

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 954 933**

51 Int. Cl.:

**F23L 7/00** (2006.01)  
**F23C 99/00** (2006.01)  
**F23D 14/66** (2006.01)  
**F23D 14/68** (2006.01)  
**C10G 9/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.09.2017 PCT/EP2017/072181**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.03.2018 WO18042051**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.09.2017 E 17765135 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2023 EP 3519731**

54 Título: **Método para reducir las emisiones de NOx**

30 Prioridad:

**05.09.2016 EP 16187239**

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

**27.11.2023**

73 Titular/es:

**TECHNIP ENERGIES FRANCE (100.0%)  
2126 Boulevard de la Défense Immeuble Origine-  
Cs 10266  
92741 Nanterre Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**RISSEEUW, IZAAK JACOBUS;  
DE JAGER, JOHANNES ANTONIE y  
WIJNJA, JELLE-GERARD**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

**ES 2 954 933 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

Método para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub>

5 La invención se refiere a un método para quemar gas combustible con gas oxidante.

Los hornos de proceso industriales son hornos en los que el combustible se quema para producir calor. El calor se transfiere a un fluido, que típicamente fluye a través de uno o más tubos (por ejemplo, una o más bobinas tubulares) ubicados dentro de la cámara de combustión del horno de proceso industrial. Se puede utilizar un horno de proceso industrial para proporcionar calor a reacciones químicas, por ejemplo, en el caso de procesos de craqueo o reformado.

El calor en un horno de proceso industrial se produce mediante la combustión de combustible utilizando gas oxidante. Generalmente, los procesos de alta temperatura, tales como el reformado al vapor de hidrocarburos para producir gas de síntesis, o la pirólisis de hidrocarburos para producir olefinas, utilizan aire de combustión de la atmósfera como fuente de gas oxidante para la combustión. Generalmente, la combustión se realiza a presión atmosférica, o cercana a la atmosférica.

Ante la contaminación medioambiental, es importante minimizar las emisiones de NO<sub>x</sub> de los hornos de proceso industrial. La formación de NO<sub>x</sub> depende, entre otros, de la temperatura de la llama del quemador y, en particular, de la temperatura máxima de la llama. La producción de contaminantes de NO<sub>x</sub> se ve favorecida por altas temperaturas de llama.

En la técnica se conocen muchas formas diferentes de reducir la emisión de NO<sub>x</sub> en los hornos de proceso industrial. Por ejemplo, la emisión de NO<sub>x</sub> puede reducirse mediante tecnologías basadas en la reducción de la temperatura de la llama, tal como la recirculación de los gases de combustión (FGR, por su siglas en inglés), la recombustión de gas natural, los quemadores de bajo contenido de NO<sub>x</sub> (LNB), o la inyección de agua o vapor; basándose en la reducción química de NO<sub>x</sub>, tal como la recombustión de combustible (FR), o la reducción catalítica selectiva (SCR); o basándose en la oxidación de NO<sub>x</sub> con una absorción posterior, tal como en un reactor de plasma no térmico; etc.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> se pueden reducir manteniendo la temperatura de la llama (y, en particular, la temperatura máxima de la llama) a un valor relativamente bajo. Una forma de hacer esto es realizar la combustión en presencia de vapor de agua o vapor, es decir, agua en la fase gaseosa. El vapor puede considerarse un medio inerte en la cámara de combustión, y puede reducir la temperatura de combustión cuando se inyecta cerca de los quemadores. El uso de vapor tiene la ventaja de que se pueden retirar grandes cantidades de calor usando cantidades relativamente pequeñas de material inerte. Esto se debe al alto calor específico del agua y del vapor. Como resultado, la temperatura máxima de la llama se puede reducir a un valor en el que solo se formen cantidades relativamente pequeñas de NO<sub>x</sub>. El vapor puede, por ejemplo, alimentarse directamente al quemador, o puede mezclarse en el aire de combustión, en cuyo caso el aire de combustión se humidifica primero. Tal uso de vapor se conoce, por ejemplo, a partir de los siguientes documentos.

El documento US-4.394.118 se refiere a un método para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> de los grandes hornos mediante el uso de vapor de agua. El vapor de agua puede suministrarse a la cámara de combustión junto con el aire de combustión, por ejemplo, mezclando vapor y aire de combustión.

El documento US-8.703.064 describe un método para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno en un horno de procesamiento de hidrocarburos, en donde los quemadores del suelo de la cámara de combustión comprenden un conjunto de orificios de inyección de vapor que inyectan vapor en las puntas de quemador, reduciendo la temperatura de la llama y, de este modo, reducir el NO<sub>x</sub> térmico.

Una desventaja de introducir vapor cerca de los quemadores a fin de reducir la emisión de NO<sub>x</sub>, es que disminuye la eficiencia del combustible del proceso de combustión.

50 Otra desventaja del uso de vapor para reducir la emisión de NO<sub>x</sub> es que el agua debe evaporarse, por ejemplo, en un evaporador o humidificador, antes de suministrarla a los quemadores. Esto ocasiona un coste de energía adicional.

En los procesos de reformado se conoce la utilización de alimentación de gas reformado a alta temperatura (es decir, la corriente de gas que sale de la unidad de reformado) reformado a alta temperatura como fuente de energía para calentar el gas humidificado y/o para calentar el agua utilizada en el humidificador. Esto se conoce, por ejemplo, a partir del documento EP 0 946 275.

El documento EP 0 946 275 describe un proceso para reformar materia prima hidrocarbonosa, y se refiere principalmente a la eliminación eficaz del calor del gas de síntesis reformado en caliente, en particular para evitar el empolvado del metal. Esto se logra intercambiando calor entre el gas de síntesis reformado y una mezcla vaporosa presurizada y humidificada. El proceso comprende la etapa de humidificar una corriente vaporosa que comprende oxígeno de combustión a una presión de, p. ej., 5, 10 o 20 bar. Esta etapa se lleva a cabo en un saturador. Una temperatura de agua de 100 °C en la parte superior del saturador (humidificador) calentará el aire de combustión a aproximadamente 96 °C. Posteriormente, se intercambia calor entre la corriente vaporosa humidificada que comprende oxígeno de combustión que entra en la zona de reformado, y la mezcla de gas de síntesis que sale de la zona de reformado. El gas de síntesis que sale del reformador compacto tiene una temperatura de aproximadamente

450 °C y aproximadamente 30 bar. Por lo tanto, el gas reformado rico en hidrógeno se enfría mediante la corriente vaporosa.

Una desventaja del documento EP 0 946 275, es que una corriente de calor residual a alta temperatura (es decir, el gas reformado para la síntesis de metanol) se utiliza para calentar agua y gas humidificado. En las plantas de hidrógeno del estado de la técnica, las aplicaciones para corrientes de calor residual de alta temperatura, son a menudo numerosas, y este calor apenas se puede considerar residual hoy en día. Por consiguiente, el uso de corrientes de calor residual a alta temperatura para calentar agua y gas humidificado según el documento EP 0 946 275, generalmente no da como resultado un aumento de la eficiencia energética total de una planta.

Otra desventaja del documento EP 0 946 275, es que el calor se intercambia entre el gas reformado rico en hidrógeno y el gas oxidante humidificado (aire de combustión). Se sabe que el hidrógeno es altamente difusivo y que tiene un amplio rango de inflamabilidad en el aire, lo que es un problema de seguridad, ya que puede conducir rápidamente a mezclas inflamables. La difusión de hidrógeno es incluso posible a través de materiales intactos, en particular materiales orgánicos, lo que puede conducir a una acumulación de gas en espacios confinados.

Un objeto de la invención es proporcionar un método energéticamente eficiente para reducir la emisión de NO<sub>x</sub> de un horno de proceso industrial.

En particular, un objeto de la invención es proporcionar un método para reducir la emisión de NO<sub>x</sub> de un horno de proceso industrial, manteniendo al mismo tiempo una alta eficiencia de los calentadores y/o una alta eficiencia general de la planta.

Este objeto se cumple mediante un método según la reivindicación 1.

Los inventores se dieron cuenta de que el recalentamiento del gas oxidante humidificado antes de alimentarlo a los quemadores de un horno de proceso industrial, puede dar lugar a un aumento significativo de la eficiencia del combustible, incluso si el aumento de la temperatura del gas es relativamente pequeño, p. ej., en el rango de 10-25 °C. En procesos industriales normales, se esperaría normalmente que dicho pequeño aumento de la temperatura de un gas oxidante pudiese tener algún impacto significativo sobre la eficiencia. Sin embargo, los inventores descubrieron que en los hornos de proceso industrial, especialmente en aquellos que utilizan temperaturas muy altas, el aumento en la eficiencia del combustible ya es apreciable. Esto es un resultado de la diferencia de temperatura entre la temperatura del gas oxidante humidificado añadido a los quemadores, y la temperatura de la llama. Si esta diferencia de temperatura es muy alta, un pequeño aumento de la temperatura del gas oxidante humidificado ya puede ser suficiente para proporcionar un aumento significativo en la eficiencia del combustible.

Los inventores, observaron, además, que, considerando que solo se requiere un pequeño aumento de temperatura, es posible proporcionar la energía necesaria para el supercalentamiento, mediante el uso de una corriente de calor residual a baja temperatura, por ejemplo, corrientes residuales que tengan una temperatura inferior a 90 °C. Dado que las corrientes de calor residual a baja temperatura no tienen muchas aplicaciones útiles en las plantas de hornos de proceso industrial, el uso de este calor aumentará directamente la eficiencia energética total de la planta. Por lo tanto, las corrientes de calor residual distintas de las corrientes de gas de proceso de alta temperatura que salen de la cámara de combustión, tal como la corriente de gas de producto y la corriente de gas de combustión, pueden utilizarse para este propósito.

Los inventores observaron, además, que, en lugar de humidificar y calentar el gas oxidante humidificado, también se puede lograr un aumento de la eficiencia mediante la humidificación y el calentamiento posterior de gas combustible. Debido a la proporción entre combustible utilizado en el quemador y oxidante, el efecto sobre la eficiencia es mucho más pequeño. Sin embargo, de esta manera todavía se puede obtener un pequeño aumento de la eficiencia.

El término "NO<sub>x</sub>", tal como se utiliza en el presente documento, se refiere a un término genérico para óxidos de mono-nitrógeno, tales como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

El término "gas oxidante", tal como se utiliza en el presente documento, se refiere a una mezcla de gases que comprende un agente oxidante adecuado para la combustión del combustible. El agente oxidante es generalmente oxígeno. Un gas oxidante adecuado es el aire, que, en circunstancias normales, comprenderá una cantidad suficiente de oxígeno. Cuando se utiliza aire como gas oxidante, el experto se refiere típicamente al aire como aire de combustión. Se entenderá que, además de aire de combustión, hay muchas otras mezclas de gas que contienen oxígeno y que serían adecuadas como gas oxidante.

El término "supercalentamiento", tal como se utiliza en el presente documento, se refiere a la etapa de calentar adicionalmente el gas oxidante después de la humidificación. Esta etapa de calentamiento se realiza típicamente en un supercalentador.

El término "y/o", tal como se utiliza en el presente documento, se refiere a las opciones individuales por separado, así como a la combinación de las dos opciones. Por consiguiente, el término "gas oxidante y/o un gas combustible", tal como se utilizó anteriormente, pretende abarcar la realización en donde solo el gas oxidante se humidifica y se

precalienta, la realización en donde solo el gas combustible se humidifica y se precalienta, y la realización en donde tanto el gas oxidante como el gas combustible se humidifican y se precalientan.

5 Por conveniencia, el método de la invención se describirá en el presente documento más adelante con respecto al gas oxidante. Sin embargo, se entenderá que el método de la invención puede aplicarse de manera similar al gas combustible en lugar del (o además del) gas oxidante.

10 Los términos “un” o “una”, tal como se utilizan en el presente documento, pueden referirse a “al menos uno/a” o “uno/a o más”, a menos que se indique específicamente lo contrario. Por ejemplo, el gas humidificado supercalentado en el método de la invención se alimenta a uno o más quemadores.

15 El término “horno de proceso industrial” se refiere a hornos aplicados en la industria, en particular en industrias químicas, por ejemplo, en plantas químicas. El horno en ocasiones también puede denominarse calentador de fuego directo.

20 El término “corriente de calor residual”, como se utiliza en el presente documento, se refiere a un líquido o corriente de vapor que lleva calor residual. En particular, puede referirse a una corriente de líquido o vapor que transporta calor producido en un proceso industrial, típicamente un proceso químico, proceso que puede llevarse a cabo en la planta en la que se lleva a cabo el método de la invención. La corriente de calor residual es típicamente una corriente de calor residual externa, es decir, una corriente de calor situada fuera de la cámara de combustión, y puede referirse, en particular, a una corriente de calor que no se origine, o al menos no directamente, a partir de la cámara de combustión. Por tanto, una corriente de calor residual externa es una corriente distinta de las corrientes de gas de proceso de alta temperatura que salen de la cámara de combustión. Ejemplos de tales corrientes de gas de proceso de alta temperatura, son la corriente de gas de producto y la corriente de gas de combustión que sale de la cámara de combustión, que puede tener temperaturas muy superiores a 200 °C, típicamente por encima de 400 °C.

30 Las corrientes de calor residual utilizadas en la invención, generalmente tienen una temperatura por debajo de 100 °C. Por consiguiente, las corrientes de calor residual utilizadas en la invención, también se pueden denominar corrientes de calor residual de baja temperatura. Dichas corrientes de calor pueden considerarse relativamente baratas, ya que, generalmente, no hay suficientes aplicaciones en una planta para utilizar toda la energía/calor de tales corrientes. Las corrientes de calor residual utilizadas en la invención, pueden tener en particular una temperatura de 40-100 °C, preferentemente de 55-90 °C, con mayor preferencia de 60-70 °C.

35 Un ejemplo de una corriente de calor residual adecuada que puede utilizarse en el método de la invención, es una corriente obtenida en enfriamiento, tal como una corriente de agua de enfriamiento de una planta de etileno. Tal agua de enfriamiento tiene típicamente una temperatura de aproximadamente 80 °C después del enfriamiento. Otros ejemplos de corrientes adecuadas de calor residual a baja temperatura que se puedan utilizar en el método de la invención, son el agua de purga de un tambor de vapor, el gas de producto o reformado a un intercambiador de calor enfriado por aire, agua de enfriamiento de un colector de retorno de agua de enfriamiento, gas a un enfriador entre etapas del compresor, condensado de separadores, y vapor de ventilación de un desgasificador.

40 En la invención, diferentes etapas pueden hacer uso de corrientes de calor residual, tales como, por ejemplo, en la etapa de precalentamiento, en la etapa de humidificación (para calentar agua), y en la etapa de supercalentamiento. Aunque la misma corriente de calor residual puede utilizarse, en principio, para todas las etapas, esto no es necesario. Cada etapa puede hacer uso de las mismas o diferentes corrientes de calor residual.

45 Los hornos de proceso industrial comprenden típicamente una cámara de combustión, que es la cámara donde tiene lugar la combustión. La cámara de combustión comprende uno o más tubos (que contienen el fluido a calentar) y uno o más quemadores (para la combustión). El combustible fluye hacia el quemador, y se quema con un gas oxidante (típicamente, aire de combustión) que puede suministrarse por un inyector. Puede haber más de un quemador en una caja de combustión que pueda disponerse para calentar un conjunto particular de tubos. La misma alimentación de gas oxidante se dirige típicamente a todos los quemadores de la cámara de combustión. Los quemadores pueden montarse en el suelo, montarse en la pared, o montarse en el techo, dependiendo del diseño. Las llamas calientan los tubos, lo que a su vez calienta el fluido dentro de los tubos. El calor se transfiere a los tubos principalmente mediante radiación. El fluido fluye a través de los tubos y, por lo tanto, se calienta hasta la temperatura deseada. Los gases producidos por la combustión se conocen como gas de combustión. El gas de combustión y el fluido calentado (también denominado en el presente documento, gas de producto) salen de la cámara de combustión mientras aún tienen una temperatura muy alta. La mayoría de los hornos incluyen una sección de convección en donde se recupera el calor.

50 La invención puede utilizarse en hornos de proceso industrial. Ejemplos de hornos de proceso industrial en donde el método de la invención puede utilizarse adecuadamente, son los hornos de reformado al vapor, hornos de craqueo (por ejemplo, los hornos de craqueo de etileno o los hornos de craqueo de dicloruro de etileno), los hornos para la reducción directa de los calentadores de vapor de mineral de hierro y estireno. La invención también se puede aplicar en otros hornos de pirólisis de alta temperatura.

Los ejemplos de procesos que pueden llevarse a cabo adecuadamente en los hornos de proceso que utilizan la presente invención, son craqueo (por ejemplo, craqueo térmico, hidrocraqueo, craqueo de etileno, craqueo de dicloruro de etileno), reformado (por ejemplo, reformado catalítico), reducción directa, o mineral de hierro para producir hierro de reducción directa (DRI, por sus siglas en inglés), y producción de estireno (por ejemplo, de etilbenceno) mediante el uso de vapor.

El método de la invención puede comprender solo dos etapas: una etapa de humidificación y una etapa de supercalentamiento. Sin embargo, en una realización preferida, el método de la invención también comprende una etapa de precalentamiento. Esta etapa se realiza antes de la etapa de humidificación, y se describe más adelante.

Antes de la etapa de humidificación, el gas oxidante tiene típicamente una temperatura en el intervalo de -20 a 30 °C, más típicamente en el intervalo de 0 a 20 °C. Preferiblemente, el gas oxidante tiene una temperatura superior a 0 °C, más preferiblemente superior a 5 °C. En caso de que el gas oxidante no se precaliente, tendrá temperatura ambiente cuando se alimente al humidificador.

Dado que la invención hace uso de corrientes de calor residual a baja temperatura para proporcionar calor a las etapas de humidificación y supercalentamiento, estas etapas se realizan generalmente a una temperatura por debajo de 100 °C, típicamente por debajo de 80 °C.

En la etapa de humidificación, el gas oxidante se humidifica. En esta etapa, el gas oxidante se pone en contacto con agua, por ejemplo, pulverizando el agua sobre el gas oxidante, para aumentar la humedad del gas oxidante. La humedad relativa (HR) del gas oxidante puede aumentarse hasta al menos el 60 %, preferiblemente al menos el 70 %, más preferiblemente al menos el 80 %, incluso más preferiblemente al menos el 90 %. Los más preferiblemente, el gas oxidante se satura con vapor de agua durante la humidificación (RH = 100 %).

El agua utilizada para la humidificación puede tener una temperatura de 20-60 °C, preferentemente de 25-50 °C, cuando se ponga en contacto con el gas oxidante. Los inventores descubrieron que solo se requiere un pequeño porcentaje de vapor en el gas oxidante para tener el efecto deseado sobre la emisión de NOx. Por lo tanto, la temperatura del agua utilizada para humidificar el gas oxidante no necesita ser alta para que el gas oxidante absorba suficiente agua. Por lo tanto, el agua con una temperatura relativamente baja puede utilizarse adecuadamente para humidificar el gas oxidante de tal manera que se establezca una reducción significativa de la emisión de NOx en los quemadores. La temperatura del agua puede elegirse adecuadamente para que sea aproximadamente 5 °C más alta que la temperatura deseada para el gas oxidante humidificado que se vaya a obtener. Para obtener agua de la temperatura deseada, el agua puede ponerse en contacto térmico con una corriente de calor residual (típicamente, baja temperatura), que puede lograrse mediante el uso de un intercambiador de calor. La corriente de calor residual puede tener una temperatura de 40-100 °C, preferentemente de 55-90 °C, con mayor preferencia de 60-70 °C.

Durante la humidificación el agua transfiere calor al gas oxidante, aumentando así la temperatura del gas oxidante. Solo una parte del agua utilizada para la humidificación se vaporiza realmente y es absorbida por el gas oxidante. Típicamente, aproximadamente el 4 por ciento del agua caliente se vaporiza, y el 96 por ciento restante del agua caliente permanece líquida.

La humidificación se realiza en un humidificador. El humidificador puede diseñarse, por ejemplo, como un saturador o una torre de refrigeración. Un saturador adecuado puede ser un saturador con empaque. Una torre de enfriamiento adecuada puede ser, por ejemplo, una torre de enfriamiento atmosférica húmeda con relleno.

Se puede instalar un empaque o un relleno en el humidificador para mejorar la transferencia de calor y mejorar la transferencia de masa.

El humidificador puede comprender, además, un eliminador de gotas arrastradas y/o eliminador de rocío. Las gotas de agua que se extraen del humidificador con el oxidante humidificado, tienen típicamente la misma concentración de impurezas (si es que tiene) que el agua caliente que entra en el humidificador. La cantidad de gotitas arrastradas se puede reducir empleando uno o más deflectores en o aguas abajo del humidificador, por ejemplo, usando un eliminador de gotas arrastradas. Además, o alternativamente, se puede emplear un eliminador de rocío en o aguas abajo del humidificador, a través del cual el oxidante humidificado debe desplazarse después de dejar el empaque o el relleno del humidificador.

El humidificador puede diseñarse en flujo contracorriente, en flujo cruzado, o en flujo co-corriente. En un humidificador de contracorriente, el gas oxidante y el agua se desplazan en direcciones opuestas, por ejemplo, el oxidante se desplaza hacia arriba, mientras que el agua lo hace hacia abajo. En un humidificador de flujo cruzado, el gas oxidante se desplaza horizontalmente mientras el agua lo hace hacia abajo. En un humidificador de co-corriente, tanto el gas oxidante como el agua se mueven en la misma dirección, normalmente hacia abajo.

El agua utilizada para la humidificación puede ser agua que circule entre el humidificador y un intercambiador de calor, donde el agua se calienta en el intercambiador de calor a una temperatura preferiblemente entre 20-60 °C,

más preferiblemente a 30-50 °C. El agua no absorbida por el gas oxidante en el humidificador puede circular por una bomba de agua de circulación, hasta un intercambiador de calor (también denominado, calentador de agua de circulación) para ser calentada de nuevo. El agua caliente puede reutilizarse en el humidificador.

5 Dado que el humidificador utiliza agua relativamente caliente, el gas oxidante se calentará en la etapa de humidificación. El gas oxidante humidificado producido en la etapa de humidificación tiene una temperatura de 20-50 °C, preferiblemente de 20-40, más preferiblemente de 25-35 °C. La temperatura del gas oxidante puede aumentarse en 5-40 °C, preferiblemente 10-25 °C, mediante la etapa de humidificación.

10 La pureza del agua no es particularmente crítica. Dado que el agua absorbida por el gas oxidante generalmente se habrá evaporado del agua, estará libre de minerales. Típicamente, no se requiere purificación del agua utilizada para la humidificación. No obstante, para evitar la formación de incrustaciones de, por ejemplo, minerales o sales en el humidificador, puede ser conveniente utilizar agua desmineralizada o un purgador.

15 El agua puede ponerse en contacto con el gas oxidante en el humidificador, pulverizando el agua sobre el gas oxidante. Para abordar posibles condiciones corrosivas, las paredes interiores del humidificador pueden hacerse de un material de acero inoxidable. Alternativamente, puede aplicarse un recubrimiento protector a las paredes interiores del humidificador.

20 Se puede calcular que para una temperatura de aire húmedo típica de 25 °C y una humedad del 2,5-3,2 % en volumen, la reducción de NO<sub>x</sub> de los quemadores en un horno es del 25-30 %.

25 En la etapa de supercalentamiento, el gas humidificado se calienta adicionalmente antes de alimentar el gas a los quemadores. El objetivo de la etapa de precalentamiento es aumentar la eficiencia del combustible durante la combustión, aumentando la temperatura del gas humidificado. La temperatura del gas humidificado puede aumentarse en al menos 10 °C, más preferiblemente en al menos 15 °C, incluso más preferiblemente al menos 25 °C. Dado que se utiliza calor residual externo, la temperatura generalmente no aumenta en más de 40 °C, típicamente no en más de 30 °C.

30 La etapa de supercalentamiento puede realizarse poniendo el gas humidificado en contacto térmico con una corriente de calor residual externa, que puede lograrse usando un intercambiador de calor. La corriente de calor residual externa puede tener una temperatura de 40-100 °C, preferentemente de 55-90 °C, con mayor preferencia de 60-70 °C.

35 La etapa de supercalentamiento puede realizarse en un intercambiador de calor. Preferiblemente, el intercambiador de calor tiene una superficie extendida (por ejemplo, aletas). Dicha superficie puede mejorar la transferencia de calor a la corriente de gas oxidante humidificado. En la etapa de supercalentamiento, el gas oxidante humidificado se convierte en un gas oxidante supercalentado. La presión es preferiblemente aproximadamente la presión atmosférica durante el supercalentamiento, y típicamente no cambia significativamente durante esta etapa.

40 Después de la etapa de supercalentamiento, el gas oxidante humidificado tiene una temperatura de al menos 40 °C, más preferiblemente una temperatura en el intervalo de 50-60 °C. La temperatura final que se puede lograr depende principalmente de la temperatura de la corriente de calor residual externa. Por lo tanto, la temperatura es inferior a 75 °C. No se requieren etapas adicionales de supercalentamiento para aumentar la temperatura por encima de estos intervalos de temperatura.

45 Después del supercalentamiento, el gas oxidante humidificado supercalentado se alimenta a uno o más quemadores.

50 Tal como se mencionó anteriormente, el método de la invención puede comprender, además, una etapa de precalentamiento. En la mayoría de las ubicaciones donde están funcionando los hornos, la temperatura ambiente cae por debajo de 0 °C en invierno. Los inventores descubrieron que, en tales hornos, la invención puede no funcionar bien debido a problemas de formación de hielo. En regiones de la planta donde la temperatura ambiente pueda disminuir por debajo de la temperatura de congelación de agua (0 °C), pueden producirse problemas graves de formación de hielo cuando se realice el método de la invención. Las gotas de agua subenfriadas o el vapor subenfriado pueden congelarse en la corriente de gas oxidante, o en contacto con las paredes del conducto frío o con obstrucciones, lo que da como resultado una mayor pérdida de presión, o incluso un bloqueo del flujo de oxidante. Los inventores descubrieron que estos riesgos pueden evitarse, o al menos reducirse, realizando una etapa de precalentamiento. Tal etapa puede ser, en particular, deseable si la temperatura del gas oxidante tiene una temperatura baja, por ejemplo, una temperatura por debajo de 5 °C, en particular una temperatura de 0 °C o inferior. Tal como se explicó anteriormente, esto puede suceder en los hornos con bastante frecuencia, especialmente durante el invierno. Si la temperatura del gas oxidante está por encima de 0 °C en cada región de la planta, generalmente no se requiere la etapa de precalentamiento.

60 Además, la etapa de precalentamiento puede contribuir adicionalmente a la eficiencia de la etapa de humidificación y, por lo tanto, a la eficiencia general de la planta. La etapa de precalentamiento proporciona una forma fácil y económica de proporcionar al humidificador una corriente de gas con una temperatura deseable. De esta manera, la etapa de precalentamiento permite que el humidificador funcione en el intervalo de temperatura más deseable.

65 La etapa de precalentamiento se lleva a cabo corriente arriba de las etapas de humidificación y supercalentamiento descritas anteriormente. En la etapa de precalentamiento, el gas se calienta a una temperatura por encima de 0 °C,

preferiblemente a una temperatura de al menos 5 °C. En vista de la etapa de humidificación posterior, el gas oxidante se calienta, generalmente, a una temperatura por debajo de 50 °C, preferiblemente por debajo de 35 °C. La etapa de precalentamiento puede llevarse a cabo poniendo el gas oxidante en contacto térmico con una corriente de calor residual de baja temperatura (tal como se definió anteriormente), que puede lograrse usando un intercambiador de calor. Preferentemente, el intercambiador de calor tiene una superficie extendida (por ejemplo, aletas) para mejorar la transferencia de calor a la corriente de gas oxidante.

No es necesario, ni deseable, realizar el precalentamiento, la humidificación y el supercalentamiento a presión elevada. Por consiguiente, el gas oxidante puede tener una presión durante el precalentamiento, la humidificación y el supercalentamiento, que está normalmente por debajo de 1,5 veces la presión atmosférica, típicamente dentro de 0,9-1,1 veces la presión atmosférica, más preferiblemente aproximadamente la presión atmosférica. La presión de calibración del gas oxidante puede, en cada uno del precalentamiento, humidificación y supercalentamiento, elegidos independientemente para que sea inferior a 0,07 bar, preferiblemente inferior a 0,04 bar, preferiblemente en el rango de 0,04 a 0,02 bar.

La caída de presión sobre cada uno del precalentador, el humidificador y el supercalentador, es generalmente inferior a 0,05 bar, preferentemente de aproximadamente 0,001 bar o inferior. El diseño del horno generalmente determinará el perfil de presión exacto (quemadores, gas oxidante, o precalentamiento del gas combustible, corriente de combustión en la cámara de combustión, etc.).

El flujo del gas oxidante puede promoverse mediante un ventilador de tiro forzado y/o un ventilador de tiro inducido. Un ventilador de tiro forzado puede ubicarse aguas arriba o aguas abajo del humidificador.

La Figura 1 muestra una realización de la presente invención. El gas oxidante o el gas combustible (1) se alimenta a un precalentador (E-1), en donde el calor se intercambia con una corriente de calor (2a) residual de baja temperatura. Posteriormente, el gas oxidante o gas combustible se alimenta a un humidificador (H-1) de gas, en el que el gas oxidante o gas combustible se humidifica pulverizando agua caliente (3) en el humidificador. El agua utilizada en el humidificador se calienta antes de la pulverización, mediante un calentador (E-2) de agua circulante, agua que se dirige al humidificador mediante una bomba (P-1) de agua de circulación. Se puede añadir agua (4) para equilibrar la cantidad de agua presente en la circulación del agua. El gas oxidante humidificado o gas combustible (5) se dirige entonces al supercalentador (E-3) de gas, en donde el calor se intercambia con una corriente (2c) de calor residual de baja temperatura. El gas oxidante humidificado precalentado o el gas de combustible (6) se dirige a un quemador (no se muestra).

Las invenciones se ilustran adicionalmente en el siguiente ejemplo.

Ejemplo: Efecto de la temperatura del gas humidificado en el calor de combustión

Este ejemplo ilustra el efecto del supercalentamiento del gas humidificado (aire de combustión) sobre el calor de combustión.

El efecto sobre el calor de combustión relativo se calculó en un horno de craqueo de etano, usando el software de simulación SPYRO. Los resultados se muestran en la Figura 2.

El efecto se calculó a cuatro temperaturas del gas humidificado diferentes (0 °C; 25 °C; 50 °C; 75 °C), y a diferentes valores de humedad (0 % en vol.; 1 % en vol.; 2 % en vol.; 3 % en vol.; 4 % en vol.; y 6 % en vol.).

Sólo se calculó un punto de datos (0 % en vol.) para el gas supercalentado a 0 °C, ya que la humedad sólo puede ser muy baja para esta temperatura. La curva superior en la Figura 2, corresponde a una temperatura de gas supercalentado de 25 °C. Esta curva termina al 3 % en vol. de humedad, porque en este punto se alcanza el 100 % de humedad relativa. La curva media en la Figura 2, corresponde a una temperatura de gas supercalentado de 50 °C, mientras que la curva inferior corresponde a una temperatura de gas supercalentado de 75 °C.

Después de haber calculado el calor recocido relativo, se conectaron ciertos puntos de datos que tenían el mismo calor absorbido en la sección radiante, y el mismo calor absorbido en la sección de convección (misma cantidad de vapor de exportación). El área así obtenida se indica en la Figura 2 mediante el triángulo sombreado. Los puntos de datos por debajo del área sombreada tienen menos calor absorbido en el centro de convección, mientras que los puntos que se encuentran por encima del área sombreada tienen un mayor calor absorbido en la sección de convección.

La Figura 2 indica que el calor recocido se puede reducir hasta 0,97 cuando el gas humidificado se haya supercalentado hasta una temperatura de 75 °C, a una humedad del 3,5 % en vol. Esta reducción en el calor cocido muestra, por lo tanto, que el cambio de temperatura da como resultado un aumento significativo de la eficiencia de los calentadores y la planta.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para quemar gas combustible (1) con gas oxidante en un horno de proceso que comprende una cámara de combustión que contiene un quemador y un tubo, método que comprende
  - 5                   opcionalmente, precalentar un gas oxidante y/o un gas combustible (1); y someter el gas oxidante y/o el gas combustible (1) a humidificación, obteniendo así un gas humidificado (5); **caracterizado por**
  - 10                  supercalentar el gas humidificado (5) con una corriente (2c) de calor residual externa antes de alimentar el gas al quemador, en donde la etapa de humidificación da como resultado un gas humidificado (5) de 20-50 °C, en donde el gas humidificado (5) se somete a supercalentamiento hasta una temperatura de 40-75 °C, y en donde la temperatura del gas humidificado (5) en la etapa de supercalentamiento aumenta en al menos 10 °C.
- 15 2. Método según la reivindicación 1, en donde el gas oxidante (1) es aire de combustión.
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el gas oxidante y/o el gas combustible (1) que se va a someter a humidificación, tiene una temperatura de 0-30 °C.
- 20 4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de humidificación da como resultado un gas humidificado (5) de 25-35 °C.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el gas humidificado (5) se somete a supercalentamiento hasta una temperatura de 50-60 °C.
- 25 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la temperatura del gas humidificado (5) en la etapa de supercalentamiento se aumenta en al menos 15 °C.
- 30 7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la corriente (2c) de calor residual externo (2c) utilizada para supercalentar tiene una temperatura de 55-90, preferentemente 60-70 °C.
8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la corriente (2c) de calor residual es una corriente de agua de enfriamiento, agua de purga de un tambor de vapor, gas de producto o reformado a un intercambiador de calor refrigerado por aire, agua de enfriamiento de un colector de retorno de agua de enfriamiento, gas a un enfriador entre etapas de un compresor, condensado de separadores, o vapor de ventilación de un desgasificador.
- 35 9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la humidificación se realiza en un humidificador (H-1) usando agua que tiene una temperatura de 25-50 °C.
- 40 10. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el precalentamiento se lleva a cabo en un sistema (E-1) de precalentamiento de aire que comprende un ventilador de tiro forzado, un ventilador de tiro inducido, o ambos.
- 45 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el gas se calienta hasta una temperatura por encima de 0 °C, antes de la humidificación.
- 50 12. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el horno de proceso se selecciona del grupo de hornos de reformado al vapor, hornos de craqueo, hornos de craqueo de etileno u hornos de craqueo de dicloruro de etileno, hornos para reducción directa de mineral de hierro, y calentadores de vapor de proceso de estireno.

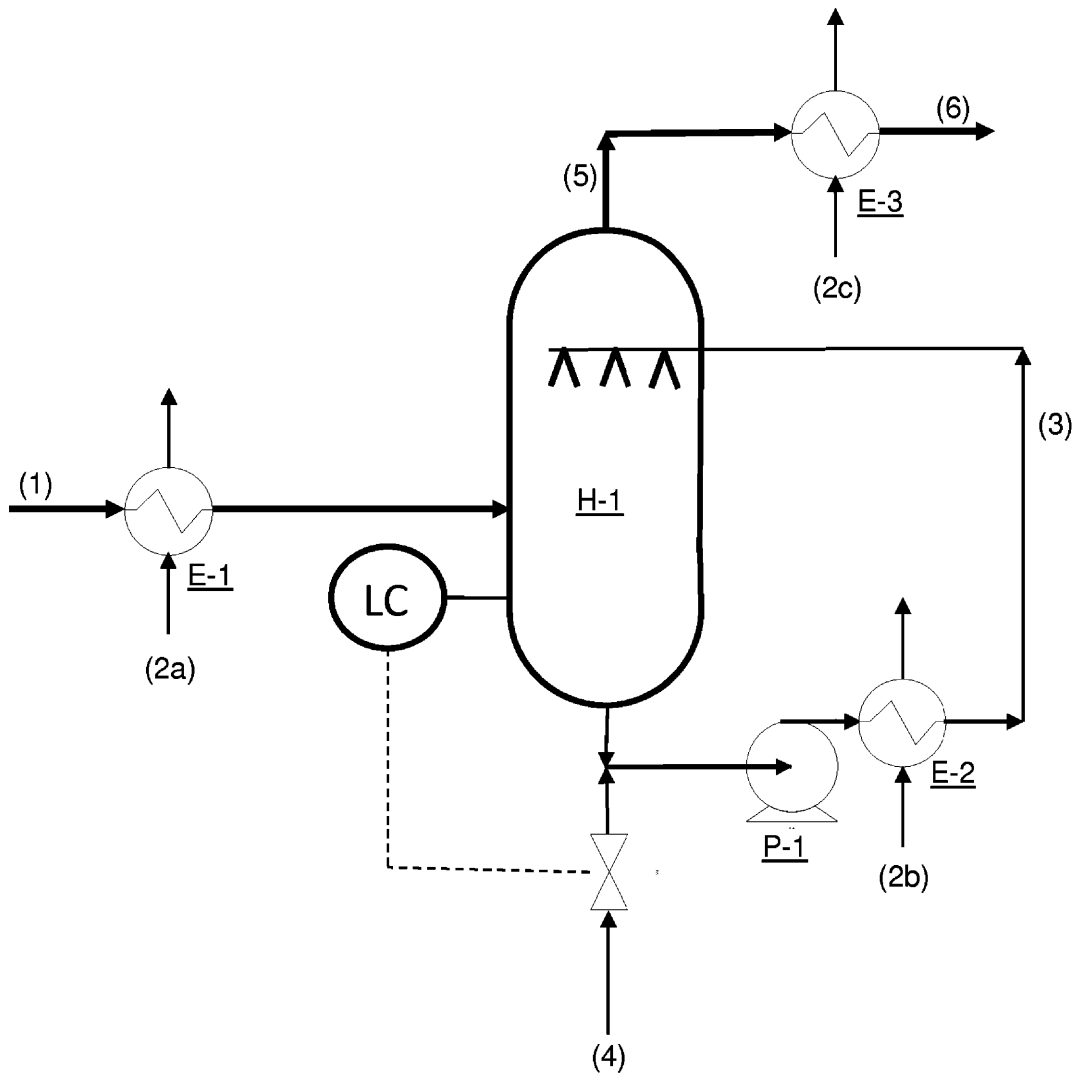


Figura 1

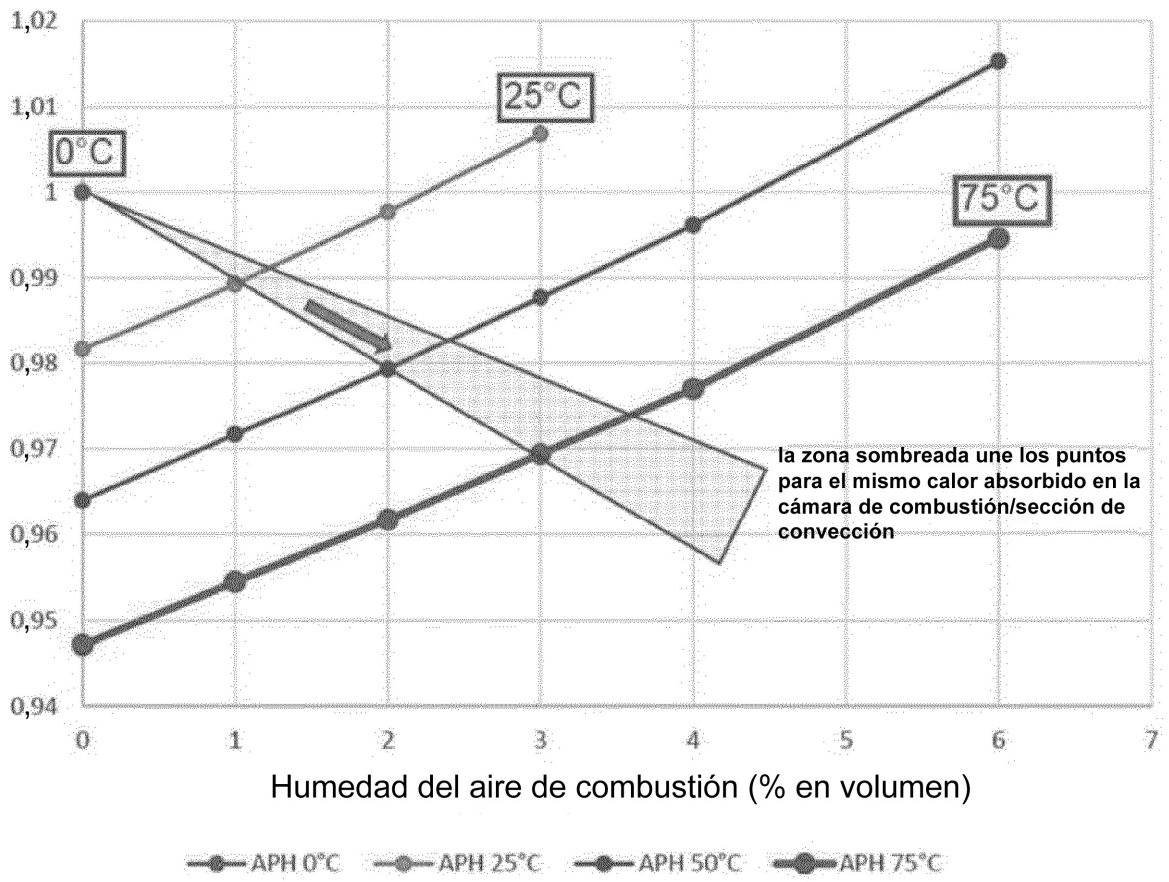


Figura 2