preferiblemente, la cámara de combustión está dimensionada de manera que se permite suficiente tiempo de permanencia para una combustión completa aguas abajo de todos los puertos de inyección de combustible. Después, los gases de combustión pueden pasar a la salida, típicamente para su uso con turbinas de gas.

Como se ha mencionado, los sistemas de dispositivo de combustión basados en llama de la técnica anterior típicamente usan su agente oxidante como refrigerante para un revestimiento mientras evita la zona de reacción principal para agregarse a través de los orificios de dilución. El revestimiento es típicamente una carcasa de metal delgada que separa la zona de combustión del aire de dilución que pasa a través de los orificios del revestimiento para diluir los gases de combustión. Si el agente oxidante está demasiado caliente, ya no actúa para enfriar el revestimiento, por lo que los metales no son adecuados para la construcción del revestimiento y la geometría de los revestimientos es típicamente demasiado complicada para fabricarlos a partir de cerámica en tales sistemas.

En comparación, el dispositivo de combustión de la presente invención difiere de los dispositivos de combustión sin llama típicos porque tiene velocidades más altas y no requiere catalizadores ni mezcla previa de combustible y oxidante y no requiere la recirculación de gases de combustión ni interna ni externa al dispositivo de combustión. Las condiciones de combustión sin llama se pueden lograr sin la necesidad de recirculación de gases de combustión para reducir la concentración de agente oxidante en la zona de reacción. Las velocidades del flujo de combustible y de oxidante son suficientemente altas para formar una DRZ y la disposición de las líneas de distribución de combustible elimina el requisito de mezclar los gases reaccionados en la zona de postcombustión.

Opcionalmente, la mezcla de combustible y aire se puede aumentar incluyendo "protuberancias" dentro del vacío del dispositivo de combustión, como se representa en la Figura 6. La Figura 6 representa, de forma muy simplificada, la cámara de combustión con la dirección 102 del flujo de aire indicada. El plano en el cual están dispuestos los inyectores de combustible se representa como la línea 104. Se verá que las protuberancias 106 están colocadas después del plano de inyección de combustible, pero en realidad llegan antes de la zona 108 de combustión. Las protuberancias 106 tienen el efecto de restringir el área en sección transversal de la cámara de combustión y, por lo tanto, acelerar el flujo de aire y combustible a través de la cámara y forzar una mezcla adicional de combustible y aire mejorando la turbulencia del flujo. Esto acelera la distribución del combustible inyectado, evitando, además, la formación de zonas muy ricas en combustible. También desestabiliza la corriente de aire-combustible, de manera que no se puede formar una llama estable. Las protuberancias van disminuyendo para permitir una difusión adecuada del flujo para reducir la caída de presión.

Los dispositivos de combustión del tipo descrito arriba y abajo darán como resultado una formación reducida de NO_x y de CO debido a un número de factores diferentes. La excelente mezcla de oxidante y combustible reduce la tendencia a zonas calientes en el fluido que ha experimentado combustión, de manera que la formación térmica de NO_x se reducirá. (Esto permite usar agentes oxidantes a alta temperatura). De forma adicional, la excelente mezcla

y la combustión sin llama dan como resultado lugares no ricos en combustible específicos, dando como resultado, por lo tanto, baja formación de CO y baja prontitud de NO_x. Como el dispositivo de combustión no necesita fluido refrigerante, se puede usar aire recuperado como agente oxidante - esto significa que se puede seleccionar la relación AFR para proporcionar la temperatura final deseada. Esto también reduce la pronta formación de NO_x y la formación de CO proporcionando suficiente oxígeno para una oxidación completa rápida.

Dado que la temperatura del fluido y de la combustión durante la operación del dispositivo de combustión depende del lugar y la geometría de los inyectores de combustible, es posible producir dispositivos de combustión a medida para aplicaciones particulares, seleccionando la disposición de los inyectores de combustible basándose en la geometría de la cámara de combustión y el propósito previsto del dispositivo de combustión, de manera que se puedan optimizar la temperatura del fluido y de la combustión bajo condiciones operativas. A través de este medio, incluso con aire recuperado, la temperatura del fluido se puede controlar proporcionando una distribución de calor aproximadamente suave axialmente. Ventajosamente, esto significa que las temperaturas del fluido se pueden mantener muy por debajo de las temperaturas de formación de NO_x típicas. El control de las temperaturas de combustión y el uso de aire recuperado significa que la temperatura del fluido se puede mantener lo suficientemente alta, permitiendo una rápida oxidación del CO.

Por consiguiente, bajo condiciones preferibles, la temperatura pico y media del fluido en la cámara de combustión se puede mantener durante la operación del dispositivo de combustión dentro de un rango óptimo, en el cual la temperatura es lo suficientemente baja para evitar la formación de NO_x (<~1.500 °C) y lo suficientemente alta para asegurar la rápida oxidación de CO (>~800 °C).

Opcionalmente, el dispositivo de combustión puede incorporar una cámara separada para iniciar la combustión convencional a celeridades más bajas. Esto es para iniciar la combustión durante el proceso de arranque, que de otro modo no proporcionaría inicialmente aire precalentado. Opcionalmente, el aire puede precalentarse durante el proceso de arranque mediante calentadores eléctricos adecuados bien conocidos por los expertos en la técnica, por ejemplo, usando elementos calefactores de carburo de silicio.

El dispositivo de combustión tiene la capacidad de usar una multitud de combustibles con un amplio rango de valores caloríficos usando la misma configuración geométrica básica con cambios menores en las dimensiones de la tubería de entrada de combustible. Se pueden utilizar combustibles tanto líquidos como gaseosos, incluidos, aunque no de forma limitativa, hidrógeno, biometano, otras mezclas de biogás, gas de vertedero, gas natural, queroseno y mezclas de petróleo, tal como, carburante para automóviles (gasolina).

Las tuberías (tales como las líneas de combustible, las tuberías de entrada de combustible y las tuberías de inyección de combustible) para suministrar combustible a los dispositivos de combustión según la presente invención pueden estar hechas preferiblemente de tubos de acero inoxidable, ya que no se requiere una geometría particularmente compleja. Los dispositivos de combustión según la presente invención son capaces de manejar agentes de oxidación a temperaturas extremadamente altas y a alta velocidad (más de 800 °C y 50 m/s en la entrada).

En las Figuras se representa un ejemplo de la presente invención. El ejemplo particular ilustrado está previsto para su uso como parte de un ciclo de turbina de gas. La Figura 1 representa una vista en perspectiva del sistema de dispositivo de combustión. La carcasa exterior 8 contiene una cámara 2 de combustión. En la realización representada, la carcasa exterior 8 comprende múltiples capas de materiales de aislamiento seleccionados para aislar y contener la temperatura, siendo la capa más externa de metal; los materiales y dimensiones específicos elegidos se basan en un gradiente de temperatura específico a través de la capa, de manera que una carcasa exterior muestre una temperatura de superficie deseada. Los materiales usados para el aislamiento podrían ser, aunque no de forma limitativa, microporosos, refractarios moldeables, cordierita, silicato de calcio estructural y productos de fibra cerámica. Es visible la salida 6 hacia la que fluye el agente oxidante en operación; la entrada está en el lado opuesto. A lo largo de la carcasa 8, extendiéndose en una dirección paralela al eje longitudinal de la cámara 2 de combustión, están las líneas 12 de combustible. Extendiéndose desde las líneas 12 de combustible en una dirección perpendicular a ellas están las tuberías 14 de entrada de combustible. Extendiéndose desde las tuberías 14 de entrada de combustible en una dirección perpendicular a ellas y a las líneas 12 de combustible e intersectando la cámara 2 de combustión, están las tuberías 16 de inyección de combustible.

La Figura 2 representa solo las tuberías de combustible del mismo sistema de dispositivo de combustión, para ilustrar mejor su disposición. Será evidente a partir de la Figura que las tuberías 16 de inyección de combustible se extienden desde una tubería 14 de entrada de combustible hasta una correspondiente en el lado opuesto de la cámara de combustión. Las tuberías 16 de inyección de combustible también incorporan inyectores 18 de combustible. Estos están orientados para mirar hacia la salida 6.

La Figura 3 representa las tuberías de combustible, con la vista orientada de manera que la dirección del flujo del agente oxidante cuando el dispositivo de combustión está en uso está fuera de la página hacia el observador. Como se ve en la Figura 2, cada par de tuberías 14 de entrada de combustible tiene seis tuberías 16 de inyección de combustible que las conectan y las tuberías 16 de inyección de combustible están escalonadas en la dirección de extensión de las tuberías 14 de entrada de combustible y los inyectores 18 están escalonados en las tuberías 16 de inyección de combustible, para asegurar una distribución lo más uniforme posible de los inyectores 18. Será

evidente que si bien el ejemplo representado tiene dos inyectores 18 por tubería 16 de inyección de combustible, podrían tener tan solo uno o tantos inyectores 18 como la geometría de la cámara 2 de combustión haga necesario.

La Figura 4 representa el sistema de dispositivo combustión orientado en la misma dirección que la Figura 3 para mostrar cómo están dispuestos los inyectores 18 dentro de la cámara 2 de combustión.

Aunque con el propósito de ilustrar la presente invención las Figuras solo muestran dos pares de tuberías 14 de entrada de combustible (con tuberías 16 de inyección de combustible asociadas) que se extienden desde las líneas 12 de combustible, se apreciará que para los propósitos de la presente invención se pueden incorporar pares adicionales a lo largo de la longitud de la línea 12 de combustible, preferiblemente tantas como sean necesarias para establecer una relación aire-combustible consistente en toda la cámara 2 de combustión.

La Figura 5 representa los resultados de las pruebas de un dispositivo de combustión según la presente invención. La entrada de flujo caliente al dispositivo de combustión se proporcionó por un quemador y enriquecida al 21 % de oxígeno, en lugar de usar aire fresco ambiental; como tal, había un cierto nivel de NO_x en la entrada. Los resultados representados muestran la diferencia en ppm en el contenido de CO y el contenido de NO_x – definido como el contenido total de NO, NO_2 y N_2O en ppm – entre la entrada y la salida del dispositivo de combustión. Las mediciones se tomaron usando lecturas de un espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (espectroscopia FTIR) antes de que los gases ingresaran en el dispositivo de combustión sin llama y después de que los gases salieran del dispositivo de combustión sin llama. Se verá que la cantidad que el dispositivo de combustión agrega niveles mínimos de estos gases de escape; menos de 3 ppm de NO_x , menos de 2 ppm de CO y, en realidad, en algunos funcionamientos de prueba había una disminución aparente de CO (debido a que los niveles de CO eran extremadamente pequeños en comparación con el nivel de incertidumbre en las mediciones).

Este nivel extremadamente mínimo de emisión de CO y NO_x se comparan muy favorablemente con los requisitos regulatorios y con las soluciones de la técnica anterior. Las regulaciones de la EPA de EE. UU. a partir de 2005 requieren que los quemadores de gas natural deben tener niveles de producción de NO_x de 30 ppm o por debajo y los dispositivos de combustión de turbinas de gas deben conseguir menos de 25 ppm de producción de NO_x si funcionan a una capacidad de producción por debajo de 50 MW. Dentro de la industria, alcanzar menos de 15 ppm de NO_x o 30 ppm de CO se considera que vale la pena a la hora de promocionar los sistemas de quemadores. Es evidente que los niveles extremadamente bajos de producción de estas especies de la presente invención constituyen una contribución técnica importante.

Opcionalmente, los dispositivos de combustión según la presente invención pueden ser parte de un ciclo de turbina regenerativa que puede implicar un compresor para el aire de entrada, un regenerador giratorio o un recuperador de intercambio de calor para transferir calor desde el escape de la turbina hasta el aire comprimido, un dispositivo de combustión descrito en el presente documento para elevar la temperatura del aire comprimido a las condiciones deseadas de entrada de la turbina y una turbina para extraer trabajo del aire comprimido a alta temperatura. El regenerador giratorio o el recuperador de intercambio de calor suministrarían aire al dispositivo de combustión descrito en el presente documento a temperaturas superiores a la temperatura de autoignición del combustible, mientras presentan bajas pérdidas de presión (y arrastre) en toda la unidad y, así pues, necesitaría ser un intercambiador de calor de alta temperatura y alta efectividad. La turbina aceptaría aire a alta temperatura del dispositivo de combustión y, así pues, tendría que construirse a partir de materiales adecuados para hacer frente al aire de entrada a alta temperatura, una turbina de este tipo puede requerir celeridades de rotación relativamente bajas basándose en la especificación del material. Un compresor para el aire de entrada podría ser un compresor de alta eficiencia capaz de ser accionado por un árbol mediante la turbina y, así pues, sería capaz de comprimir el aire a bajas celeridades de rotación. Un ciclo de este tipo que incluye el dispositivo de combustión es capaz de altas eficiencias en comparación con otros ciclos de microturbinas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para utilizar un sistema de dispositivo de combustión sin llama, en donde el sistema de dispositivo de combustión sin llama comprende:

una cámara (2) de combustión que se extiende longitudinalmente a través de la cual fluye un agente oxidante a alta temperatura en la dirección longitudinal desde una entrada hasta una salida [6],

al menos dos líneas (12) de combustible;

en donde al menos una tubería (16) de inyección de combustible en comunicación fluida con una primera de las al menos dos líneas de combustible se extiende a través de una pared de la cámara de combustión, en donde cada tubería de inyección de combustible contiene al menos un inyector (18) de combustible para inyectar combustible en la cámara de combustión;

en donde al menos una de las al menos una tubería de inyección de combustible se extiende a través de la pared de la cámara de combustión, a través del interior de la cámara de combustión hasta una pared opuesta de la cámara de combustión y a través de la pared opuesta, de manera que la tubería de inyección de combustible está en comunicación fluida tanto con la primera de las al menos dos líneas de combustible como con una segunda de las al menos dos líneas de combustible y comprendiendo el método, además:

proporcionar el agente oxidante a alta temperatura a través de la entrada y admitir combustible en las al menos dos líneas de combustible, de manera que el combustible pase a la al menos una tubería de inyección de combustible y sea expulsado a través del al menos un inyector de combustible, con la velocidad y presión del agente oxidante a alta temperatura y el combustible seleccionados para establecer la misma relación aire-combustible en cada uno de los al menos un inyector de combustible y en donde la temperatura del agente oxidante a alta temperatura está por encima del punto de autoignición del combustible.

2. El método de la reivindicación 1, en donde la relación aire-combustible se selecciona de manera que la cámara (2) de combustión mantiene una temperatura por debajo de la que causaría la formación de NO_x bajo condiciones operativas.

3. El método de la reivindicación 4, en donde la cámara (2) de combustión mantiene una temperatura entre 800 °C y 1500 °C.

4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, en donde el agente oxidante a alta temperatura es aire precalentado mediante combustión convencional en una cámara separada o calentadores eléctricos durante un proceso de arranque del sistema de dispositivo de combustión o aire recuperado.

5. Un sistema de dispositivo de combustión sin llama configurado para su uso en el método de cualquier reivindicación anterior, que comprende:

una cámara (2) de combustión que se extiende longitudinalmente a través de la cual fluye un agente oxidante a alta temperatura en la dirección longitudinal desde una entrada hasta una salida [6],

al menos dos líneas (12) de combustible;

en donde al menos una tubería (16) de inyección de combustible en comunicación fluida con una primera de las al menos dos líneas de combustible se extiende a través de una pared de la cámara de combustión, en donde cada tubería de inyección de combustible contiene al menos un inyector (18) de combustible para inyectar combustible en la cámara de combustión;

en donde al menos una de las al menos una tubería de inyección de combustible se extiende a través de la pared de la cámara de combustión, a través del interior de la cámara de combustión hasta una pared opuesta de la cámara de combustión y a través de la pared opuesta, de manera que la tubería de inyección de combustible está en comunicación fluida tanto con la primera de las al menos dos líneas de combustible como con una segunda de las al menos dos líneas de combustible,

en donde los inyectores de combustible están dimensionados de manera que cuando se lleva a cabo el método de cualquier reivindicación anterior, el combustible se inyecta a una velocidad absoluta mayor que el flujo de agente oxidante.

6. El sistema de dispositivo de combustión sin llama de la reivindicación 5, en donde cada una de las al menos dos líneas (12) de combustible tiene extendiéndose desde ella al menos una tubería (14) de entrada de combustible en comunicación fluida con la línea de combustible y al menos una de las al menos una tubería

(16) de inyección de combustible se extiende desde la tubería de entrada de combustible, de manera que la tubería de inyección de combustible está en comunicación fluida con la tubería de entrada de combustible.

- 5 7. El sistema de dispositivo de combustión sin llama de la reivindicación 5 o 6, en donde las al menos dos líneas (12) de combustible se extienden sustancialmente paralelas a la cámara de combustión en la dirección longitudinal.
8. El sistema de dispositivo de combustión sin llama de la reivindicación 7, en donde las tuberías (16) de inyección de combustible se extienden en una dirección perpendicular a la de las al menos dos líneas de combustible.
- 10 9. El sistema de dispositivo de combustión sin llama de la reivindicación 8 con la reivindicación 7 dependiendo de la reivindicación 5,

15 en donde cada una de las al menos dos líneas (12) de combustible tiene extendiéndose desde ella al menos una tubería (14) de entrada de combustible en comunicación fluida con la línea de combustible y al menos una de las al menos una tubería (16) de inyección de combustible se extiende desde al menos una de las al menos una tubería de entrada de combustible, de manera que las tuberías de inyección de combustible están en comunicación fluida con las tuberías de entrada de combustible y en donde las tuberías de entrada de combustible se extienden en una dirección perpendicular a la de las al menos dos líneas de combustible y de las al menos una tubería de inyección de combustible.
- 20 10. El sistema de dispositivo de combustión sin llama de la reivindicación 5 o la reivindicación 9, en donde cada una de las al menos dos líneas (12) de combustible comprende una pluralidad de tuberías (14) de entrada de combustible que se extienden desde ella a lo largo de su longitud y cada tubería de entrada de combustible comprende una pluralidad de tuberías (16) de inyección de combustible que se extienden desde ellas a lo largo de sus longitudes.
- 25 11. El sistema de dispositivo de combustión sin llama de cualquiera de las reivindicaciones 5 - 10, en donde los inyectores (18) de combustible comprenden orificios o boquillas.
- 30 12. El sistema de dispositivo de combustión sin llama de cualquiera de las reivindicaciones 5 - 11, en donde los inyectores (18) de combustible están orientados hacia la salida (6) de la cámara de combustión.
- 35 13. El sistema de dispositivo de combustión sin llama de cualquiera de las reivindicaciones 5 - 12, en donde los diámetros de las al menos dos líneas (12) de combustible, al menos una línea de inyección de combustible y, cuando esté presente, al menos una tubería (14) de entrada de combustible se eligen de manera que bajo condiciones operativas, la presión del combustible suministrado a cada punto de inyección es la misma.
14. El sistema de dispositivo de combustión sin llama de cualquiera de las reivindicaciones 5 - 13, en donde los inyectores (18) de combustible están distribuidos uniformemente dentro de la cámara (2) de combustión.

Figura 1

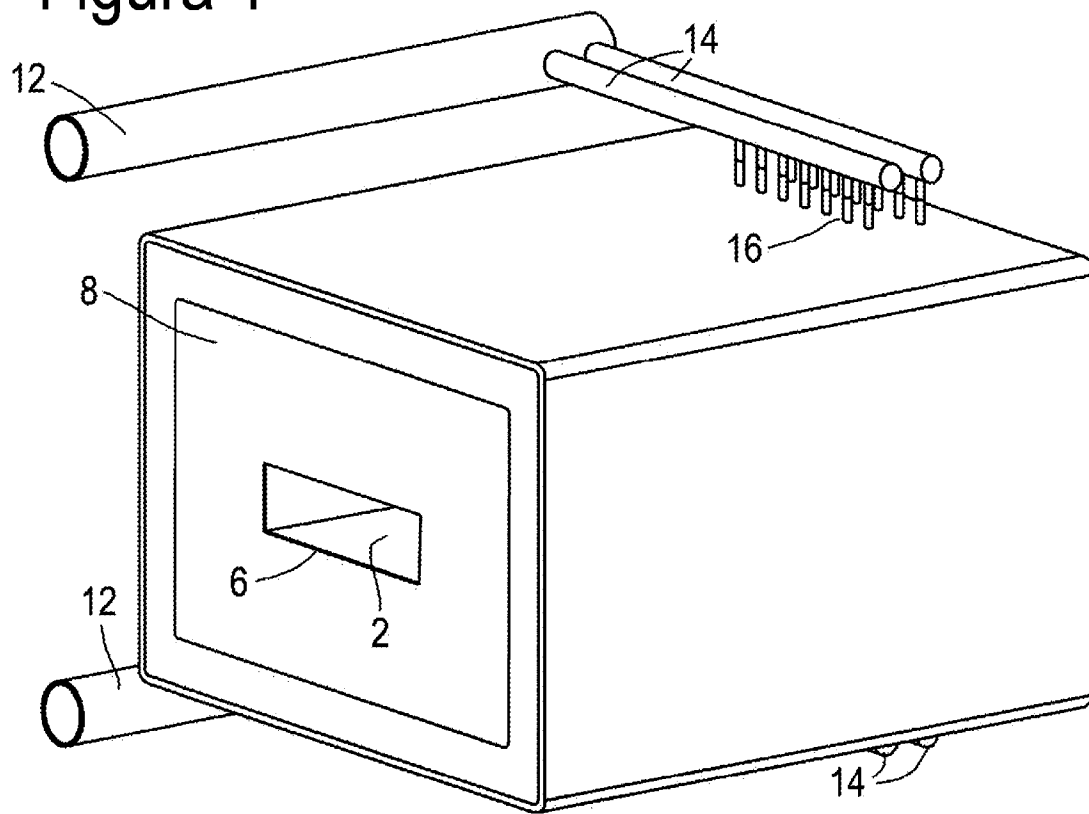


Figura 2

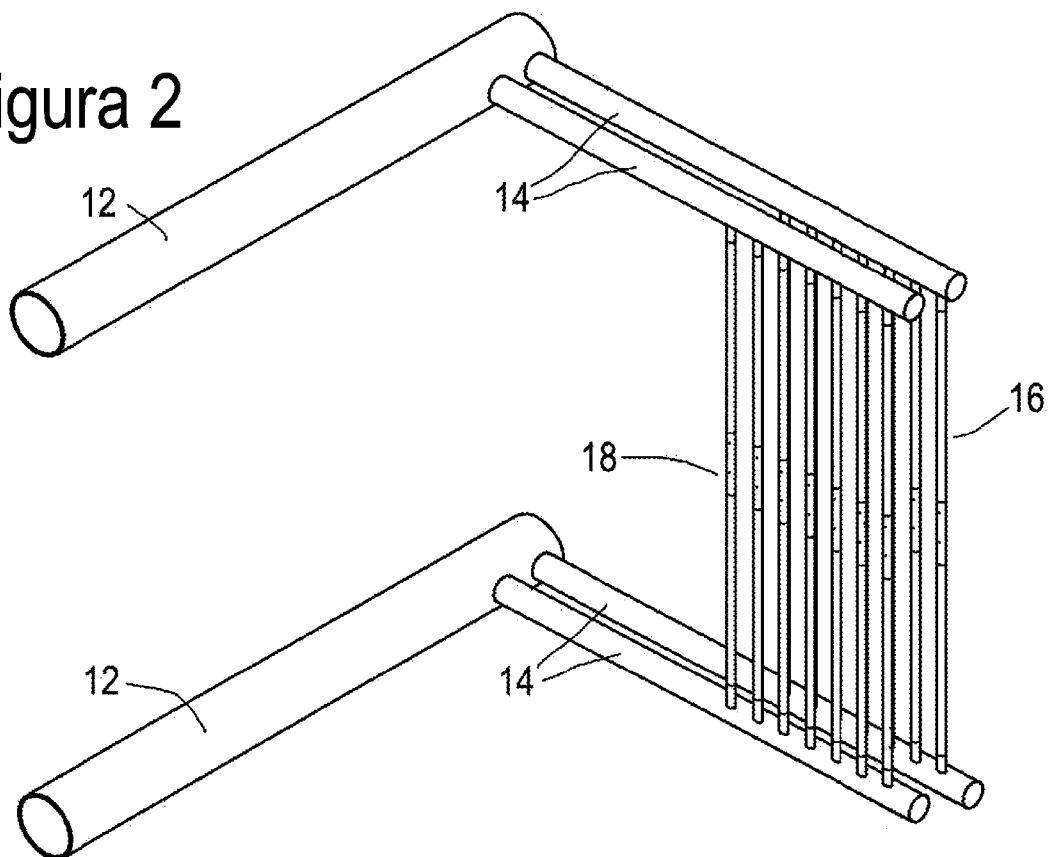


Figura 3

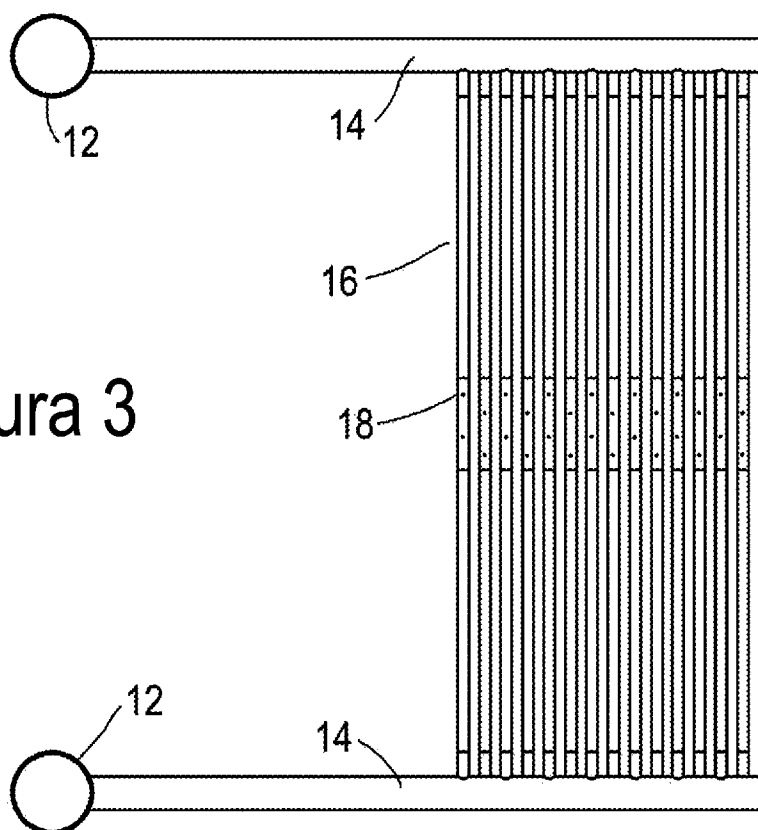


Figura 4

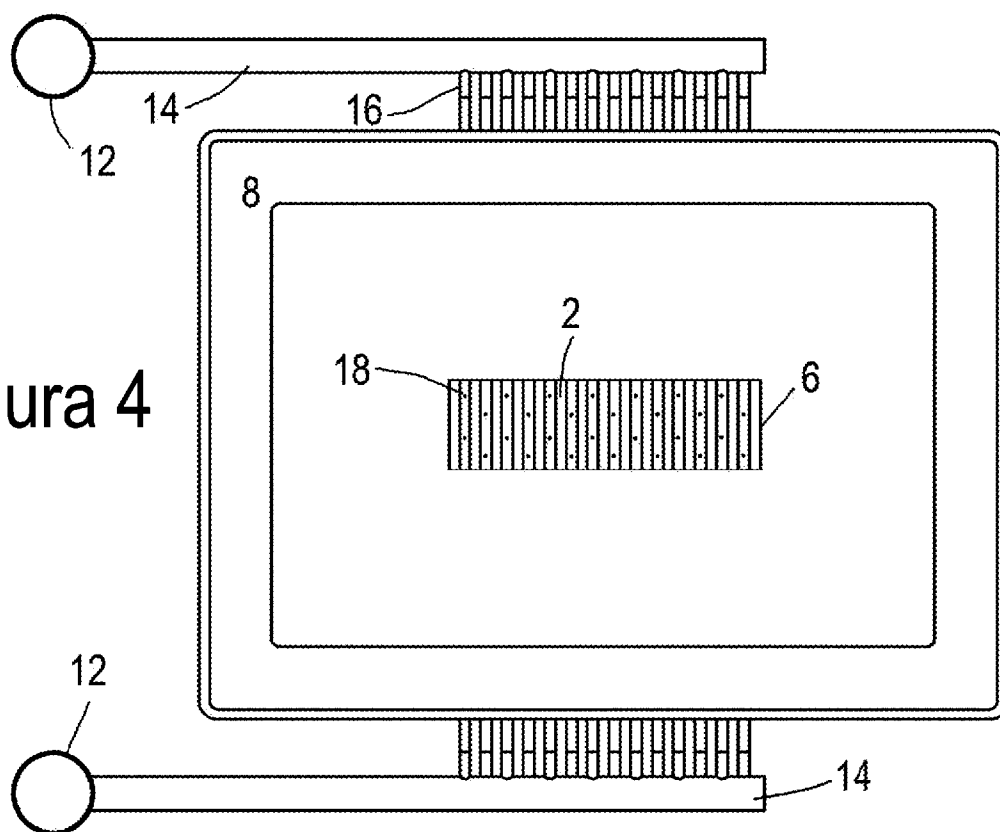


Figura 5
Diferencia de ppm

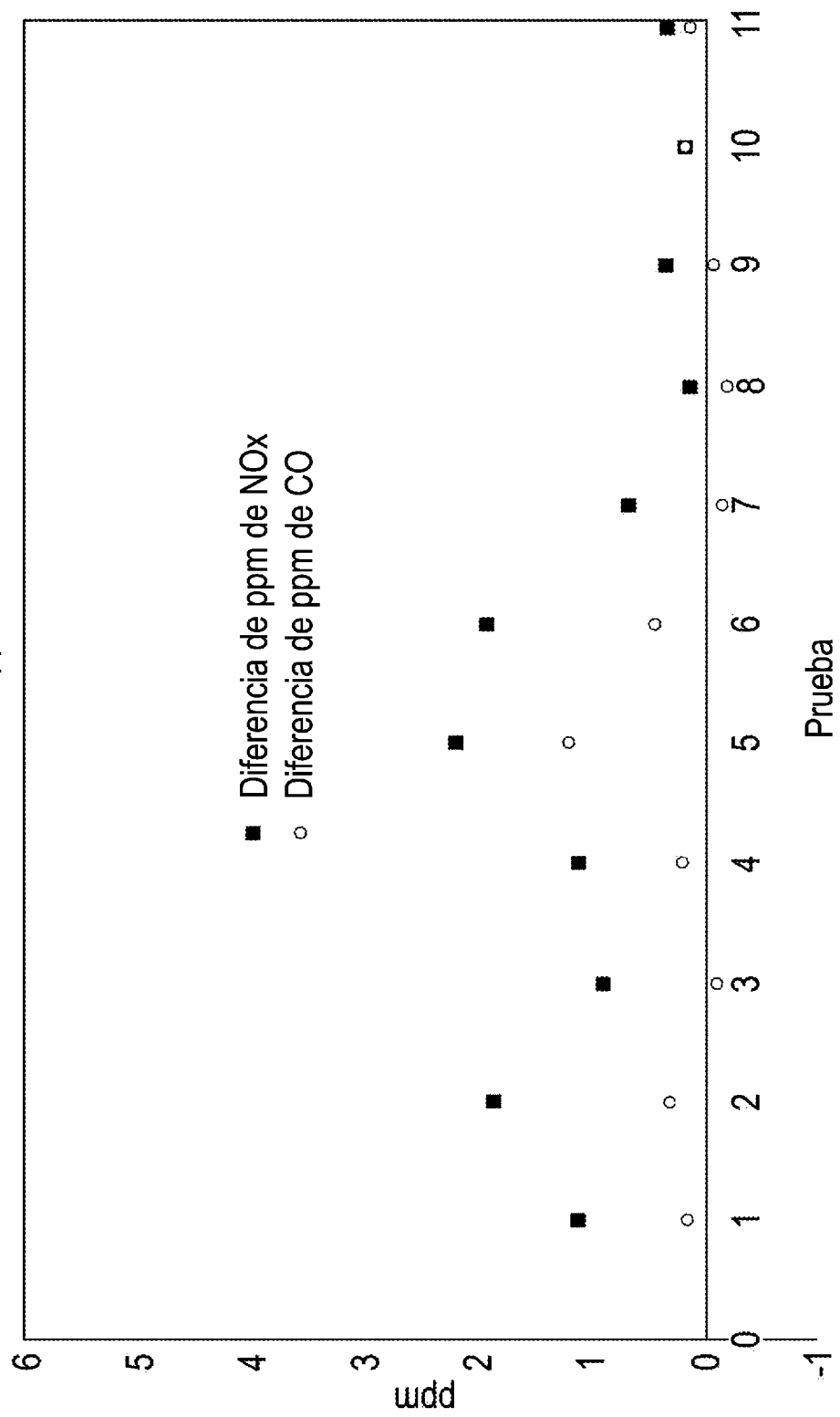


Figura 6

