



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 589**

51 Int. Cl.:
F23C 6/04 (2006.01)
F23D 14/24 (2006.01)
F23D 14/58 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04026942 .5**
96 Fecha de presentación : **12.11.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1531303**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.05.2005**

54 Título: **Proceso mejorado de aportación escalonada de combustible para operaciones de NOx bajo.**

30 Prioridad: **14.11.2003 US 713232**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
07.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
07.06.2011

73 Titular/es: **AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.**
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, Pennsylvania 18195-1501, US

72 Inventor/es: **Joshi, Mahendra Ladharam;**
Li, Xianming Jimmy y
Slavejkov, Aleksandar Georgi

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 360 589 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

Proceso mejorado de aportación escalonada de combustible para operaciones de NOx bajo

5 **Antecedentes de la invención**

La presente invención se refiere a procesos y sistemas de aportación escalonada del combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx), y en particular a tales procesos y sistemas que usan puntas de dilución de combustible en quemadores de Nox bajo.

10 Uno de los retos a los que se enfrenta la industria de procesos químicos (CPI) es la combustión de combustibles residuales por razones económicas y que al mismo tiempo cumplir los requisitos de emisiones de bajo contenido de NOx y CO. Los combustibles residuales contienen una mezcla de gases de relación C/H más alta que se queman con llamas muy luminosas debido a oxidación de carbono y también producen partículas de hollín o carbono
15 dependiendo del proceso de combustión. La composición típica del combustible de refinería contiene cantidades variables de combustibles y gases inertes (por ejemplo, C1, C2, C3 Cn, olefinas, hidrógeno, nitrógeno, CO2, vapor de agua). Si se forman partículas de carbono u hollín en las puntas de combustible, la estructura de hollín crece generalmente bajo condiciones favorables de presión y temperatura existentes cerca de la salida de la punta. Esto podría dar lugar a bloqueo de inyección de combustible, deflexión del chorro de combustible, y sobrecalentamiento
20 de las puntas y partes del horno, tales como los tubos de proceso y las paredes refractarias, y a la parada potencial de la operación de los quemadores y del horno. La parada de un horno podría dar lugar a significativas cargas financieras, incluyendo la responsabilidad que surge de la interrupción de procesos posteriores.

25 Los combustibles de refinería sucios que constan de carbono superior y que contienen gases tales como acetileno, etano, propano, butano y olefinas (por ejemplo, etileno y propileno) producen generalmente partículas de hollín si las puntas de combustible se someten a:

30 * Mezcla inadecuada en el horno (dependiendo de que el número de chorros, geometría de los chorros, ángulos de inyección y velocidades de inyección no sean óptimos) (generalmente clasificados como un problema de diseño del quemador);

* Falta de aire de combustión o de oxidante disponible cerca de los chorros de combustible (generalmente clasificados como un problema de configuración del flujo de los quemadores);

35 * Inadecuado enfriamiento de las puntas de combustible (exposición regular a la radiación del horno) (generalmente clasificado como un problema de diseño del quemador y la configuración de la punta de combustible);

40 * Interrupción de los flujos de combustible (fiabilidad del equipo de combustible situado hacia arriba) (generalmente clasificado como un problema de proceso);

* Operación de combustión más baja (tasas de flujo de combustible más bajas debido a bajada del proceso) (generalmente clasificado como un problema de proceso); o

45 * Fluctuación de la composición del combustible de refinería en términos de especies conteniendo carbono (generalmente clasificado como un problema de requisitos del proceso).

50 El diseño del quemador o las puntas afecta de forma significativa al sobrecalentamiento de las puntas, producción de hollín, obturación de las puntas, y frecuente mantenimiento resultante del equipo quemador. Estos problemas se complican por las condiciones cambiantes del proceso, tales como extremo bajo de la bajada del proceso y/o interrupción de los flujos de combustible, que afectan al enfriamiento requerido necesario en las puntas de combustible. Las condiciones cambiantes del proceso y los cambios de la composición del combustible son comunes en la operación de la refinería.

55 Otro reto al que se enfrenta la CPI es el requisito de emisiones de bajo contenido de NOx para cumplir las normas sobre emisiones. Hay varias zonas en los Estados Unidos donde las normas relativas a NOx (según la ley del Aire Puro de 1990) requieren que las emisiones de los calefactores de proceso, calderas, turbinas de gas, y demás equipos de combustión estacionarios sean inferiores a 10 ppm de NOx. La solución más común o BACT (mejor tecnología de control disponible) en la CPI es usar un SCR (reactor catalítico selectivo) para post-limpieza de gases de combustión para reducción del contenido de NOx en la corriente de gases de escape (convirtiendo NOx a N2)
60 usando inyección de amoníaco dentro de un reactor catalítico grande. Este proceso requiere mucho capital y requiere cantidades significativas de amoníaco, aire caliente y electricidad para la operación del ventilador ID.

65 La mayoría de las refinerías desearía evitar la instalación de SCR y usar en su lugar quemadores de Nox bajo para cumplir sus requisitos de NOx. Sin embargo, los quemadores de NOx bajo no han producido sistemáticamente menos de 10 ppm de NOx en varias aplicaciones de calentamiento de procesos, tales como reformadores de vapor de metano (SMR), calefactores de crudo, crackers de etileno, o calderas. Por esta razón, el uso de quemadores de

Nox bajo no ha sido certificado por las agencias reguladoras como la BACT. En otros términos, SCR actualmente es la única solución comercialmente viable para cumplir los estrictos niveles de NOx en regiones de cumplimiento de ozono donde la concentración de ozono a nivel de tierra excede de los límites legales.

5 Típicamente, los operadores en la CPI utilizan gas natural limpio o una mezcla óptima de gas natural y combustibles de refinería sucios para reducir las cargas de los problemas de mantenimiento. Sin embargo, debido a la escasez del gas natural y el alto costo de los combustibles, no siempre es posible que las industrias de proceso utilicen gas natural limpio para combustión. Las refinerías que pueden quemar combustibles residuales tienen típicamente una productividad más alta y un estado competitivo relativamente favorable en comparación con otras refinerías que infrutilizan el potencial de los combustibles residuales.

10 Con respecto a reducción de NOx, los métodos comunes de control de NOx incluyen la utilización de quemadores de Nox bajo equipados con niveles más altos de aportación escalonada del combustible y dilución de aire/combustible con recirculación de gases de combustión (FGR). Inyectando especies químicas no reactivas o inertes en la mezcla de combustible/oxidante, se reduce la temperatura media de la llama y, por ello, se reducen las emisiones de NOx. Sin embargo, estos métodos requieren costos adicionales de tuberías y energía asociados con el transporte de gases de combustión. Además, hay una carga de energía debida al calentamiento requerido de los gases desde la temperatura ambiente a la temperatura de proceso. Además, los datos de campo publicados en la literatura no indican que estos métodos logren un rendimiento inferior a 10 ppm de NOx.

15 Se han desarrollado varios dispositivos y métodos que usan aportación escalonada del combustible con el objetivo de reducir las emisiones de NOx. Varios de ellos se explican a continuación.

20 La Solicitud de Patente de Estados Unidos número 2003/0148236 (Joshi y colaboradores) describe un quemador de NOx ultra bajo que usa boquilla de aportación escalonada de combustible. El quemador tiene ocho lanzas de aportación escalonada del combustible situadas alrededor del cuerpo principal del quemador. La parte central del quemador se usa para suministrar 100% del aire de combustión y se inyecta una cantidad muy pequeña de combustible (-10%) para la estabilidad general de la llama. El resto del combustible (- 90%) es inyectado usando múltiples lanzas de aportación escalonada del combustible. Las lanzas de aportación escalonada del combustible tienen puntas de boquilla de combustible especiales con dos agujeros circulares. Como se representa en las figuras 1A-1C, estas lanzas tienen ángulos de divergencia axial y radial para mezcla retardada con el aire de combustión y arrastre de los gases de horno debido a una velocidad de chorro relativamente alta (152 a 305 m/s (500 a 1.000 pies/segundo) o una presión de suministro de combustible de 34500 a 103000 N/m² (5 a 15 psig) dependiendo de la tasa de combustión).

25 La Patente de Estados Unidos número 6.383.462 (Lang) describe un método y un aparato que tiene una cámara de mezcla fuera del "quemador y horno" para mezclar gases de combustión del horno con el gas combustible, como se representa en la figura 2. Se utiliza una mezcladora venturi convergente divergente para diluir más el gas combustible con gas de promoción de flujo adicional. La mezcla resultante (combustible diluido con gases de combustión) es enviada posteriormente al quemador donde la mezcla se combina con el aire de combustión y quema en el horno. Dependiendo del nivel de dilución de los gases de combustión se puede obtener una reducción de emisiones de NOx de 26 ppm a 14 ppm. Este aparato y método no reducen las emisiones de NOx por debajo de 10 ppm y los resultados no son comparables a los que se logran típicamente con tecnología SCR.

30 La Patente de Estados Unidos número 6.481.209 (Johnson y colaboradores) describe un sistema de aportación escalonada del combustible adecuado para motores de turbina de gas. Se logra una eficiente combustión con aire con menores emisiones de NOx y CO dividiendo la inyección de combustible en dos etapas: 1) inyectores instalados en mezcladores de remolino, y 2) inyectores instalados en la región de torbellino atrapado del combustor. Sin embargo, este esquema de inyección no es adecuado para hornos grandes donde las zonas de vórtice atrapado no son posibles debido a la geometría del horno y la carga.

35 La Patente de Estados Unidos número 6.558.154 (Eroglu y colaboradores) describe una estrategia de aportación escalonada de combustible basada en control para un aeromotor en el que se usan dos boquillas de aportación escalonada del combustible instrumentadas separadas. Se ha instalado un conjunto de sensores de emisión y pulsación hacia abajo de cada zona de escalonamiento. Estos sensores miden la calidad de productos de combustión salidos de cada zona de escalonamiento y posteriormente una unidad de control varía las cantidades relativas de combustibles inyectados en cada zona dependiendo de las condiciones operativas y medioambientales cambiantes.

40 La Patente de Estados Unidos número 5.601.424 (Bernstein y colaboradores) describe un método para reducir NOx usando control de inyección de vapor atomizante. Los niveles de NOx se reducen añadiendo a la llama del quemador vapor atomizante, que está disponible para atomización de aceite combustible. Para una reducción de 30% e NOx se necesita aproximadamente 0,227 kg de vapor/0,454 kg de flujo de combustible (0,5 libras de vapor/libras de flujo de combustible). Se necesita una gran cantidad de vapor para reducir la temperatura de la llama y obtener una reducción de NOx requerida. Además, si se usa una gran cantidad de vapor para enfriar rápidamente la llama, hay posibilidad de inestabilidad de la llama y deposición catódica. Así, hay un límite superior para la

inyección de vapor por motivos de estabilidad de la llama.

La industria de las turbinas de gas también usa una técnica similar de inyección de vapor para control de NOx. Sin embargo, debido a un modo ineficiente de inyección de vapor, se paga una gran carga económica para reducir las emisiones de NOx. El consumo de vapor es muy grande, y la técnica es relativamente ineficiente y de costo no razonable para control de NOx.

Se desea tener un aparato y método de reconversión de costo razonable para la reducción de las emisiones de NOx, que proporcionen la capacidad de quemar gases residuales de refinería sin excesivas emisiones de NOx.

También se desea tener un aparato y método que reduzcan el mantenimiento del equipo debido a problemas tal como obturación de las puntas del quemador y sobrecalentamiento de las tuberías de proceso, y que proporcione beneficios adicionales de mejor eficiencia del combustible y productividad del horno.

También se desea tener un aparato y método que permitan que los quemadores corrientes de Nox bajo cumplan los requisitos del nivel de NOx de SCR permitiendo a las refinerías cumplir las normas relativas a NOx sin usar la tecnología SCR de gran coste de capital.

También se desea tener un aparato y método que permitan a las industrias de proceso consumir combustible residual más barato sin incurrir en cargas de problemas de mantenimiento tales como obturación de las puntas, sobrecalentamiento del equipo, interrupciones del proceso, etc, cumpliendo al mismo tiempo las normas relativas a NOx produciendo emisiones de menos de 10 ppm de NOx.

También se desea tener un aparato y método para quemar un combustible que proporcionen mejor rendimiento que la técnica anterior, y que también superen muchas de las dificultades y desventajas de la técnica anterior al objeto de obtener resultados mejores y más ventajosos.

Breve resumen de la invención

La presente invención es un método y un sistema para diluir un combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno a través de aportación escalonada del combustible. La invención también incluye un dispositivo de dilución de combustible que puede ser usado en el método o el sistema.

Hay múltiples pasos en una primera realización del método para diluir un combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno a través de aportación escalonada del combustible. El primer paso es proporcionar un dispositivo de dilución de combustible, que incluye: un primer conducto que tiene una entrada y una salida espaciada de la entrada, estando adaptado el primer conducto para transmitir una corriente del combustible que entra en la entrada y que sale de la salida en un primer estado termodinámico y un primer índice de combustible; y un segundo conducto que tiene una admisión y una evacuación espaciada de la admisión, estando adaptado el segundo conducto para transmitir una corriente de un fluido que entra en la admisión y que sale de la evacuación en un segundo estado termodinámico y un segundo índice de combustible, siendo el segundo índice de combustible diferente del primer índice de combustible en al menos aproximadamente 0,1 y siendo el segundo estado termodinámico diferente del primer estado termodinámico, por lo que existe un potencial de mezcla entre la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto y la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto. El segundo paso es alimentar la corriente del combustible a la entrada del primer conducto, saliendo dicha corriente del combustible de la salida del primer conducto en el primer estado termodinámico y el primer índice de combustible. El tercer paso es alimentar la corriente del fluido a la admisión del segundo conducto, saliendo dicha corriente del fluido de la evacuación del segundo conducto en el segundo estado termodinámico y el segundo índice de combustible, por lo que al menos una porción de la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto se mezcla con al menos una porción de la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto en una posición próxima a la salida y la evacuación, generando por ello al menos una corriente de combustible diluido que tiene un índice de combustible intermedio entre el primer índice de combustible y el segundo índice de combustible. El cuarto paso es proporcionar una fuente de un oxidante. El quinto paso es quemar una porción del oxidante con al menos una porción de al menos una de la corriente del combustible, o la corriente del fluido, o la corriente de combustible diluido, generando por ello un gas conteniendo una cantidad reducida de óxido de nitrógeno, siendo dicha cantidad reducida de óxido de nitrógeno menor que una cantidad más alta de óxido de nitrógeno que se generaría quemando el combustible usando unos medios distintos del dispositivo de dilución de combustible.

Hay muchas variaciones de la primera realización del método. En una variación, el fluido es un combustible. En otra variación, el fluido se selecciona de un grupo que consta de vapor, gases de combustión, dióxido de carbono, nitrógeno, argón, helio, xenón, criptón, otros fluidos inertes, y sus mezclas o combinaciones.

En otra variación de la primera realización del método, el primer conducto está adyacente al segundo conducto. En otra variación, al menos una porción sustancial del segundo conducto está dispuesta en el primer conducto. En otra variación, el segundo conducto tiene un diámetro equivalente (D_c) y la evacuación del segundo conducto está situada a una distancia detrás de la salida del primer conducto, estando dicha distancia en un rango de

aproximadamente (2 D_c) a aproximadamente (20 D_c).

Una segunda realización del método para diluir un combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno a través de aportación escalonada del combustible es similar a la primera realización, pero incluye dos pasos adicionales. El primer paso adicional es proporcionar un turbulenciador dispuesto en el segundo conducto. El segundo paso adicional es transmitir al menos una porción de la corriente del fluido a través del turbulenciador, arremolinando por ello al menos una porción del fluido que sale del segundo conducto.

Según la invención, una boquilla de cremallera está dispuesta en comunicación de fluido con la salida del primer conducto. Esto permite transmitir a través de la boquilla de cremallera al menos una porción de una corriente de combustible diluido.

Otra realización del método es similar a la primera realización, pero incluye el paso adicional de colocar el dispositivo de dilución de combustible en comunicación de fluido con un horno conteniendo una cantidad de un gas de horno, por lo que al menos una porción de la cantidad del gas de horno se mezcla con al menos una porción de la corriente de combustible diluido.

Otra realización de un método para diluir un combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno a través de aportación escalonada del combustible incluye múltiples pasos. El primer paso es proporcionar un dispositivo de dilución de combustible, que incluye: un primer conducto que tiene una entrada y una salida espaciada de la entrada, estando adaptado el primer conducto para transmitir una corriente del combustible que entra en la entrada y que sale de la salida a una primera presión, una primera velocidad, y un primer índice de combustible; y un segundo conducto que tiene una admisión y una evacuación espaciada de la admisión, estando adaptado el segundo conducto para transmitir una corriente de un fluido que entra en la admisión y que sale de la evacuación a una segunda presión, una segunda velocidad, y un segundo índice de combustible, siendo el segundo índice de combustible diferente del primer índice de combustible en al menos aproximadamente 0,1 y siendo al menos una de la segunda presión y la segunda velocidad diferente de al menos una de la primera presión y la primera velocidad, por lo que existe un potencial de mezcla entre la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto y la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto. El segundo paso es alimentar la corriente del combustible a la entrada del primer conducto, saliendo dicha corriente del combustible de la salida del primer conducto a la primera presión, la primera velocidad, y el primer índice de combustible. El tercer paso es alimentar la corriente del fluido a la admisión del segundo conducto, saliendo dicha corriente del fluido de la evacuación del segundo conducto a la segunda presión, la segunda velocidad, y el segundo índice de combustible, por lo que al menos una porción de la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto se mezcla con al menos una porción de la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto en una posición próxima a la salida y la evacuación, generando por ello al menos una corriente de combustible diluido que tiene un índice de combustible intermedio entre el primer índice de combustible y el segundo índice de combustible. El cuarto paso es proporcionar una fuente de un oxidante. El quinto paso es quemar una porción del oxidante con al menos una porción de al menos una de la corriente del combustible, o la corriente del fluido, o la corriente de combustible diluido, generando por ello un gas conteniendo una cantidad reducida de óxido de nitrógeno, siendo dicha cantidad reducida de óxido de nitrógeno menor que una cantidad más alta de óxido de nitrógeno que se generaría quemando el combustible usando unos medios distintos del dispositivo de dilución de combustible.

Hay múltiples elementos en una primera realización de un dispositivo de dilución de combustible para diluir un combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno a través de aportación escalonada del combustible. El primer elemento es un primer conducto que tiene una entrada y una salida espaciada de la entrada, estando adaptado el primer conducto para transmitir una corriente de un combustible que entra en la entrada y que sale de la salida en un primer estado termodinámico y un primer índice de combustible. El segundo elemento es un segundo conducto que tiene una admisión y una evacuación espaciada de la admisión, estando adaptado el segundo conducto para transmitir una corriente de un fluido que entra en la admisión y que sale de la evacuación en un segundo estado termodinámico y un segundo índice de combustible, siendo el segundo índice de combustible diferente del primer índice de combustible en al menos aproximadamente 0,1 y siendo el segundo estado termodinámico diferente del primer estado termodinámico, por lo que existe un potencial de mezcla entre la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto y la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto, por lo que al menos una porción de la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto se mezcla con al menos una porción de la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto en una posición próxima a la salida y la evacuación, generando por ello al menos una corriente de combustible diluido que tiene un índice de combustible intermedio entre el primer índice de combustible y el segundo índice de combustible. El tercer elemento es una fuente de un oxidante. El cuarto elemento son unos medios para quemar una porción del oxidante con al menos una porción de al menos una de la corriente del combustible, o la corriente del fluido, o la corriente de combustible diluido, generando por ello un gas conteniendo una cantidad reducida de óxido de nitrógeno, siendo dicha cantidad reducida de óxido de nitrógeno menor que una cantidad más alta de óxido de nitrógeno que se generaría quemando el combustible usando unos medios distintos del dispositivo de dilución de combustible.

Hay muchas variaciones de la primera realización del dispositivo de dilución de combustible. En una variación, el

fluido es un combustible. En otra variación, el fluido se selecciona de un grupo que consta de vapor, gases de combustión, dióxido de carbono, nitrógeno, argón, helio, xenón, criptón, otros fluidos inertes, y mezclas o sus combinaciones.

5 En otra variación, el primer conducto está adyacente al segundo conducto. En otra variación, al menos una porción sustancial del segundo conducto está dispuesta en el primer conducto. En otra variación, el segundo conducto tiene un diámetro equivalente (D_c) y la evacuación del segundo conducto está situada a una distancia detrás de la salida del primer conducto, estando dicha distancia en un rango de aproximadamente ($2 \times D_c$) a aproximadamente ($20 \times D_c$).

10 En otra variación de la primera realización, el dispositivo de dilución de combustible está en comunicación de fluido con un horno conteniendo una cantidad de un gas de horno, por lo que al menos una porción de la cantidad del gas de horno se mezcla con al menos una porción de la corriente de combustible diluido.

15 Una segunda realización del dispositivo de dilución de combustible es similar a la primera realización, pero incluye un turbulenciador dispuesto en el segundo conducto. Según la invención, el dispositivo de dilución de combustible incluye una boquilla de cremallera en comunicación de fluido con la salida del primer conducto.

20 Otra realización del dispositivo de dilución de combustible para diluir un combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno a través de aportación escalonada del combustible incluye múltiples elementos. El primer elemento es un primer conducto que tiene una entrada y una salida espaciada de la entrada, estando adaptado el primer conducto para transmitir una corriente de un combustible que entra en la entrada y que sale de la salida a una primera presión, una primera velocidad, y un primer índice de combustible. El segundo elemento es un segundo conducto que tiene una admisión y una evacuación espaciada de la admisión, estando adaptado el segundo conducto para transmitir una corriente de un fluido que entra en la admisión y que sale de la evacuación a una segunda presión, una segunda velocidad, y un segundo índice de combustible, siendo el segundo índice de combustible diferente del primer índice de combustible en al menos aproximadamente 0,1 y siendo al menos una de la segunda presión y la segunda velocidad diferente de al menos una de la primera presión y la primera velocidad, por lo que existe un potencial de mezcla entre la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto y la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto, por lo que al menos una porción de la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto se mezcla con al menos una porción de la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto en una posición próxima a la salida y la evacuación, generando por ello al menos una corriente de combustible diluido que tiene un índice de combustible intermedio entre el primer índice de combustible y el segundo índice de combustible. El tercer elemento es una fuente de un oxidante. El cuarto elemento son unos medios para quemar una porción del oxidante con al menos una porción de al menos una de la corriente del combustible, o la corriente del fluido, o la corriente de combustible diluido, generando por ello un gas conteniendo una cantidad reducida de óxido de nitrógeno, siendo dicha cantidad reducida de óxido de nitrógeno menor que una cantidad más alta de óxido de nitrógeno que se generaría quemando el combustible usando unos medios distintos del dispositivo de dilución de combustible.

40 Otro aspecto de la invención es un sistema para diluir un combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno a través de aportación escalonada del combustible. El sistema incluye múltiples elementos. El primer elemento es un dispositivo de dilución de combustible, que incluye: un primer conducto que tiene una entrada y una salida espaciada de la entrada, estando adaptado el primer conducto para transmitir una corriente del combustible que entra en la entrada y que sale de la salida en un primer estado termodinámico y un primer índice de combustible; y un segundo conducto que tiene una admisión y una evacuación espaciada de la admisión, estando adaptado el segundo conducto para transmitir una corriente de un fluido que entra en la admisión y que sale de la evacuación en un segundo estado termodinámico y un segundo índice de combustible, siendo el segundo índice de combustible diferente del primer índice de combustible en al menos aproximadamente 0,1 y siendo el segundo estado termodinámico diferente del primer estado termodinámico, por lo que existe un potencial de mezcla entre la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto y la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto. El segundo elemento son unos medios para alimentar la corriente del combustible a la entrada del primer conducto, saliendo dicha corriente del combustible de la salida del primer conducto en el primer estado termodinámico y el primer índice de combustible. El tercer elemento son unos medios para alimentar la corriente del fluido a la admisión del segundo conducto, saliendo dicha corriente del fluido de la evacuación del segundo conducto en el segundo estado termodinámico y el segundo índice de combustible, por lo que al menos una porción de la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto se mezcla con al menos una porción de la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto en una posición próxima a la salida y la evacuación, generando por ello al menos una corriente de combustible diluido que tiene un índice de combustible intermedio entre el primer índice de combustible y el segundo índice de combustible. El cuarto elemento es una fuente de un oxidante. El quinto elemento son unos medios para quemar una porción del oxidante con al menos una porción de al menos una de la corriente del combustible, o la corriente del fluido, o la corriente de combustible diluido, generando por ello un gas conteniendo una cantidad reducida de óxido de nitrógeno, siendo dicha cantidad reducida de óxido de nitrógeno menor que la alta cantidad de óxido de nitrógeno que se generaría quemando el combustible usando unos medios distintos del dispositivo de dilución de combustible.

Otra realización del sistema para diluir un combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno a través de aportación escalonada del combustible incluye múltiples elementos. El primer elemento es un dispositivo de dilución de combustible, que incluye: un primer conducto que tiene una entrada y una salida espaciada de la entrada, estando adaptado el primer conducto para transmitir una corriente del combustible que entra en la entrada y que sale de la salida a una primera presión, una primera velocidad, y un primer índice de combustible; y un segundo conducto que tiene una admisión y una evacuación espaciada de la admisión, estando adaptado el segundo conducto para transmitir una corriente de un fluido que entra en la admisión y que sale de la evacuación a una segunda presión, una segunda velocidad, y un segundo índice de combustible, siendo el segundo índice de combustible diferente del primer índice de combustible en al menos aproximadamente 0,1 y siendo al menos una de la segunda presión y la segunda velocidad diferente de al menos una de la primera presión y la primera velocidad, por lo que existe un potencial de mezcla entre la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto y la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto. El segundo elemento son unos medios para alimentar la corriente del combustible a la entrada del primer conducto, saliendo dicha corriente del combustible de la salida del primer conducto a la primera presión, la primera velocidad, y el primer índice de combustible. El tercer elemento son unos medios para alimentar la corriente del fluido a la admisión del segundo conducto, saliendo dicha corriente del fluido la evacuación del segundo conducto a la segunda presión, la segunda velocidad, y el segundo índice de combustible, por lo que al menos una porción de la corriente del combustible que sale de la salida del primer conducto se mezcla con al menos una porción de la corriente del fluido que sale de la evacuación del segundo conducto en una posición próxima a la salida y la evacuación, generando por ello al menos una corriente de combustible diluido que tiene un índice de combustible intermedio entre el primer índice de combustible y el segundo índice de combustible. El cuarto elemento es una fuente de un oxidante. El quinto elemento son unos medios para quemar una porción del oxidante con al menos una porción de al menos una de la corriente del combustible, o la corriente del fluido, o la corriente de combustible diluido, generando por ello un gas conteniendo una cantidad reducida de óxido de nitrógeno, siendo dicha cantidad reducida de óxido de nitrógeno menor que una cantidad más alta de óxido de nitrógeno que se generaría quemando el combustible usando unos medios distintos del dispositivo de dilución de combustible.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá a modo de ejemplo con referencia a los dibujos acompañantes, en los que:

La figura 1A es una vista en sección transversal en planta de una boquilla de aportación escalonada del combustible de la técnica anterior usada en un quemador de NOx ultra bajo.

La figura 1B es una vista en sección transversal en alzado de la boquilla de aportación escalonada del combustible de la técnica anterior de la figura 1A.

La figura 1C es una vista lateral de la boquilla de aportación escalonada del combustible de la técnica anterior de la figura 1 B.

La figura 2 es una vista en sección transversal en alzado de una cámara de mezcla de la técnica anterior para mezclar gases de combustión de un horno y un gas de promoción de flujo con un gas combustible.

La figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección transversal de una realización según la técnica anterior.

La figura 4 es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección transversal de otra realización según la técnica anterior.

La figura 5A es un diagrama esquemático que ilustra otra realización según la técnica anterior que usa arrastre por chorro fuerte-chorro débil.

La figura 5B es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección transversal de otra realización según la técnica anterior, que usa un arrastre inducido por remolino.

La figura 6 es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección transversal de otra realización según la técnica anterior.

La figura 7 es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección transversal de una realización de la invención que incluye una punta o boquilla de cremallera.

La figura 8A es un diagrama esquemático que ilustra una vista frontal de una punta o boquilla de cremallera.

La figura 8B es un diagrama esquemático que ilustra una vista lateral de una punta o boquilla de cremallera unida a una lanza, tal como la representada en la figura 7.

La figura 8C es un diagrama esquemático que ilustra una vista en planta de una punta o boquilla de cremallera.

La figura 8D es un diagrama esquemático que ilustra una porción de la vista frontal de la punta o boquilla de cremallera en la figura 8A en detalle para dimensionamiento.

Y la figura 9 es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección transversal de otra realización de la invención que incluye una punta o boquilla de cremallera.

Descripción detallada de la invención

La presente invención resuelve varios problemas encontrados en el diseño de equipo de combustión, tal como quemadores usados para calentar reformadores, calefactores de proceso, calderas, crackers de etileno, u otros hornos a temperatura alta. La invención se refiere a un proceso mejorado de aportación escalonada del combustible. En particular, los dos acercamientos que proporcionan una dilución y mezcla rápidas, dependiendo de los objetivos de proceso requeridos, son:

I. Aportación escalonada de combustible con otro combustible (F-F): se inyecta combustible residual de refinería a alta presión, combustible líquido atomizado, etc, cerca de un combustible gaseoso relativamente limpio y a baja presión para operación limpia, sin mantenimiento, de NOx bajo; y

II. Aportación escalonada de combustible con gas inerte (F-I): se inyectan fluidos inertes a alta presión tales como vapor, nitrógeno, CO2, cerca de un combustible gaseoso a baja presión para reducción de NOx.

En el sentido en que se usa aquí, el término “índice de combustible” (FI) se define como la suma ponderada del número atómico del carbono combustible donde a H2 molecular se le asigna un número de carbono 1,3, siendo los pesos las fracciones molares de componente: $FI = \sum C_i / \sum x_i$, donde C_i y x_i son el número de átomos de carbono y la fracción molar del componente i , respectivamente. Los índices de combustible de un número de combustibles e inertes se enumeran en la tabla I. Generalmente, un combustible con un índice de combustible más alto se craquea más fácilmente y produce más NOx a través del mecanismo de NOx indicado. H2 es un caso especial en esta definición. Aunque H2 no tiene átomos de carbono, es bien conocido que la adición de H2 en gas natural incrementa las emisiones de NOx. La literatura sugiere que tiene lugar aproximadamente un 30% más de emisiones de NOx con llamas de H2 puro en comparación con llamas de metano. La mayor emisión de NOx de las llamas de H2 es atribuible a temperaturas más altas de la llama mediante el mecanismo de NOx térmico. Dado que el índice de combustible se usa aquí como un indicador para emisiones de NOx, se asigna un valor de 1,3 a H2 para que sea coherente con su potencial de emisiones de NOx.

Tabla I: Índices de combustible para combustibles e inertes seleccionados

Combustibles o inertes	Índice de combustible
H2	1,3
H2O	0
CO2	0
CO	1
N2	0
CH4	1
C3H8	3
ROG (1)	1,434
Gas de descarga PSA (2)	0,57
Gas natural (3)	1,08
Gas natural (4)	1,14
(1) ROG: H2 18%, CH4 44%, C2H2 38%.	
(2) Gas de descarga PSA: H2 30%. CH4 18%, CO2 52%.	
(3) Gas natural: CH4 91 %, C2H6 4%, C3H8 3%, N2 1%, CO2 %	
(4) Gas natural: CH4 84%, C2H6 12%, C3H8 2%, N2 2%.	

Como se explica aquí, el término “estado termodinámico” se define como un estado de existencia de una materia. Esta definición se basa en el concepto de termodinámica generalmente conocido, pero con una extensión incluyendo no solamente la temperatura y presión usuales, sino también la velocidad, concentración, composición, fracción de volumen, tasa de flujo, potencial eléctrico, etc, para caracterizar completamente una corriente. Esta definición se usa

para definir exactamente la mezcla como el resultado de una diferencia en el estado termodinámico entre dos corrientes.

Los dos acercamientos se explican con detalle más adelante.

5

I. Aportación escalonada de combustible con otro combustible (F-F):

Este acercamiento puede ser usado para quemar combustibles residuales de refinería a una presión de suministro alta que contienen una mezcla de hidrógeno y más combustibles de C/H alto (etano, propano, butano, olefinas, etc) con un segundo gas combustible a baja presión, relativamente más limpio. Surgen problemas de mantenimiento con dicho combustible residual de refinería debido a craqueo término de los combustibles de C/H alto y posterior acumulación de hollín en las puntas de combustible del quemador. Además, la combustión de tales combustibles da lugar a emisiones de NOx superiores a las normales.

10

15

20

25

Para mejorar la combustión de combustibles residuales de refinería de C/H alto, el combustible sucio es diluido con una corriente de combustible relativamente más limpio secundario (por ejemplo, hidrógeno, gas de síntesis, gas natural, o una mezcla de combustible de kg bajo (BTU)). En una realización representada en la figura 3, un gas combustible de refinería a alta presión (conteniendo gases combustibles de relación C/H alta) es inyectado a través de una lanza central 32 y un gas combustible a baja presión relativamente limpio, tal como gas natural, gas de síntesis, gas de proceso, gas de descarga PSA (gas combustible reciclado después de sacar el hidrógeno producido de lechos adsorbentes de PSA), etc, es inyectado a través de una región anular 33 entre la lanza central 32 y una lanza exterior 34. Como se representa en la figura 3, la salida 36 de la lanza central está rebajada una distancia preferida de la salida 38 de la lanza exterior. Esta distancia es preferiblemente de 2 a 20 veces el diámetro equivalente (D_c) de la lanza central. Dependiendo del combustible dividido entre el gas combustible de refinería a alta presión y el gas combustible más limpio a baja presión, la distancia es preferiblemente de 1,59 a 25,4 mm (aproximadamente de 1/16 a 1 pulgada).

30

Los expertos en la técnica reconocerán que la referencia a “alta presión” en las figuras 3-7 y 9 también podría decir “alta velocidad” o “alta presión o alta velocidad”. Igualmente, la referencia a “baja presión” en dichas figuras podría decir “baja velocidad” o “baja presión o baja velocidad”.

35

40

La disposición representada en la figura 3 permite que el gas combustible de refinería sucio a alta presión se mezcle con el gas combustible más limpio a baja presión debido a interacción de chorros turbulentos. La velocidad del gas combustible de refinería a alta presión a través de la lanza central 32 es preferiblemente de 274 a 427 m/s (de aproximadamente 900 a 1400 pies/segundo) (preferiblemente velocidad sónica o estrangulada). La velocidad del gas combustible a baja presión a través de la región anular 33 entre la lanza central 32 y la lanza exterior 34 es preferiblemente de 30,5 a 274 m/s (aproximadamente 100 a 900 pies/segundo), dependiendo de la presión de suministro disponible del gas a baja presión. La corriente de gas a velocidad más alta que sale de la salida 36 de la lanza central arrastra la corriente de gas a velocidad más baja que se aproxima a la salida 38 de la lanza exterior y realiza mezcla de “primera etapa” antes de que las corrientes salgan a través de un orificio u orificios 40. La geometría de orificio, ángulos, etc, de la lanza exterior están diseñados para mezcla óptima de “segunda etapa” en la atmósfera de horno. Una cantidad muy grande de gas de horno 42 es arrastrada para dilución de segunda etapa, disminuyendo por ello las temperaturas máximas de la llama y la posterior reducción de emisiones de NOx.

45

50

La figura 4 ilustra una disposición para aportación escalonada de combustible líquido (F-F). En esta realización, un combustible líquido a alta presión (y relación C/H alta) (por ejemplo, fuel-oil, diesel, C bunker, combustible líquido residual, etc) se diluye usando un gas combustible a baja presión antes de ser inyectado a una atmósfera de horno para mayor dilución. Por ejemplo, el fuel oil pesado puede ser atomizado con un fluido atomizador, tal como vapor, y después diluido con un gas combustible a baja presión para combustión sin hollín (limpia) dentro del horno. Esta realización también disminuye las emisiones de NOx debidas a temperaturas máximas más bajas de la llama.

55

En la figura 4, X es la distancia desde la salida de la lanza central 32 a la cara trasera de la salida para la lanza exterior 34. D_c es el diámetro de área de flujo equivalente de la salida de la lanza central, es decir, el áreas de flujo total de la salida de la lanza central es la misma que un círculo de diámetro D_c . D_e es el diámetro equivalente de área de flujo de la lanza exterior, es decir, la área de flujo total de la salida de la lanza es la misma que un círculo de diámetro D_e .

60

Dos otras realizaciones de aportación escalonada (F-F) se representan en las figuras 5A y 5B. En la figura 5A tiene lugar una interacción de chorro fuerte-chorro débil entre el gas combustible de refinería a alta presión y el gas combustible a baja presión. El gas combustible de refinería a alta presión es inyectado en una lanza de alta presión 52 a una velocidad alta de 274 a 427 m/s (de aproximadamente 900 a 1400 pies/segundo) en una dirección preferida, y un gas combustible a baja presión, que es inyectado en una lanza de baja presión 54, es arrastrado por el gas combustible de refinería a alta presión.

65

En la figura 5B, el gas combustible de refinería a alta presión es arremolinado en una lanza central 32 usando un turbulenciador de combustible 56, y el gas combustible a baja presión es arrastrado en la región aplastada (región

central) del remolino de alta velocidad. Esto permite una buena mezcla del gas combustible de refinería a alta presión y el gas combustible a baja presión antes de que salgan de la lanza exterior 34 y entren en el horno (no representado), donde tiene lugar dilución adicional con los gases de horno 42. Este acercamiento es beneficioso para aplicaciones que requieren un perfil de llama corta o un espacio de combustión más pequeño.

Una aplicación para aportación escalonada (F-F) se encuentra en reformadores de vapor de metano (SMR) donde el gas combustible a alta presión es generalmente un suministro de gas natural o un gas de descarga de refinería que se clasifica generalmente como un combustible ajustado. Con referencia a la figura 6, el gas combustible a alta presión es inyectado en la lanza central 32. El gas combustible a baja presión inyectado en la región anular 33 entre la lanza central 32 y la lanza exterior 34 es generalmente gas de descarga PSA (adsorción de oscilación de presión) o corriente ventilada limpia de PSA que contiene CO₂ (~45%), hidrógeno (~30%), metano (~15%), y CO (~10%/0) con un índice de combustible de aproximadamente 0,64. El gas de descarga PSA sale del lecho de adsorción después de separar el producto de hidrógeno. El combustible ajustado a alta presión supone entre 10% y 30% de una energía total para reformadores típicos que tienen PSA para separación de hidrógeno.

Una ventaja secundaria de esta aplicación de aportación escalonada es mejorar la recuperación de PSA incrementando el rango del ciclo de presión de PSA, en particular en el extremo bajo. Con referencia a la figura 7, esto se logra creando una región de presión baja dentro de la lanza exterior 34. El chorro central a alta velocidad 72 representado en la figura 7 crea una región de presión baja alrededor del cuerpo del chorro donde el gas combustible a baja presión que se mueve más lento es arrastrado por el chorro central de movimiento más rápido. Debido a un proceso de arrastre activo, la presión de suministro para el gas combustible a baja presión se reduce para la misma tasa de flujo de combustible.

En un experimento de combustión en laboratorio, la presión de suministro de gas de descarga PSA a baja presión se redujo de 13800 a 11000 N/m² (de 2 psig a 1,6 psig) (reducción del 20%). Esto se logró inyectando el gas combustible a alta presión a 172000 N/m²/396 m/s (25 psig) (una velocidad de 1300 pies/segundo). La energía de combustión dividida entre el gas combustible a alta presión y el gas combustible a baja presión era 30:70 respectivamente.

Para cuantificar mejor los detalles del proceso de aportación escalonada (F-F), se consideraron resultados de prueba de laboratorio usando un quemador de NO_x bajo. El quemador tenía 10 lanzas de combustible distribuidas alrededor de un círculo de 457 mm (18 pulgada) de diámetro. De las 10 lanzas de combustible se reservaron dos lanzas para la configuración de aportación escalonada tipo (F-F). Las lanzas tenían puntas de combustible especiales y múltiples ranuras divergentes (puntas de cremallera 74) para mejorar la mezcla pasiva. En la figura 7 se representa un diagrama esquemático de la configuración de aportación escalonada del combustible (F-F) usando puntas de cremallera 74. El quemador se clasificó a una tasa de combustión de 8.44,106 kg/h (8 MM Btu/h) utilizando precalentamiento con aire a 340°C (644°F) y estaba diseñado para utilizar dos tipos de combustibles. Los detalles de los dos combustibles se exponen a continuación:

* Gas combustible de refinería a alta presión: H₂ (18%), gas natural (44%) y etileno (38%). Este combustible tiene un índice de combustible de 1,43 y supone el 30% de la entrada total de energía.

* Gas combustible a baja presión: CO₂ (52%), gas natural (18%) y H₂ (30). Tiene un índice de combustible de 0,57, y supone aproximadamente 70% de la entrada total de energía.

Con referencia a la disposición ilustrada en la figura 7, el gas combustible a alta presión se inyectó en una lanza central 32 hecha de tubos estándar de un diámetro de 9.53 mm (3/8 pulgada) x 0,88 mm (0,035 pulgada) de grosor de pared, que se colocaron concéntricamente en una lanza exterior 34 hecha de tubo de 19,1 mm (3/4 pulgada) 40. Se montó una punta de cremallera 74 en el extremo del tubo. La punta de cremallera estaba dimensionada para 13 mm (0,51 pulgada) de diámetro equivalente y, como se representa en las figuras 8A-8D, tenía cuatro ranuras verticales y una ranura horizontal. Los ángulos de divergencia (α_1 y α_2) para las ranuras verticales eran 18° y 6° respectivamente para la geometría de punta axial de boquilla de cremallera como sigue: 1) una serie de estructuras verticales en planos intersecantes entre formas primarias adyacentes; 2) inestabilidades de flujo inducido hacia abajo; y 3) un nivel alto de mezcla molecular (pequeña escala) entre el primer fluido (combustibles) y el segundo fluido (gases de horno). La mezcla anterior también se logró a la distancia axial más corta. Los experimentos de laboratorio con quemador de NO_x bajo realizados con la configuración de lanza en lanza de la figura 7 (incluyendo puntas de cremallera) indican una mezcla axial rápida, mayor arrastre de gas de horno con el ángulo de divergencia β a 7°.

Los procesos de fluido generales según la disposición de la figura 7 dieron lugar a transferencia de calor más uniforme a la carga y emisiones de NO_x y CO ultra bajas (< 15 ppmv) a una presión de combustible inferior a 13800 N/m² (2 psig). También se observó que, sin el proceso de lanza en lanza, la combustión de combustible a presión alta y una relación C/H alta produce una llama rica en hollín visible. Además, las emisiones de NO_x eran de hasta 25 a 30 ppm. Este experimento demostró que el proceso de aportación escalonada F-F podría disminuir drásticamente las emisiones de NO_x. El proceso de aportación escalonada F-I podría reducir las emisiones aún más con inertes.

5 La prueba visual de la mezcla mejorada se observó en un horno en un laboratorio siempre que la configuración de aportación escalonada del combustible (F-F) de lanza en lanza se usó para combustibles de refinería que constaban de butano (C4H10) de hasta 50%. Se halló que las llamas individuales se mezclan mucho más rápidamente con gases de horno y creaban una combustión espaciosa o sin llama. Por otra parte, las lanzas simples con lanzas de boquilla cilíndrica creaban una llama más bien visible (azulada) y relativamente más larga, indicando menos dilución de gas de horno y mezcla, y al mismo tiempo producían niveles de emisiones de NOx y CO relativamente más altos a una presión de suministro de combustible dada.

10 La tabla II proporciona un rango de combustión preferido, dimensiones, relaciones sin dimensión y ángulos de inyección para una configuración de lanza en lanza propuesta. Se usaron tubos circulares simples para combustible de refinería a alta presión mientras que se usó una punta de cremallera para el combustible de gas de descarga PSA a baja presión. Estas lanzas son componentes críticos de un quemador de NOx bajo porque la fiabilidad de las prestaciones del quemador afecta directamente al reformador de vapor metano en el rendimiento de la corriente.

15 Tabla II: Parámetros dimensionales para puntas de aportación escalonada de combustible de lanza en lanza

	Punta de cremallera a baja presión							Punta cilíndrica a presión alta	
	(H)	(W)	(R ₀ / R ₁)	(H/R ₀)	(α1, α2)	(β)	L/D _e	D _c	X/D _c
Capacidad de combustión del quemador (MM Btu/h)	Altura de ranura (pulg) mm	Anchura de ranura (pulg) mm	Relación de radio de extremo a radio de centro de ranura	Relación de altura de ranura a radio de esquina	Ángulo de división axial (°)	Ángulo de división radial (°)	Relación de grosor de punta de cremallera a diámetro equivalente	Diámetro del tubo (pulgada) mm	Distancia a entrada de punta de cremallera
8	(1/32-1) 0,79-25,4	(1/4 -2) 0,25-50,8	1,6 (1-3)	3,7 (2-6)	15 (0 - 30)	7 (0- 30)	0,625 (0,05-3)	(0,305) 7,75 1,59-50,8	4 (2-20)
5,2	(1/32-1) 0,79-25,4	(1/4-2) 0,25-50,8	1,6 (1-3)	3,7 (2-6)	15 (0 - 30)	7 (0 -30)	0,625 (0,05-3)	(0,277) (1/16-2) 7,04 1,59-50,8	4 (2-10)

20 Los rangos dimensionales anteriores son válidos para varios combustibles, tales como gas natural, propano, gases de descarga de refinería, combustibles de kg (BTU) bajo, etc. Las boquillas están dimensionadas de forma óptima dependiendo de la composición del combustible, tasa de flujo (o tasa de combustión) y la presión de suministro disponible en la entrada del quemador en la tabla II, las dimensiones, relaciones y rangos se han estimado para una tasa de combustión del quemador de 2,11·10⁶ a 10,6·10⁶ kg/h (2 a 10 MM Btu/h). Sin embargo, estas dimensiones y rangos pueden ser escalados para quemadores de tasa de combustión más alta >10,6·10⁶ kg/h (> 10 MM Btu/h) usando práctica de ingeniería estándar de mantener rangos de velocidad de flujo similares. II. Aportación escalonada de combustible con gas inerte (F-I):

30 La mejor aportación escalonada del combustible con gases inertes a alta presión, tal como vapor (seco o saturado, CO2, gases de combustión, nitrógeno u otros gases inertes, se realiza con gases combustibles a baja presión para reducir las emisiones de NOx. Los combustibles de aportación escalonada que pueden ser usados incluyen, aunque sin limitación, gas natural; gas de proceso de kg (BTU) bajo (que consta de hidrógeno y otros combustibles de refinería); y gas de descarga PSA. Las configuraciones de punta de inyección son similares a las representadas en las figuras 3-7. El principal objetivo es reducir más las emisiones de NOx. Una realización preferida se ilustra en la figura 9.

35 Con referencia a la figura 9, se envía un vapor saturado o seco a presión alta de 207000 a 689000 N/m² (30 a 100 psig) a través de la lanza central 32 a aproximadamente 274 a 427 m/s (900 a 1400 pies/segundo) y se envía gas combustible a baja presión a través de la región anular 33 entre la lanza central 32 y la lanza exterior 34. Un chorro de vapor a alta velocidad 92 arrastra el gas combustible para dilución de primera etapa (y mezcla) dentro de la región anular. La mezcla resultante sale posteriormente a través de una punta de cremallera 74 a una velocidad alta de aproximadamente 183 a 427 m/s (aproximadamente 600 a 1400 pies/segundo) para dilución de segunda etapa en el horno (no representado) usando gases de horno (no representados). La dilución de segunda etapa es muy efectiva debido a las altas velocidades del vapor y los bucles de arrastre establecidos por llamas individuales formadas por la punta de cremallera. Debido a la geometría de la punta de cremallera y la asistencia de vapor se obtiene mejor dilución de combustible. Las temperaturas máximas de la llama se reducen más y se obtienen ultra

bajo NOx emisiones de NOx ultra bajas. La tabla III ofrece cifras de consumo de vapor estimadas para un horno reformador de vapor de metano grande.

Tabla III: Economía del consumo de vapor con el proceso de aportación escalonada (F-I) propuesto

5

Tasa de inyección de vapor kg vapor/kg combustible	(lb_stm/lb_fuel)	0,02	0,05
Tasa de combustión kg/h	(mmbtu/h LHV)	89,10 ⁸ , (850)	89,10 ⁸ , (850)
Valor de calentamiento del horno mg/Nm ³	(btu/scf, LHV)	37,2 (1000)	37,2 (1000)
Costo de combustible \$/1,06·10 ⁶ kg	(\$/mmbtu, LHV)	6	6
Peso molecular de combustible		18	18
Vapor necesario kg/h m ³	(lb/h) (mmscf)	366 (806) (0,408)	0,9 (2,016) (1,02)
		11600	28900
Energía requerida para generar vapor a 689000 N/m ² (100 psia) y 204.4°C (400°F) de agua a 15.5°C (60°F)	(btu/scf) mg/Nm ³ (btu/lb) kg/kg	2,12(57,1) 2798,6 (1203,2)	2,12 (57,1) 2798,6 (1203,2)
Costo de vapor	\$/día \$/año	140 50.992	349 127.480

10 Como se expone en la tabla III, debido al único método de aportación escalonada del combustible con un gas inerte tal como vapor, la cantidad de vapor requerido para dilución de combustible es sumamente baja. La cantidad de vapor necesaria para aportación escalonada (F-I) es de aproximadamente 2% a 10% en base de kg por kg (lb por lb) en comparación con el combustible a baja presión. La alta velocidad de vapor se usa para un proceso de dilución de dos etapas: 1) dentro del tubo de lanza usando vapor y gas combustible a baja presión, y 2) en el espacio de horno usando mezcla de combustible-vapor a alta velocidad y gases de horno.

15 Los experimentos de laboratorio usando un gas inerte, tal como nitrógeno, han demostrado que son posibles reducciones de NOx de aproximadamente 30% a 40% en base a una comparación entre la configuración de lanza simple de la técnica anterior (puntas de cremallera o circulares solo sin disposición de lanza en lanza) y la configuración de lanza en lanza de la figura 9. Por ejemplo, usando un quemador de NOx bajo, a una tasa de combustión de 5,28·10⁶ kg/h (5 MM btu/h), usando aire ambiente de combustión, un horno que opera a una temperatura media de 871,1°C (1600°F), gases de escape a 1093,3°C (2000°F), usando una tasa de flujo de nitrógeno de 10% en base de peso, la emisión de NOx se reduce de aproximadamente 10 ppm (corregido a 3% O₂) para gas no inerte en el centro a aproximadamente 7 ppm (corregido a 3% O₂) con gas nitrógeno en el centro.

25 En cada una de las realizaciones explicadas anteriormente, los resultados favorables logrados por la presente invención son promovidos por dos diferencias en las corrientes que salen de los dos conductos. La primera diferencia es una diferencia en los estados termodinámicos de las respectivas corrientes, y la segunda diferencia es una diferencia en los índices de combustible de las respectivas corrientes. Específicamente, para que haya un potencial de mezcla entre las dos corrientes que salen de los dos conductos, debe haber una diferencia en los estados termodinámicos de las dos corrientes, y debe existir una diferencia de al menos 0,1, y preferiblemente al menos 0,2, entre los índices de combustible de las dos corrientes para una reducción significativa de NOx.

35 En las realizaciones ilustradas en las figuras y explicadas anteriormente, la diferencia entre los estados termodinámicos de las dos corrientes se expresa en términos de la presión diferencial (es decir, un fluido a "alta presión" en un conducto, y un fluido a "baja presión" en el otro conducto). Sin embargo, los expertos en la técnica reconocerán que el diferencial en estados termodinámicos también puede ser expresado en términos de, y lograrse como resultado de, diferencias de velocidad, temperatura, concentración, composición, fracción de volumen, tasa de flujo, potencial eléctrico, etc.

40 Por lo tanto, la presente invención incluye otras muchas realizaciones y variaciones que no se ilustran en las figuras o se explican en la descripción detallada de la invención. Sin embargo, dichas realizaciones y variaciones caen dentro del alcance de las reivindicaciones anexas y sus equivalentes.

45 Los expertos en la técnica también reconocerán que las realizaciones y variaciones ilustradas en los dibujos y explicadas en la descripción detallada de la invención no describen todas las posibles disposiciones de la presente invención, y que otras disposiciones son posibles. Consiguientemente, todas las otras disposiciones son contempladas por la presente invención y caen dentro del alcance de la presente invención. Por ejemplo, en cada una de las realizaciones ilustradas en las figuras 7 y 9, la disposición de las corrientes a presión baja y presión alta se puede invertir (es decir, la lanza de presión baja puede ser la lanza interior, y la lanza de presión alta puede ser la lanza exterior).

50 Además de reducidas emisiones de NOx, hay otras ventajas y beneficios de la presente invención, algunos de los

cuales se explican a continuación:

5 * El método propuesto de aportación escalonada del combustible permite el enfriamiento de punta activo debido a aportación escalonada (F-F) o aportación escalonada (F-I). Para puntas de combustible que tienen una salida relativamente grande de la zona de punta, las puntas de boquilla son enfriadas activamente por gas combustible saliente a alta velocidad o la corriente inerte. Ésta es una mejora significativa sobre las boquillas circulares convencionales.

10 * Debido a una eficiencia de arrastre relativamente pobre y temperatura operativa más alta, las puntas convencionales tienen serios problemas de mantenimiento y problemas de obturación de hollín usando combustibles de C/H alta. En comparación, la presente invención tiene las ventajas siguientes:

- Reducida tendencia a coke mientras se usan combustibles de contenido de carbono más alto

15 - Capacidad de usar tasas de flujo más bajas o combustibles de valor de calentamiento más alto

- Capacidad de usar material de boquilla de combustible más barato (es adecuado acero inoxidable 304 o 310)

20 El craqueo térmico es una preocupación principal en muchos hornos de refinería donde las composiciones de combustible contienen hidrocarburos en el rango de C1 a C4. Se ha hallado que el carbono craqueado tapone las boquillas del quemador y crea sobrecalentamiento de partes del quemador, reducida productividad y pobre eficiencia térmica. Así, una operación sin mantenimiento (usando aportación escalonada F-F o F-I) es una ventaja crítica para el operador de refinería.

25 Aunque se ha ilustrado y descrito aquí con referencia a algunas realizaciones específicas, no se ha previsto, no obstante, que la presente invención se limite a los detalles mostrados. Más bien, se pueden hacer varias modificaciones en los detalles dentro del alcance y rango de equivalentes de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de dilución de combustible para diluir un combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno a través de aportación escalonada del combustible, incluyendo:
- 5 un primer conducto (32) que tiene una entrada y una salida espaciada de la entrada, estando adaptado el primer conducto (32) para transmitir una corriente de un combustible que entra en la entrada y sale por la salida y
- 10 un segundo conducto (34) que tiene una admisión y una evacuación espaciada de la admisión, estando adaptado el segundo conducto (34) para transmitir una corriente de un fluido que entra en la admisión y sale por la evacuación, definiendo la salida del primer conducto (32) y la evacuación del segundo conducto (34) una posición de mezcla próxima a la salida y la evacuación, **caracterizado** porque el dispositivo incluye además
- 15 una boquilla de cremallera (74) en comunicación de fluido hacia abajo con la salida del primer conducto (34) y la posición de mezcla.
2. Un dispositivo de dilución de combustible según la reivindicación 1, donde el primer conducto (32) está adyacente al segundo conducto (34),
- 20 3. Un dispositivo de dilución de combustible según la reivindicación 1, donde el segundo conducto (34) está dispuesto en el primer conducto (32).
4. Un dispositivo de dilución de combustible según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, incluyendo además un turbulenciador (54) dispuesto en el segundo conducto (34).
- 25 5. Un dispositivo de dilución de combustible según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el segundo conducto (34) tiene un diámetro equivalente (D_c) y la evacuación del segundo conducto (34) está situada a una distancia detrás de la salida del primer conducto (32), estando dicha distancia en un rango de aproximadamente ($2 \times D_c$) a aproximadamente ($20 \times D_c$), y/o
- 30 donde el dispositivo de dilución de combustible está en comunicación de fluido con un horno conteniendo una cantidad de un gas de horno.
6. Un método para diluir un combustible para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno a través de aportación escalonada del combustible utilizando un dispositivo de dilución de combustible según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, incluyendo los pasos de:
- 35 a) alimentar una corriente del combustible a la entrada del primer conducto (32), transmitir la corriente del combustible que entra en la entrada a través del primer conducto (32); saliendo dicha corriente del combustible por la salida del primer conducto (32) en un primer estado termodinámico y un primer índice de combustible;
- 40 b) alimentar una corriente de un fluido a la admisión de un segundo conducto (34); transmitir la corriente del fluido que entra en la admisión a través del segundo conducto (34), saliendo dicha corriente del fluido de la evacuación del segundo conducto (34) en un segundo estado termodinámico y un segundo índice de combustible, siendo el segundo índice de combustible diferente del primer índice de combustible en al menos aproximadamente 0,1 y siendo el segundo estado termodinámico diferente del primer estado termodinámico;
- 45 c) proporcionar por ello un potencial para mezcla entre la corriente del combustible que sale por la salida del primer conducto (32) y la corriente del fluido que sale por la evacuación del segundo conducto (34);
- 50 d) mezclar al menos una porción de la corriente del combustible que sale por la salida del primer conducto (32) con al menos una porción de la corriente del fluido que sale por la evacuación del segundo conducto (34) en una posición próxima a la salida y la evacuación
- 55 e) generar por ello al menos una corriente de combustible diluido que tiene un índice de combustible intermedio entre el primer índice de combustible y el segundo índice de combustible;
- f) transmitir a través de la boquilla de cremallera al menos una porción de la corriente de combustible diluido;
- 60 g) proporcionar una fuente de un oxidante; y
- h) quemar una porción del oxidante con al menos una porción de la corriente de combustible diluido.
7. Un método según la reivindicación 6, donde el fluido es un combustible, o donde el fluido se selecciona de un grupo que consta de vapor, gases de combustión, dióxido de carbono, nitrógeno, argón, helio, xenón, criptón, otros fluidos inertes, y sus mezclas o combinaciones.
- 65

8. Un método según la reivindicación 6 o 7 utilizando un dispositivo como el definido en la reivindicación 4, incluyendo el paso adicional de:

5 transmitir al menos una porción de la corriente del fluido a través del turbulenciador (56), arremolinando por ello al menos una porción del fluido que sale por el segundo conducto.

10 9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, utilizando un dispositivo de dilución de combustible como el definido en la reivindicación 5, incluyendo el paso adicional de colocar el dispositivo de dilución de combustible en comunicación de fluido con un horno conteniendo una cantidad de un gas de horno, mezclando por ello al menos una porción de la cantidad del gas de horno con al menos una porción de la corriente de combustible diluido.

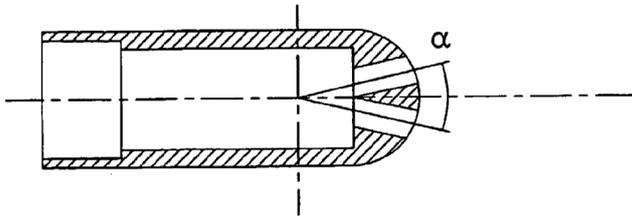


FIG. 1A

(TÉCNICA ANTERIOR)

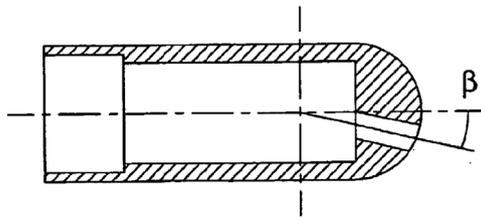


FIG. 1B

(TÉCNICA ANTERIOR)

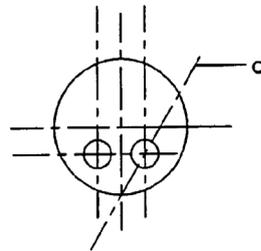


FIG. 1C

(TÉCNICA ANTERIOR)

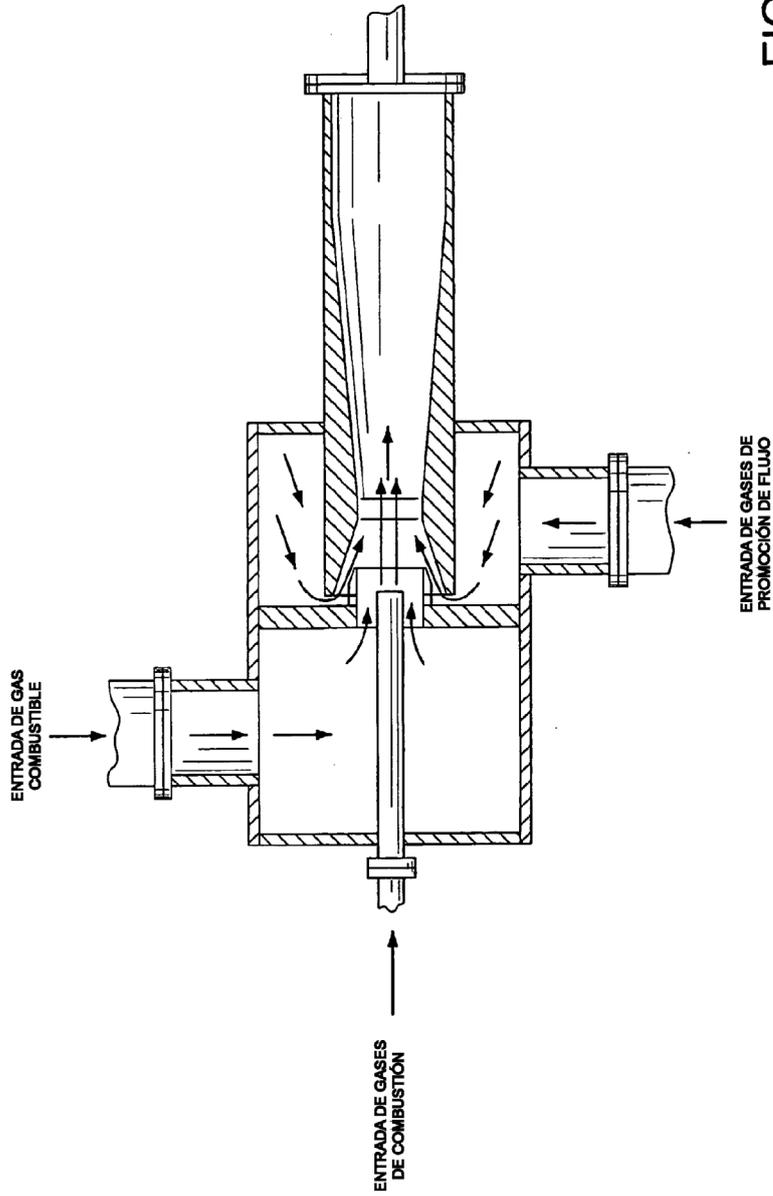


FIG. 2
(TÉCNICA ANTERIOR)

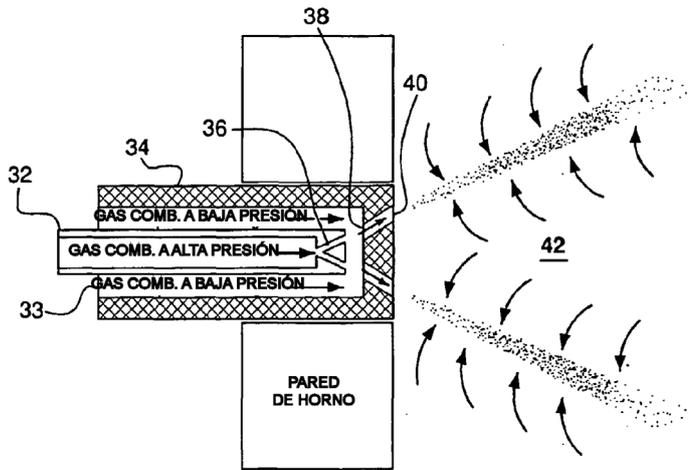


FIG. 3
(TÉCNICA ANTERIOR)

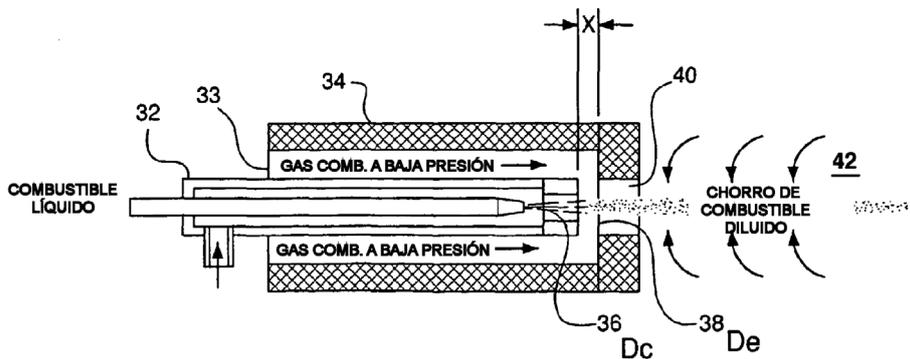


FIG. 4
(TÉCNICA ANTERIOR)

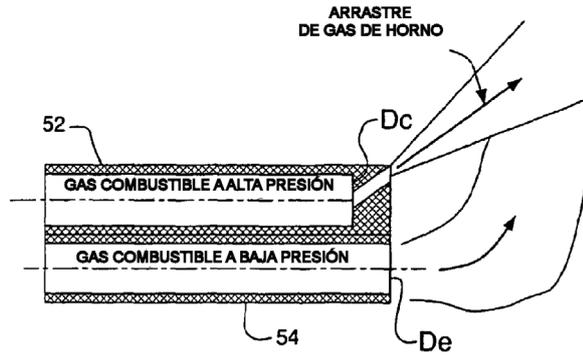


FIG. 5A

(TÉCNICA ANTERIOR)

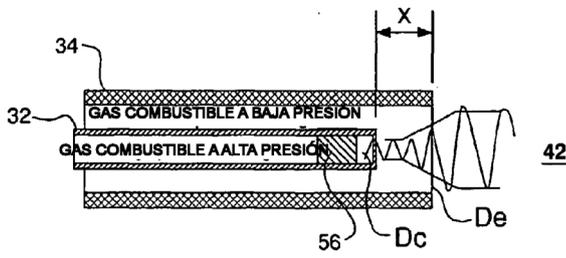


FIG. 5B

(TÉCNICA ANTERIOR)

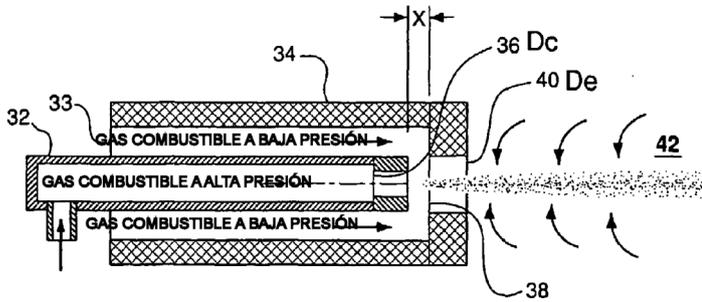


FIG. 6

(TÉCNICA ANTERIOR)

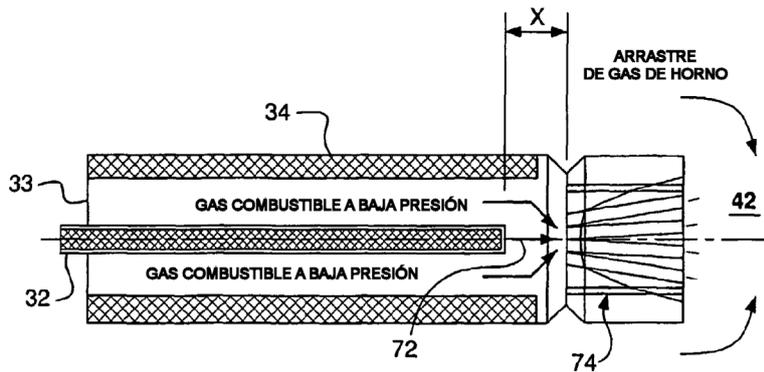


FIG. 7

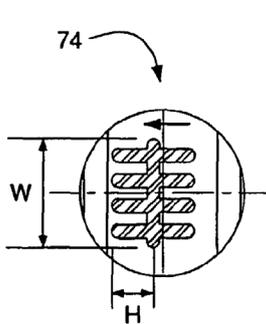


FIG. 8A

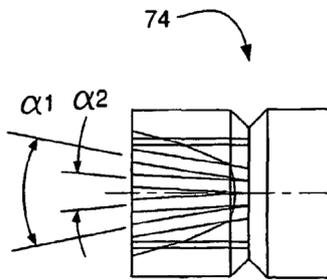


FIG. 8B

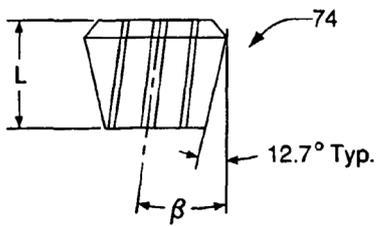


FIG. 8C

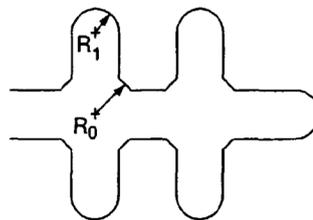


FIG. 8D

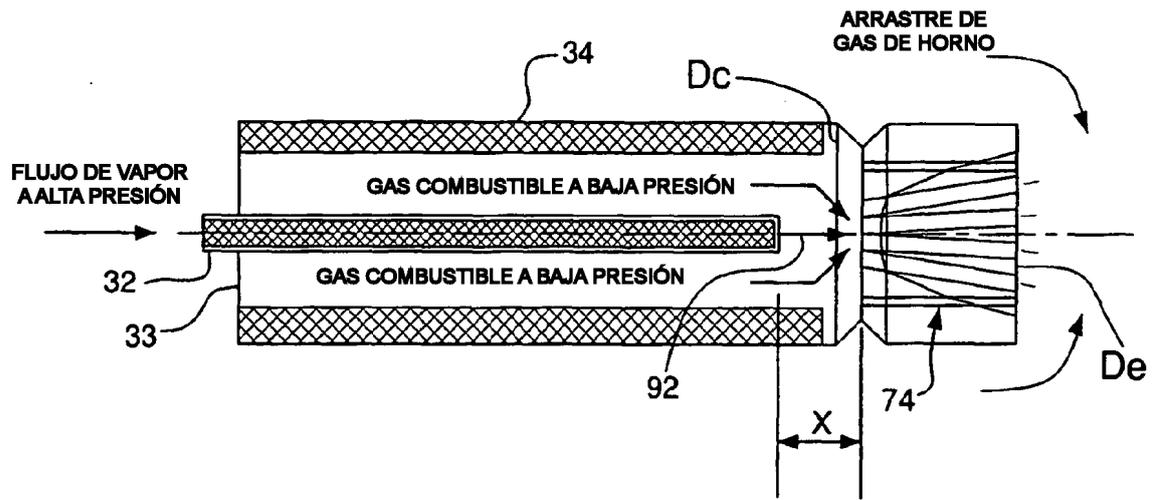


FIG. 9