

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 415**

51 Int. Cl.:

F23G 7/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2013** **E 13001643 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015** **EP 2784388**

54 Título: **Método de combustión de un combustible de baja calidad**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.06.2015

73 Titular/es:

LINDE AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Klosterhofstrasse 1
80331 München, DE

72 Inventor/es:

EKMAN, TOMAS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 537 415 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 de combustión de un combustible de baja calidad.

5 La presente invención se refiere a un método y un sistema de precalentamiento para la combustión de un combustible de baja calidad utilizando un quemador industrial. Más particularmente, la invención se refiere a una combustión de esta clase para calentar un horno industrial.

10 En las plantas en las que se utilizan hornos industriales para producir acero y otros metales se obtienen a menudo como subproductos diversos combustibles gaseosos de baja calidad. Un ejemplo es el llamado gas de tragante de altos hornos que se usan a menudo para la producción de acero. Otro ejemplo es el gas de escape de convertidores. Tales combustibles de baja calidad contienen típicamente una mezcla de sustancias que pueden comprender, por ejemplo, hidrocarburos, nitrógeno gaseoso, oxígeno gaseoso, hidrógeno gaseoso, monóxido de carbono, dióxido de carbono y vapor de agua. Debido a que la densidad de energía en tales combustibles es frecuentemente limitada, éstos se utilizan convencionalmente para procesos de baja temperatura tales como calefacción o producción de potencia. Como alternativa, pueden mezclarse formando combustibles que sean más densos en energía. También pueden quemarse hacia la atmósfera sin ninguna utilidad.

15 Dado que tales combustibles de baja calidad se producen frecuentemente con abundancia en, por ejemplo, las acerías y, por tanto, son relativamente baratos, sería deseable poder utilizarlos también en mayor grado en procesos de alta temperatura, tal como en hornos de calentamiento para materiales de acero, en donde normalmente se utilizan combustibles de calidad más alta.

20 Además, la utilización de un combustible de baja calidad que ya existe como subproducto de otro proceso industrial, en vez de utilizar un combustible fósil convencional externamente suministrado, disminuirá la huella de carbono de una planta.

Para poder utilizar combustibles de baja calidad en tales aplicaciones se ha propuesto, por ejemplo, en la patente sueca 553,731 conmutar los suministros de combustible y oxidante en un quemador de aire existente y utilizar al mismo tiempo un combustible de baja calidad.

25 En la solicitud de patente norteamericana n° 12/440,520 se describe un método para hacer uso del calor residual de un horno de calentamiento utilizando parte de los productos de combustión para precalentar el combustible, mientras que se utiliza otra partida de los productos de combustión para precalentar el oxidante.

Por otra parte, el documento JP57198913 describe un quemador que explota la energía térmica en los productos de combustión precalentando combustible de baja calidad y/o aire en un intercambiador de calor.

30 El documento US 2011/0059410 A1 describe un método y un sistema correspondiente según el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 11, respectivamente.

35 La presente invención ofrece un suplemento o alternativa a las sugerencias anteriores para hacer posible la explotación de combustible de baja calidad en hornos de calentamiento. Además, la invención resuelve el problema de precalentar un oxidante utilizando productos de combustión, incluso cuando los productos de combustión que salen de la zona de combustión están muy calientes. Convencionalmente, tal precalentamiento ha sido problemático, ya que los productos de combustión calientes constituyen un riesgo para la seguridad si se rompe el equipo de precalentamiento y estos productos entran en contacto directo con el oxidante.

Por tanto, la invención se refiere a un método según la reivindicación 1.

La invención se refiere también a un sistema según la reivindicación 11.

40 En lo que sigue se describirá la invención con detalle haciendo referencia a realizaciones ejemplificadoras de la invención y a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una vista simplificada de un sistema de precalentamiento según la presente invención; y

La figura 2 es una vista simplificada de una disposición de intercambiador de calor según la invención.

45 La figura 1 ilustra un horno industrial 110 hecho funcionar de acuerdo con la presente invención utilizando un sistema de precalentamiento 100, también de acuerdo con la invención. Preferiblemente, el horno industrial 110 es un horno de calentamiento para un material metálico, preferiblemente acero, y está concebido preferiblemente para mantener temperaturas de calentamiento en la atmósfera del horno de al menos aproximadamente 1000°C, tal como para el recocido reiterado de productos de acero, más preferiblemente de al menos alrededor de 1200°C, por ejemplo para el recalentamiento de productos de acero antes de su laminación en caliente.

50 Para calentar el horno 110 se utiliza al menos un quemador industrial 115 que está montado, o están montados, en

una pared del horno. Cada quemador 115 comprende al menos una de cada una de entre una abertura de suministro para combustible y una abertura de suministro para oxidante.

El oxidante puede ser aire, pero se prefiere que el contenido de oxígeno del oxidante sea superior a los del aire. Por tanto, según una realización preferida, el oxidante comprende al menos un 50% en peso de oxígeno, más preferiblemente al menos un 85% en peso de oxígeno. Aun más preferiblemente, el oxidante comprende al menos un 95% de oxígeno, tal como oxígeno industrialmente puro. La combustión con un oxidante que comprende altos niveles de oxígeno, en combinación con un combustible de baja calidad, produce un calentamiento especialmente eficiente en coste. Asimismo, el precalentamiento del presente tipo hace posible utilizar productos de combustión para precalentar incluso estos tipos de oxidantes de alto nivel de oxígeno sin que esto dé como resultado riesgos importantes para la seguridad de ninguna clase.

Según la invención, el quemador o quemadores 115 son hechos funcionar con un combustible gaseoso de baja calidad, tal como gas de tragante de un alto horno.

La Tabla 1 es una comparación de tasas típicas de constituyentes diferentes entre, por una parte, un combustible de calidad media, tal como gas de horno de coque, y, por otra parte, un combustible de baja calidad, tal como gas de tragante de un alto horno y gas de escape de un convertidor. Todos los valores se dan en porcentaje en volumen.

Tabla 1

	N ₂	O ₂	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C _m H _n	H ₂ O
Gas de horno de coque	3,5	0,55	60	7,5	2,35	23,5	2,4	0,2
Gas de tragante	52,5	0,55	2,3	23,5	20	-	-	1,15
Gas de convertidor	17,2	0,1	2,5	64,5	15,6	-	-	0,1

La Tabla 2 es una comparación de valores de calentamiento inferiores (Lower Heating Values (LHV)) para gas de horno de coque, gas de tragante de un alto horno y gas de escape de un convertidor.

Tabla 2

	LHV (MJ/Nm ³)	LHV (MJ/kg)
Gas de horno de coque	17,9	34
Gas de tragante	3,2	2,4
Gas de convertidor	8,0	6,0

Según la invención, el quemador o quemadores 115 son hechos funcionar con un combustible gaseoso cuyo LHV es igual o inferior a 8 MJ/Nm³. Sin embargo, se prefiere que el combustible gaseoso tenga un LHV de no más de 6 MJ/Nm³, más preferiblemente no más de 4 MJ/Nm³. El combustible puede comprender una cierta adición de otro combustible de calidad más alta en tanto el LHV de la mezcla total no exceda de dichos límites en términos de MJ/Nm³. En particular, los LHV's más bajos trabajan mejor en combinación con oxidantes que comprenden altos niveles de oxígeno. Un ejemplo de combustible preferido es una mezcla de gas de tragante y gas de escape de convertidor, los cuales se originan ambos en una instalación local de fabricación de acero que comprende un alto horno y un convertidor. Por razones de coste, se prefiere no mezclar combustible de alta calidad antes de la combustión, en particular no mezclar combustibles que tengan ellos mismos LHV's de más 8 MJ/Nm³, tal como ocurre, por ejemplo, con gas de horno de coque.

El quemador o quemadores 115 son provistos, a través de conductos 113, de combustible de baja calidad procedente de un medio de suministro de combustible 111 que recibe el combustible de baja calidad de una fuente de tal combustible de baja calidad. En la figura 1 se muestra como ejemplificación un alto horno simplificado 120 desde el cual se lleva gas de tragante, a través de una etapa de depuración de gas 121 y una red de tuberías, al medio de suministro 111. Sin embargo, se comprende que la fuente de combustible de baja calidad puede ser una fuente de gas de escape de convertidor o cualquier otra fuente adecuada de combustible de baja calidad distinta de la ejemplificada anteriormente.

Según una realización preferida, el combustible de baja calidad comprende al menos un 50% en peso de gas de tragante proveniente del funcionamiento del alto horno 120. Además, se prefiere que el alto horno 120 esté dispuesto localmente en la misma planta industrial que el horno 110 y, en consecuencia, también que el quemador o quemadores 115. De este modo, la planta como un todo puede hacerse más eficiente en energía.

Se suministra oxidante al quemador o quemadores 115, a través de unos conductos 114, desde un medio de suministro de oxidante 112 al cual se suministra oxidante desde una fuente de oxidante 130, tal como una fuente convencional de oxígeno industrialmente puro o un medio convencional para enriquecer aire con oxígeno.

Tanto el combustible como el oxidante pasan por el sistema de precalentamiento 100 antes de alcanzar los medios

111 y 112, respectivamente.

Los productos de combustión gaseosos procedentes de la combustión del combustible con el oxidante realizada por el quemador o quemadores 115 y en el horno 110 salen del horno 110 a través de la chimenea 116 y son conducidos después en una red de tuberías como se muestra en la figura 1.

5 Según la invención, dichos productos de combustión son llevados primeramente a través de una primera etapa de intercambio de calor 150 en la que se transfiere energía térmica de dichos productos de combustión al combustible, el cual es así precalentado. Seguidamente, los productos de combustión así enfriados son llevados a través de una segunda etapa de intercambio de calor 151 en la que se transfiere energía térmica de los productos de combustión enfriados al oxidante, el cual se precalienta así también.

10 En otras palabras, el combustible de baja calidad y el oxidante se precalientan en serie uno después de otro. Esto significa que el oxidante se precalienta utilizando la energía térmica de los mismos productos de combustión que precalientan el combustible de baja calidad, pero después de que los productos de combustión se hayan ya enfriado en cierto grado precalentando el combustible de baja calidad. De esta manera, el contenido de energía térmica de los productos de combustión procedentes del horno 110 puede explotarse más completamente, mientras que, al mismo tiempo, se minimizan los riesgos de explosión o similares relacionados con el precalentamiento de oxidante, especialmente en caso de que se utilice un oxidante de alto nivel de oxígeno.

Después de haber pasado por las etapas 150 y 151, los productos de combustión son llevados preferiblemente a una etapa de depuración o procesamiento 140 concebida para cuidar de los productos de combustión enfriados.

20 Por supuesto, durante el paso de los productos de combustión a través de las etapas 150, 151, estos productos de combustión no entran nunca en contacto físico directo con el combustible de baja calidad ni con el oxidante que se deben precalentar. Por el contrario, solamente se establece un contacto térmico.

25 Según una realización preferida, la segunda etapa de intercambio de calor comprende un intercambiador de calor metálico del tipo de recuperador; en otras palabras, un intercambiador de calor que no es un regenerador, sino uno en el que se transfiere la energía térmica de un medio a otro de una manera que es directa y no indirecta, en otras palabras sin ningún calentamiento intermedio de algún otro medio antes del calentamiento secuencial del combustible de baja calidad o del oxidante. Los intercambiadores de calor preferidos utilizados en las etapas 150, 151 son intercambiadores de calor de contraflujo o de flujo cruzado.

30 Específicamente, se prefiere utilizar intercambiadores de calor metálicos en los que se utiliza un medio de separación metálico para mantener los productos de combustión separados en todo momento del combustible de baja calidad y del oxidante, respectivamente. Los materiales metálicos preferidos para tal medio comprenden aceros inoxidables.

35 En particular, se prefiere que en la segunda etapa de intercambio de calor 151 se transporte el oxidante en uno o varios tubos metálicos a través de una cámara por la que están destinados a circular los productos de combustión, cuyos tubos están dispuestos para separar el oxidante de los productos de combustión y transportar calor de los productos de combustión en la cámara al producto oxidante en dichos tubos.

40 Esto se ilustra en la figura 2, en la que una primera etapa de intercambio de calor 201, correspondiente a la primera etapa de intercambio de calor 150 mostrada en la figura 1 y que comprende una entrada 200 para productos de combustión calientes, está conectada, en serie a través de un conducto 202, a una segunda etapa de intercambio de calor 203, correspondiente a la segunda etapa de intercambio de calor 151 en la figura 1 y que comprende una salida 204 para productos de combustión enfriados. A través de la primera etapa de intercambio de calor 201, unos tubos de intercambio de calor 212 corren dentro de una cámara en el interior de la etapa 201, desde una entrada 210 para combustible de baja calidad hasta una salida 211 para combustible precalentado de baja calidad. Análogamente, en la etapa 203 unos tubos de intercambio de calor 222 corren dentro de una cámara en el interior de la etapa 203, desde una entrada 220 para oxidante hasta una salida 221 para oxidante precalentado.

45 Se prefiere que el material metálico del medio de separación dispuesto para mantener el oxidante separado de los gases de combustión, esto es, los tubos 222 en la figura 2, esté hecho de un material metálico que sea más resistente a los ácidos que el material metálico del medio de separación correspondiente dispuesto para mantener el combustible de baja calidad separado en todo momento de los gases de combustión, esto es, los tubos 212 en la figura 2. Ejemplos de materiales adecuados para dicho medio de separación en la segunda etapa de intercambio de calor comprenden tipos de aceros inoxidables suficientemente resistentes a los ácidos.

50 Se prefiere, además, que solamente dicho medio de separación de la etapa de intercambio de calor 151 y, por tanto, en la figura 2 solamente los tubos 222 estén hechos de tal acero inoxidable resistente a los ácidos, y que el resto de la etapa de intercambio de calor 150, 151 esté construida a base de otros aceros inoxidables menos resistentes a los ácidos y/o un material no metálico.

En la figura 1 se ilustra, además, un dispositivo 152 de suministro de aire ambiente, por ejemplo en forma de un ventilador convencional con una red de tuberías adecuada, preferiblemente trabajando en cooperación con, y siendo controlado por, un dispositivo de control 159 que está en comunicación (por ejemplo, comunicación cableada) con el dispositivo 152 de suministro de aire.

- 5 El dispositivo 152 está concebido para suministrar aire ambiente al flujo de productos de combustión aguas arriba de la primera etapa de intercambio de calor 150 a fin de enfriar los productos de combustión antes de que entren en la etapa 150. El suministro tiene lugar a través de una válvula de control 153 que puede ser controlada por el dispositivo de control 159 para efectuar el control del flujo.

- 10 Además, el dispositivo 152 está concebido para controlar la temperatura de los productos de combustión que entran en la etapa 150 sobre la base de una temperatura medida de los productos agua arriba de la etapa 150 y/o una temperatura medida del combustible de baja calidad aguas abajo de la etapa 150. Tales temperaturas se miden utilizando sensores de temperatura adecuados 155 y 156, respectivamente.

- 15 Según una realización suplementaria o alternativa, el mismo dispositivo 152 de suministro de aire ambiente o un dispositivo diferente (solamente se muestra uno de estos dispositivos en la figura 1) está concebido para suministrar aire ambiente al flujo de productos de combustión aguas abajo de la primera etapa de intercambio de calor 150, pero aguas arriba de la segunda etapa de intercambio de calor 151, preferiblemente a través de una válvula de control 154 que puede ser controlada también por el dispositivo de control 159, a fin de enfriar los productos de combustión antes de que entren en la etapa 151. En este caso, el dispositivo 152 está concebido para controlar la temperatura de los productos de combustión que entran en la segunda etapa de intercambio de calor en base a una temperatura medida de los productos de combustión aguas arriba de la etapa 151 y/o una temperatura medida del oxidante aguas abajo de la etapa 151. Tales temperaturas se miden utilizando sensores de temperatura adecuados 157 y 158, respectivamente.

- 20 Según una realización preferida, el dispositivo de control 159 está concebido para leer entradas de temperatura de al menos dos y preferiblemente al menos tres de los sensores de temperatura 155-158, respectivamente dispuestos para medir las temperaturas de gases de combustión aguas arriba de la etapa 150 y entre las etapas 150, 151; la temperatura del combustible de baja calidad aguas abajo de la etapa 150; y la temperatura del oxidante aguas abajo de la etapa 151. Basándose en estos valores de medición, el dispositivo de control 159 está entonces concebido para controlar el dispositivo de suministro 152 a fin de suministrar una cantidad suficiente de aire ambiente a los productos de combustión aguas arriba de la primera etapa de intercambio de calor 150 para mantener la temperatura de los productos de combustión que entran en la segunda etapa 151 en o por debajo de una temperatura admisible muy alta predeterminada. Este control puede basarse en un algoritmo de control adecuado, por ejemplo teniendo en cuenta parámetros empírica y/o teóricamente determinados respecto del enfriamiento de los gases de combustión cuando circulan por la primera etapa de intercambio de calor 150. El algoritmo de control puede basarse también en, por ejemplo, el flujo de combustible de baja calidad a través de la etapa 150.

- 35 El aire ambiente puede tener aproximadamente la temperatura ambiente, pero está al menos más frío que los gases de combustión con los cuales se mezcla.

- 40 Según se ha descrito anteriormente, los productos de combustión pueden tener una temperatura de aproximadamente 1000°C cuando salen de la chimenea 116. Según una realización preferida, la temperatura de los productos de combustión a la entrada en la primera etapa de intercambio de calor 150, después de su posible mezclado con aire ambiente, es de al menos 800°C. Análogamente, la temperatura de los productos de combustión a la entrada en la segunda etapa de intercambio de calor 151, después de su enfriamiento en la etapa 150 y su posible mezclado adicional con aire ambiente, no es superior a 400°C. Esto dará como resultado un precalentamiento eficiente, pero minimizará todavía los riesgos para la seguridad.

- 45 Precalentando primeramente el combustible de baja calidad y precalentando seguidamente el oxidante mediante el uso de los productos de combustión ya parcialmente enfriados, se consiguen una serie de ventajas.

En primer lugar, en muchas aplicaciones se puede transferir una cuota mayor del contenido de energía de los productos de combustión calientes al combustible y al oxidante que la que es posible cuando solamente se transfiere energía térmica de intercambio de calor en una sola etapa al combustible y/o al oxidante.

- 50 En segundo lugar, la densidad de los productos de combustión calientes disminuye cuando éstos son enfriados por el combustible en la primera etapa de intercambio de calor 150, lo que da como resultado que la segunda etapa intercambiadora de calor 151, que transfiere energía térmica al oxidante, pueda diseñarse con menor capacidad. Esto a su vez da como resultado una instalación más eficiente en coste.

En tercer lugar, es posible precalentar incluso un oxidante de alto nivel de oxígeno sin correr riesgos para la seguridad.

- 55 Anteriormente, se han descrito realizaciones preferidas. Sin embargo, es evidente para el experto que pueden

hacerse muchas modificaciones en las realizaciones descritas sin apartarse de la idea básica de la invención.

Por ejemplo, se comprende que la etapa de intercambio de calor 150, 201 puede ser del tipo correspondiente a la etapa de intercambio de calor 151, 203 o de un tipo diferente, en tanto que se respeten los principios enunciados en esta memoria.

5 Se comprende también que los quemadores 115, alimentados con combustible precalentado de baja calidad y oxidante precalentado, pueden ser suplementados por otros quemadores que calienten también el mismo horno 110, tal como hornos de oxcombustible convencionales. Sin embargo, se prefiere que los quemadores 115 constituyan la única fuente de calor del horno 110.

10 Así, la invención no debe limitarse a las realizaciones descritas, sino que puede variarse dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de combustión de un combustible utilizando al menos un quemador industrial (115), cuyo quemador (115) es alimentado con un combustible gaseoso de baja calidad y un oxidante, **caracterizado** por que dicho combustible tiene un valor de calentamiento inferior (LHV) de 8 MJ/Nm³ o menos y por que los productos de combustión derivados de la combustión del combustible con el oxidante son llevados primeramente a través de una primera etapa de intercambio de calor (150; 201), en la que se transfiere energía térmica de los productos de combustión al combustible, que así se precalienta, y por que los productos de combustión así enfriados son llevados seguidamente a través de una segunda etapa de intercambio de calor (151; 203), en la que se transfiere energía térmica de los productos de combustión enfriados al oxidante, el cual se precalienta así también.
- 10 2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado** por que la reacción de combustión entre el oxidante y el combustible de baja calidad calienta un horno industrial (110).
3. Método según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** por que el combustible de baja calidad comprende al menos un 50% en peso de gas de tragante de un alto horno (121).
- 15 4. Método según la reivindicación 3, **caracterizado** por que se hace que el combustible de baja calidad proceda del funcionamiento de un alto horno (121) que se hace que esté dispuesto en la misma planta industrial que el quemador (115).
5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el oxidante comprende al menos un 85% en peso de oxígeno.
- 20 6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que la segunda etapa de intercambio de calor (151; 203) comprende un intercambiador de calor metálico del tipo de recuperador.
7. Método según la reivindicación 6, **caracterizado** por que en la segunda etapa de intercambio de calor (151; 203) se transporta el oxidante en uno o varios tubos metálicos (222) a través de una cámara por la que están destinados a circular los productos de combustión, cuyos tubos (222) están concebidos para separar el oxidante de los productos de combustión y transportar calor de los productos de combustión de la cámara al oxidante de los tubos citados (222).
- 25 8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que la temperatura de los productos de combustión a la entrada en la primera etapa de intercambio de calor (150; 201) es de al menos 800°C y por que la temperatura de los productos de combustión a la entrada en la segunda etapa de intercambio de calor (151; 203) es de menos de 400°C.
- 30 9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que está dispuesto un primer dispositivo (152) de suministro de aire ambiente para suministrar aire ambiente al flujo de productos de combustión aguas arriba de la primera etapa de intercambio de calor (150; 201) a fin de enfriar los productos de combustión antes de que entren en la primera etapa de intercambio de calor (150; 201), y por que el primer dispositivo (152) de suministro de aire está concebido para controlar la temperatura de los productos de combustión que entran en la primera etapa de intercambio de calor (150; 201) en base a una temperatura medida de los productos de combustión aguas arriba de la primera etapa de intercambio de calor (150; 201) y/o una temperatura medida del combustible aguas abajo de la primera etapa intercambiadora de calor (150; 201).
- 35 10. Método según la reivindicación 9, **caracterizado** por que está dispuesto un segundo dispositivo (152) de suministro de aire ambiente para suministrar aire ambiente al flujo de productos de combustión aguas abajo de la primera etapa de intercambio de calor (150; 201), pero aguas arriba de la segunda etapa de intercambio de calor (151; 203), a fin de enfriar los productos de combustión antes de que entren en la segunda etapa de intercambio de calor (152; 203), y por que el segundo dispositivo de suministro de aire (152) está concebido para controlar la temperatura de los productos de combustión que entran en la segunda etapa de intercambio de calor (151; 203) en base a una temperatura medida de los productos de combustión aguas arriba de la segunda etapa de intercambio de calor (151; 203) y/o una temperatura medida del oxidante aguas abajo de la segunda etapa intercambiadora de calor (151; 203).
- 40 11. Sistema (100) para precalentar un combustible gaseoso de baja calidad y un oxidante y alimentar dicho combustible precalentado de baja calidad y dicho oxidante precalentado a al menos un quemador industrial (115), en el que se quema el combustible con el oxidante para formar productos de combustión calientes, **caracterizado** por que dicho combustible tiene un valor de calentamiento inferior (LHV) de 8 MJ/Nm³ o menos, y por que el sistema (100) comprende un primer dispositivo de intercambio de calor (150; 201) concebido para transferir calor de los productos de combustión calientes al combustible, el cual es así precalentado, y por que el sistema (100) comprende también un segundo intercambiador de calor (151; 203) concebido para transferir energía térmica de los productos de combustión que se han enfriado en la primera etapa de intercambio de calor (150; 201) al oxidante, el cual es así
- 45 50

también precalentado.

12. Sistema (100) según la reivindicación 11, **caracterizado** por que el oxidante comprende al menos un 85% de oxígeno en peso.

5 13. Sistema (100) según la reivindicación 11 o 12, **caracterizado** por que la segunda etapa de intercambio de calor (151; 203) comprende un intercambiador de calor metálico del tipo de recuperador.

10 14. Sistema (100) según la reivindicación 13, **caracterizado** por que en la segunda etapa de intercambio de calor (151; 203) se transporta el oxidante en uno o varios tubos metálicos (222) a través de una cámara por la cual están destinados a circular los productos de combustión, cuyos tubos (222) están concebidos para separar el oxidante de los productos de combustión y transportar calor de los productos de combustión de la cámara al oxidante de los tubos citados (222).

15 15. Sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 11-14, **caracterizado** por que está dispuesto un dispositivo (152) de suministro de aire ambiente para suministrar aire ambiente al flujo de productos de combustión aguas arriba de la primera etapa de intercambio de calor (150; 201) y al flujo de productos de combustión aguas abajo de la primera etapa de intercambio de calor (150; 201), pero aguas arriba de la segunda etapa de intercambio de calor (151; 203), por que está o están dispuestos uno o varios sensores de temperatura (155, 156, 157, 158) para medir la temperatura de los gases de combustión aguas arriba de la primera etapa de intercambio de calor (150; 201) y/o aguas abajo de la primera etapa intercambiadora de calor (150; 201) y/o la temperatura del combustible aguas abajo de la primera etapa de intercambio de calor (150; 201) y/o la temperatura del oxidante aguas abajo de la segunda etapa de intercambio de calor (151; 203), y por que está dispuesto un dispositivo de control (159) para controlar el flujo de aire ambiente proporcionado por el dispositivo (152) de suministro de aire ambiente en base a datos de medición de dicho al menos un sensor de temperatura (155, 156, 157, 158).

20

Fig. 1

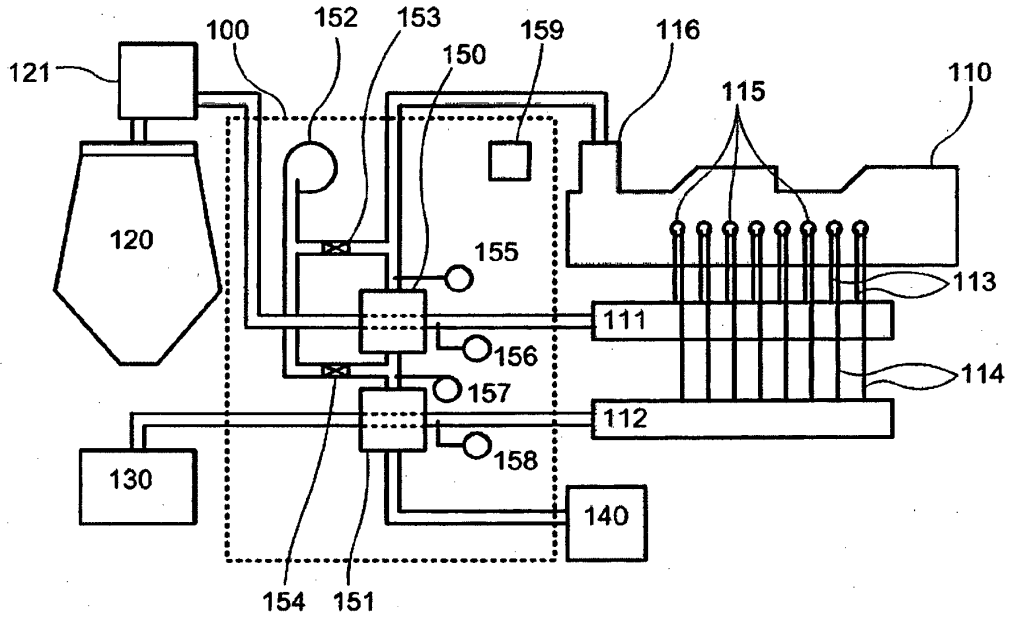


Fig. 2

