

MÉTODO PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE SISTEMAS DE COMBUSTIÓN CONTINUA

Campo de la Invención

5 La presente invención está relacionada con los procesos de combustión de combustión continua, ya sea mantenida en motores, cámaras o aun hornos industriales convencionales.

Antecedentes de la Invención

10 Se debe observar que el proceso de combustión implica un conjunto de reacciones de mecanismo radicalario, es decir, con especies de propagación conocidas como radicales libres, que se presentan simultáneamente y en general la combustión será más completa entre mayor sea el contenido promedio de los radicales libres presentes. Es bien conocido que los
15 combustibles gaseosos o combustibles con fácil vaporización se combustionen fácilmente, con excesos estequiométricos moderados de aire, pero para combustibles sólidos, aun si se trituraron anteriormente, es necesario operar con mayores excesos de aire.

20 La combustión de hidrógeno en O_2 se presenta muy rápidamente, en un proceso muy autoacelerado y altamente exotérmico que se vuelve macroscópicamente en una explosión, lo mismo que se presenta en el aire (aproximadamente 21% de O_2). La velocidad de onda de propagación de las explosiones de
25 hidrógeno es mucho mayor que la explosión de combustibles

comunes, induciendo la formación de altas concentraciones de radicales, garantizando una combustión más completa de los otros combustibles presentes.

5 Esta combustión más completa se evidencia por la reducción de los niveles de hidrocarburos en el efluente gaseoso, así como por la reducción de los niveles de monóxido de carbono. Los niveles de NO_2 son variables y dependen más de varios factores tal como la naturaleza del combustible utilizado, la geometría del horno y, en particular, la
10 presencia de "puntos calientes" que resultan de ventilación preferencial.

Especificando el caso de hornos convencionales, se conoce que la mezcla de materiales en bruto, triturados anteriormente, se alimenta, a menudo en contraflujo con los
15 gases efluentes del horno en un sistema que permite el precalentamiento del suministro de horno, pero que también permite reducir significativamente los niveles de algunos contaminantes del efluente gaseoso. En el horno tubular revestido internamente con capas refractarias, el tiempo de
20 residencia promedio de los gases es mucho menor que el tiempo de residencia promedio de la materia de partículas.

En un equilibrio térmico del horno se tienen que considerar los procesos endotérmicos, en particular la "pérdida de carbono" y el calor latente de fusión de las etapas de
25 "fusión", así como las pérdidas térmicas de diferente

naturaleza, en particular en las áreas con menos aislamiento térmico de los multiciclones.

La presente invención viene a introducir, en el proceso de combustión de combustión continua, cantidades diminutas de hidrógeno (o en la mezcla inicialmente formada de HHO) en el área de la combustión de combustible sólido, que trae al Estado Técnico de la Técnica, un efecto técnico inesperado de la reducción constantemente del consumo de combustible y emisiones.

10

Breve Descripción de la Invención

En el estado técnico actual del uso de hidrógeno en la optimización de motores de combustión interna, se puede resaltar la solicitud de patente PCT/PT2015/000043, que se refiere a un método para incrementar la eficiencia de motores de combustión interna, accionando el hidrógeno en este proceso no como combustible, sino más bien como un optimizador de los parámetros de combustión en la forma de oxidante alimentado en conjunto con el aire al motor.

15

También se puede referir a los siguientes documentos, como el Estado de la técnica más cercano de la invención:

20

"Parte experimental y numérica de los efectos de la adición de hidrógeno en la estructura laminar del chorro de metano-nitrógeno en co-flujo caliente bajo condiciones moderadas", International Journal of Hydrogen Energy 38, 13802-13811 (2013), A. Sepman. et al. - describe una combustión en

25

condiciones LEVES que está en condiciones de flujo laminar con dilución de oxígeno. En el documento se hace referencia a que en estas condiciones "LEVES" se puede obtener una combustión sin flama, que en la terminología inglesa se llama "flameless combustion" y en portugués será para designar "sem chama" o simplemente incandescente. La presente invención difiere de este documento, una vez que opera en condiciones drásticamente diferentes, con exceso convencional de aire e incineradores de hornos continuos convencionales, como por ejemplo hornos de producción de hormigón. Además, como en lo que se refiere a las condiciones de uso de niveles de hidrógeno que son drásticamente diferentes, puesto que ya sea en la parte de prueba del documento, o en la página 13804, se muestra que el hidrógeno se está utilizado como un combustible, y en condiciones en las cuales es posible considerar la estequiometria (por ejemplo, la reacción R3 explicada en esa página referida). En la presente invención, los contenidos de hidrógeno son decenas de veces menores y de esta manera los resultados son inesperados y sólo se pueden explicar por una propagación más rápida de flama;

GB 2089964 A - describe un proceso de combustión que utiliza un incinerador con inyección continua o impulsada con formación de plasma en la cámara de combustión, difiriendo de esta manera de la presente invención la cual utiliza un incinerador convencional, para provocar una flama convencional

y por separado, a lo largo del horno, la introducción de hidrógeno se realiza en cantidades traza (lejos de la estequiometria).

La presente invención difiere de la declaración de
5 Estado de la técnica desde la introducción de pequeñas cantidades de hidrógeno en el área de combustión continua del combustible sólido, el cual incrementará la eficiencia de la combustión continua permitiendo reducir su impacto ambiental. El hidrógeno se produce a través de una reacción de
10 electrólisis en una celda electroquímica.

Descripción Detallada de la Invención

El proceso para incrementar la eficacia del objetivo de combustión continua de la presente invención no es estequiométrico, y se presenta preferentemente en horno
15 continuo. En este proceso, el hidrógeno se utiliza como un agente de reencendido para promover una combustión más completa del combustible, y el hidrógeno se introduce en la alimentación de aire de la cámara de combustión continua en varios puntos posibles, elegidos juiciosamente en el horno de combustión, en
20 especial en puntos donde existe la presentación del transporte neumático de partículas sólo incandescentes.

Para lograr el objetivo de la presente invención será necesario definir las siguientes características:

- puntos/entradas donde se debe introducir hidrógeno en
25 la cámara donde se presenta la combustión;

- cómo se introduce el hidrógeno: presión y frecuencia;
- intervalo de proporciones de hidrógeno.

La ubicación de las entradas de hidrógeno se puede hacer en varios lugares, ya sea en el transporte aéreo de combustible en su forma más simple, o preferentemente en puntos donde el perfil de temperatura en estado casi estacionario, permitirá la autoinflamación inmediata del hidrógeno para impedir la acumulación. Este perfil de temperaturas se puede determinar por pirómetros ópticos, o al medir la temperatura de la superficie exterior del horno a lo largo de su longitud, y se puede derivar por el cálculo que los valores de conductividad y disipación de radiación.

Preferentemente, los puntos de entrada de hidrógeno se colocan a lo largo de la longitud del reactor a distancias mayores que el radio interno del cuerpo del horno (r), pero menores que su media longitud. Aun otra forma preferida, los puntos de entrada de hidrógeno se colocan a lo largo de la longitud de la longitud del reactor a distancias al interior del cuerpo del horno (r) entre $2r$ y $16r$ y entre $2r$ y $6r$.

La sección recta del horno es elíptica, cuadrada, rectangular o trapezoidal y los puntos de entrada de hidrógeno se colocan a lo largo de la longitud del reactor a distancias mayores que el radio hidráulico, definido de la manera habitual para el cálculo del número de Reynolds y la determinación posterior del coeficiente de fricción.

El número de Reynolds es un parámetro sin dimensión que es de importancia particular en la mecánica de fluidos que se calcula por la siguiente fórmula:

$Re = u \cdot \rho \cdot d / \mu$, donde:

5

u - es la velocidad promedio del fluido;

ρ - es la densidad del fluido;

d - es un parámetro característico lineal;

μ - es la viscosidad promedio del fluido.

10

La introducción de hidrógeno se puede realizar continuamente en los puntos de inyección elegidos, o de manera discontinua, a fin de reducir la cantidad necesaria de hidrógeno, siendo similar el resultado final. Esta forma discontinua se puede retener en forma de impulso. Por consiguiente, la admisión se hace preferentemente discontinua en uno o más puntos a través de tubos equipados con una válvula sin retorno, así como de un sistema de medición de dosis e interrupción. Esta introducción de hidrógeno se tiene que realizar siempre con presiones mayores que la presión máxima que existe dentro de la cámara de combustión.

20

Se debe aclarar que en el caso del suministro impulsado, el período entre impulsos de inyección es menor que el tiempo promedio de residencia del material sólido en el horno, pero mayor que el tiempo de propagación de deflagración de hidrógeno hasta que alcanza el extremo lejano del horno y, por consiguiente, la falta de simultaneidad para impedir los

25

armónicos resonantes.

Las condiciones de operación en términos de flujo de gas en el horno, corresponden a un número de Reynolds que excede 1,000, pero es menor que 10^8 , y los puntos de entrada de hidrógeno se colocan a lo largo de la longitud del reactor a distancias mayores que el radio hidráulico definido de la manera usual, pero siempre las distancias entre los mismos por encima del radio hidráulico definido de la manera usual, para el cálculo del número de Reynolds y la determinación posterior del coeficiente de fricción. Preferentemente, las condiciones de operación en términos de flujo de gas en el horno corresponden a un número de Reynolds entre 10,000 y 10^7 , es decir, siempre en condiciones de movimiento turbulento, y los puntos de entrada de hidrógeno se colocan a lo largo de la longitud del reactor a distancias mayores que el radio hidráulico determinado como es usual, para calcular el número de Reynolds y la determinación posterior del coeficiente de fricción.

La cantidad de hidrógeno a introducir en el proceso de combustión es, en comparación al combustible principal, de entre 0.0001% y 1%, preferentemente entre 0.001 y 0.1% (v/V) del volumen total de gases. Cabe observar que el control de la introducción de hidrógeno se realiza de una manera de cascada, dependiendo de los contenidos de compuestos orgánicos volátiles y del monóxido de carbono, medidos continuamente en la mezcla

de gases efluentes del horno, para garantizar tanto como sea posible una combustión completa.

Pruebas realizadas con base en la invención

Las pruebas preliminares realizadas en un horno piloto
5 permitieron mantener un perfil de temperatura muy similar al usual, con reducciones promedio del suministro de combustible de 5% utilizando la mezcla de HHO inyectada en el flujo de aire secundario. La combustión más completa del Carbón Residual de
10 Petróleo se evidencia por la reducción significativa de las emisiones de VOC (Componentes Orgánicos Volátiles), así como por la reducción del contenido de monóxido de carbono.

Para llevar a cabo las pruebas se utilizó un horno
tubular de laboratorio, con un diámetro de 5 cm y 80 cm de longitud, equipado con un incinerador convencional "sin aire"
15 (sólo aire secundario) y trabajando con Aceite Ligero de Combustible (TFO) se estabilizó a una temperatura de 1,100°C, el exceso de aire secundario que se ha regulado por la reducción al mínimo de la señal de salida de opacímetro. Después de la estabilización se hicieron medidas de los Compuestos Orgánicos
20 Volátiles (VOC) totales en los gases residuales, así como el registro del valor leído en el opacímetro (por ejemplo, VOC 720 ppm; OPACIMETER 4.3 UVO). Todas las pruebas se realizaron bajo condiciones estabilizadas de temperatura de combustión y de horno, cinco repeticiones que se han realizado en cada
25 prueba, para permitir la evaluación de reproducibilidad, que

se ha registrado en la siguiente tabla las variaciones de promedios observadas.

En los agujeros de inspección, separados 10 cm se conectaron tubos metálicos de 1 mm de diámetro con una válvula sin retorno, a fin de permitir la introducción de flujos de mezcla de gases que contienen hidrógeno producido por electrólisis.

Prueba 1 (análisis preliminar): en esta prueba se han medido las concentraciones de Óxidos de Nitrógeno (NOx), Compuestos Orgánicos Volátiles totales (VOC) y monóxido de carbono (CO) en el efluente gaseoso del horno, con cuidado de registrar sólo los valores después de verificar que las condiciones se estabilizaron, es decir, después de la puesta en marcha transitoria. En este análisis preliminar no se realizó ninguna introducción de hidrógeno.

Prueba 2 - prueba realizada bajo las mismas condiciones de la prueba 1, pero con introducción continua de contenido de H₂ que corresponde a 0.01% (V/V) del flujo de gas.

Prueba 3 - prueba realizada en condiciones idénticas de la prueba 1, con un flujo total de gas de H₂ idéntico a la prueba 2, pero con la introducción de H₂ de forma impulsada, con una frecuencia de 1 segundo, esto es, 1 segundo de inyección seguido por 1 segundo de interrupción y así sucesivamente, utilizando una válvula giratoria idéntica a las válvulas utilizadas en la inyección de cromatografía preparativa.

Prueba 4 - prueba en absoluto análoga a la prueba 2 pero con un contenido de Hidrógeno inyectado de 0.001% (V/V), es decir, diez veces menor.

Prueba 5 - en todos los similares a la prueba 3, pero con un contenido total de nitrógeno de 0.001% (V/V) para permitir comparar directamente con la prueba 4.

Tabla 1: Resultados de las pruebas

Prueba Nr.	% de H ₂ (V/V) en Flujo Total de Gas	Continua (C) o Impulsada (P)	Variaciones observadas con el paso del tiempo (promedio de 5 determinaciones)		
			NO _x	COV	CO
1	-	-	± 4%	± 8%	± 6%
2	0.01%	C	- 14%	- 74%	- 52%
3	0.01%	P	- 8%	- 79%	- 67%
4	0.001%	C	- 21%	- 63%	- 44%
5	0.001%	P	- 13%	- 66%	- 48%

Los resultados obtenidos parecen indicar una mejor eficiencia en la reducción de VOC y CO con una inyección impulsada de hidrógeno, pero por el contrario una reducción más significativa de NO_x en la introducción continua de hidrógeno.

Se debe observar que todas las cantidades de H₂ introducidas son vestigiales y están muy lejos de las

condiciones de combustión estequiométrica. Los cambios en los niveles de contaminantes observados son tan sorprendentes, y muy difíciles de explicar.

5 Todo lo que se encuentra en la literatura con respecto a la introducción de H_2 en los sistemas de combustión, utiliza niveles de H_2 mucho más altos, cientos de veces, y no es razonable hacer analogías, o en términos de mecanismos considerar la aplicabilidad una vez que las reacciones de combustión en fase gaseosa tienen el paso cinético limitante
10 de segundo orden por el cual la velocidad varía con el cuadrado de la concentración. Es tan sorprendente que las cantidades diminutas de hidrógeno utilizadas pueden provocar la reignición haciendo más completa la combustión del combustible primario.

Los volúmenes registrados en media hora de operación
15 se han corregido con valores tabulados de solubilidad en agua, admitidos en condiciones de saturación en el vaso de precipitado medidor.

El uso de una válvula giratoria que permite la introducción de H_2 en una forma impulsada induce un incremento
20 de presión en el tubo de caucho, y por consiguiente, dentro de la celda electrolítica. De esta manera, se repitieron las pruebas de verificación de flujo en el sistema de tubo de prueba invertido en el tanque de agua. Se encontró que la pequeña diferencia observada (menos de 1%) estará dentro del
25 error experimentado del método utilizado, y por consiguiente,

se debe concluir que la pequeña diferencia en la presión inducida por la válvula no tiene una influencia significativa en el flujo de gas actual promedio con H_2 .

En la instalación de laboratorio utilizada no es fácil
5 cuantificar la reducción del consumo de combustible. Sin embargo, en las 25 pruebas (1 a 5 con 5 repeticiones) siempre ha sido necesario accionar sobre la válvula de aguja del incinerador para reducir el flujo de combustible a fin de mantener la misma temperatura promedio del horno. Esta
10 reducción se realizó de manera iterativa siempre desde que la velocidad de respuesta de la temperatura promedio no es inmediata, siendo necesario esperar al menos 3 minutos para garantizar la estabilización.

En las pruebas realizadas con niveles menores de H_2
15 (0.0001% y 0.00001%) no se observó la variación de temperatura de horno, y por consiguiente, se debe asumir que el efecto sobre la eficiencia de combustión ya no es observable en estos casos con el equipo de medición instalado.

20

25