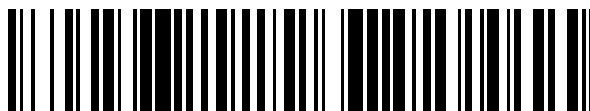


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 420 765**

51 Int. Cl.:

F23C 9/00 (2006.01)

F23L 7/00 (2006.01)

F01K 3/24 (2006.01)

F01K 7/22 (2006.01)

F22G 1/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.03.2006 E 06736825 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2013 EP 1861656**

54 Título: **Caldera de oxidcombustión modular**

30 Prioridad:

01.03.2005 US 70177

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

26.08.2013

73 Titular/es:

**JUPITER OXYGEN CORP. (100.0%)
4825 N. SCOTT STREET, SUITE 200
SCHILLER PARK, IL 60176, US**

72 Inventor/es:

**PATRICK, BRIAN, R;
OCHS, TOM, L;
ORYSCHYN, DANYLO, B y
SUMMERS, CATHY, A**

74 Agente/Representante:

MANRESA VAL, Manuel

ES 2 420 765 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

Caldera de oxicomcombustión modular.

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a una caldera de oxicomcombustión. Mas particularmente, la presente invención se refiere a una caldera de oxicomcombustión modular que presenta un diseño flexible.

10 Las ventajas de los sistemas de oxicomcombustión son muy conocidas. Por ejemplo, las patentes de los US n. 6.436.337 y 6.596.220 a nombre de Gross, indican que algunas de las ventajas de los sistemas de oxicomcombustión son una contaminación ambiental reducida (generación de NOx reducida), un rendimiento alto, unas temperaturas de la llama altas y un diseño de la planta con unas dimensiones físicas totales más pequeñas. Las patentes de Gross, de propiedad conjunta con la presente solicitud y que se incorporan a la misma como referencia.

15 Para extraer la energía del combustible, las calderas proporcionan habitualmente alguna manera de aportar energía a un fluido (mediante combustión del combustible) generalmente para cambiar el estado del fluido. A continuación, la energía se extrae del fluido habitualmente en forma de movimiento mecánico (o energía cinética). La mayoría de calderas utilizan agua como fluido de trabajo para extraer la energía del combustible. El agua se hace pasar por
20 unos tubos que conforman una o más "paredes" o haces en el interior de la caldera.

Habitualmente, las paredes de los tubos de la caldera se diseñan para transferir energía (en forma de calor), a través de la pared del tubo, al agua en varios lazos o bucles y pases de las paredes. Al pasar por los tubos, el agua se calienta bajo presión y se lleva a un nivel alto de energía (y cambio de fase) mediante sobrecalentamiento, recalentamiento y/o unas etapas supercríticas. Otras etapas, tales como una unidad economizadora pueden
25 emplearse asimismo, pasando el agua por unas secciones de la pared de la caldera antes de pasar por el sobrecalentamiento. El agua se calienta adicionalmente mediante una transferencia de calor por convección procedente de los gases calentados que circulan por delante de los haces de tubos (por ejemplo, en el economizador).

30 Cada una de las etapas o regiones de la caldera se diseñan para funcionar basándose en cierto tipo de fenómeno o mecanismo de transferencia de calor. Por ejemplo, las paredes inferiores de la caldera se diseñan para que la transferencia de calor sea por radiación, mientras que los haces superiores y las etapas de sobrecalentamiento, recalentamiento y economizador se diseñan para que funcionen empleando el principio de transferencia de calor por convección. Los expertos en la materia reconocerán que los mecanismos de transferencia de calor no son
35 excluyentes entre sí cuando el agua se calienta en la caldera.

Si bien dichas configuraciones de calderas dan buen cumplimiento a sus aplicaciones y finalidades, no necesariamente sacan el provecho máximo de las temperaturas altas de la llama y de los volúmenes reducidos de
40 los gases de escape de los sistemas de combustión por oxicomcombustión. Por lo tanto, una caldera que utiliza el sistema de combustión por oxicomcombustión precisa reducir la contaminación medioambiental. Idealmente, dicho diseño de caldera proporciona un rendimiento alto (relación alta entre el calor transferido al fluido de trabajo y el calor obtenible de los productos de combustión) y hace uso de unas temperaturas de la llama altas. Más idealmente, dicha configuración de caldera puede proporcionar un diseño de planta con unas dimensiones físicas totales más
45 pequeñas. Los documentos FR 2 850 733, DE 196 22 115 y WO 89/06306 describen unos sistemas de caldera modulares conocidos.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

50 Los sistemas de caldera modulares según la presente invención se describen en la reivindicación 1, utilizando dichos sistemas una pluralidad de calderas de oxicomcombustión independientes configuradas en serie para producir vapor a partir de agua. Las calderas se configuran para que cada una de ellas ejecute un funcionamiento de transferencia de energía diferente del de las demás. Una primera caldera o caldera principal presenta una toma de admisión o entrada de agua de alimentación en comunicación de circulación del fluido con una pluralidad de tubos
55 para transportar agua. Las calderas se configuran de tal modo que se evite sustancialmente la entrada de aire.

Los tubos de la caldera principal conforman por lo menos una pared del agua. Cada caldera comprende un aporte de oxígeno para suministrar un oxígeno que tenga una pureza superior al 21 por ciento y preferentemente por lo menos aproximadamente del 85 por ciento, un aporte de combustible basado en el carbono para suministrar un
60 combustible basado en el carbono y por lo menos un sistema de quemador por oxicomcombustión. El sistema de quemador alimenta el oxígeno y el combustible a la caldera en una proporción casi estequiométrica a fin de limitar un exceso de oxígeno o del combustible basado en el carbono a una tolerancia predeterminada. Los tubos de cada caldera se configuran para una exposición de energía radiante directa para transferir energía de la llama a los tubos de la pared de agua. Por deferencia a la nomenclatura tradicional, se pretende que la referencia a las paredes de agua incluya a todos los tubos de la caldera en una zona radiante incluso aunque los tubos puedan transportar
65 vapor.

En una forma de realización del sistema de caldera, la segunda caldera es una caldera de sobrecalentamiento y el vapor producido por la primera caldera se alimenta directamente a la caldera de sobrecalentamiento. El vapor abandona la caldera de sobrecalentamiento y fluye hacia una turbina de vapor principal. Alternativamente, el sistema puede comprender una caldera de recalentamiento (que toma la alimentación del escape de la turbina de vapor de alta presión), recalienta el vapor en una caldera de oxcombustión similar a la caldera principal, y alimenta una turbina de vapor de recalentamiento. La función de calentamiento o de transferencia de energía de cada una de las calderas es diferente de la de las demás calderas. Es decir, en la caldera principal, el agua se calienta desde un valor (entalpía) de energía relativamente bajo hasta vapor saturado. En la caldera de sobrecalentamiento (si se utiliza), el vapor se calienta adicionalmente hasta alcanzar las condiciones de sobrecalentado. A continuación, en el recalentador, el vapor de escape de la turbina de alta presión se recalienta para alimentar a una turbina de vapor de recalentamiento.

El sistema de caldera puede comprender un condensador configurado de tal modo que el vapor sale de la turbina de vapor de alta presión dirigiéndose a una o más turbinas de vapor de recalentamiento, a opcionalmente una o más turbinas de baja presión y al condensador. Un sistema de caldera preferido comprende un economizador. El economizador presenta un lado de gas que recibe los productos de combustión ("gases de escape" o "gases de humos") procedentes de las calderas y un lado de agua de alimentación de tal modo que los productos de combustión precalientan el agua de alimentación de la caldera antes de la introducción del agua de alimentación a la caldera principal. Tras salir del economizador, los gases de escape pueden utilizarse para precalentar el elemento oxidante para el sistema de combustión por oxcombustión, generalmente relacionándose con el sistema de gases de escape antes de cualquier tratamiento de procesamiento de los gases de escape, dispuesto "corriente abajo" que pueda pretenderse. Puede obtenerse un aumento de potencia realizando agrupamientos en paralelo de sistemas de caldera modulares.

Los quemadores de oxcombustión pueden configurarse para muchos tipos de combustible diferentes, tales como el gas natural, el petróleo, el carbón y otros combustibles sólidos. Cuando se utiliza un combustible sólido, una parte de los gases de escape (opcionalmente mezclados con oxígeno) puede utilizarse para transportar el combustible sólido a las calderas. Los gases alimentadores del combustible pueden ser gases de escape procedentes del lado de "corriente abajo" del economizador.

Estas y otras características y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto a partir de la descripción detallada siguiente, juntamente con las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES VISTAS DE LOS DIBUJOS

Los beneficios y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto más claramente para los expertos en la materia tras revisar la descripción detallada siguiente y los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de caldera de recalentamiento/subcrítica simple que comprende unas calderas de oxcombustión modulares que incorporan los principios de la presente invención;

La figura 2 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de caldera de no recalentamiento/subcrítica que comprende unas calderas de oxcombustión modulares que incorporan los principios de la presente invención;

La figura 3 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de caldera de recalentamiento/supercrítico simple ejemplar que comprende unas calderas de oxcombustión modulares; y

La figura 4 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de caldera de vapor saturado que comprende una caldera de oxcombustión modular que incorpora los principios de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Aunque la presente invención es susceptible de realizarse en varias formas de realización, se representa en los dibujos y se describirá en lo sucesivo una forma de realización preferida actualmente, entendiéndose que la presente descripción debe considerarse como una ejemplificación de la presente invención y no se pretende limitar la presente invención a la forma de realización específica representada.

Debe entenderse además que el título de esta sección de esta especificación, a saber "Descripción detallada de la invención", se refiere a un requisito de la Oficina de Patentes de los Estados Unidos, y no implica, ni debe inferirse que limita el ámbito descrito en el mismo.

Un sistema de oxcombustión utiliza sustancialmente oxígeno puro, en combinación con una fuente de combustible para producir calor, mediante producción de la llama (es decir, combustión), de un modo eficiente, no nocivo para el

medio ambiente. Dicho sistema de combustión proporciona una combustión con un rendimiento alto (relación alta entre el calor transferido al fluido de trabajo y el calor obtenible de los productos de combustión) y hace uso de las altas temperaturas de la llama. Un sistema de combustión preferido utiliza oxígeno con una pureza relativamente alta (aproximadamente superior al 21% y preferentemente por lo menos aproximadamente el 85% de oxígeno) y de este modo el volumen total de gas que pasa por la caldera es inferior en la misma medida. Utilizando la oxicomustión, se prevén unas temperaturas de la llama de aproximadamente más de 1649°C (3000°C) y hasta aproximadamente 2750°C (5000°F) en la caldera.

Además, uno de los parámetros operativos del presente sistema de caldera es la utilización de un sistema de oxicomustión en el que como elemento oxidante se utiliza oxígeno relativamente puro, en lugar de utilizar aire. En el sentido empleado en el presente documento, el término elemento oxidante se refiere al gas que transporta el oxígeno para la combustión. Por ejemplo, cuando al sistema se le suministra oxígeno puro (100 por ciento), el oxígeno comprende el 100 por ciento del elemento oxidante, mientras que cuando se utilice aire como elemento oxidante, el oxígeno comprende aproximadamente el 21 por ciento del elemento oxidante. Por lo tanto, el volumen de elemento oxidante que se precisa es sustancialmente inferior (ya que sustancialmente se utiliza únicamente oxígeno en lugar de utilizarse aire) al que se precisa con las calderas convencionales, lo que origina que la entrada de volumen de gas a la caldera (y por lo tanto el volumen de gas procesado en la caldera) sea inferior al de las calderas convencionales. Una ventaja importante que ofrecen un caudal y volumen bajos radica en que las dimensiones totales del sistema de la planta física pueden ser inferiores a las de los sistemas de caldera convencional, con lo que se prevé que los costes de capital de dicho sistema de caldera sean inferiores en la misma medida.

Uno de los aspectos funcionales u objetivos funcionales del presente sistema de caldera es extraer una cantidad máxima de energía (en forma de transferencia de calor procedente de los productos de combustión / gases de escape) de los procesos de combustión. Ello, junto con el caudal bajo, tendrá como resultado una pérdida de energía inferior con temperaturas comparables en la chimenea de los gases de escape.

Otro aspecto u objetivo funcional de la presente invención es hacer el uso máximo posible de las temperaturas de llama más altas. De este modo, tal como se describirá a continuación, una proporción considerablemente superior de la transferencia de calor procedente de los productos de combustión a los tubos de la caldera y, por lo tanto, al fluido de trabajo (agua o vapor) tiene lugar mediante transferencia de calor radiante, en lugar de hacerse mediante transferencia de calor convectiva.

En la figura 1 se representa esquemáticamente una forma de realización de un sistema de caldera 10. El sistema 10 representado es una unidad de recalentamiento/subcrítica. El sistema comprende tres calderas separadas y distintas, a saber, caldera n. 1 (caldera principal 12), para producir vapor a partir de agua, caldera n. 2 (caldera de sobrecalentamiento 14) para producir vapor sobrecalentado, y caldera n. 3 (caldera de recalentamiento 16). El oxígeno y el combustible se alimentan a cada una de las calderas mediante los sistemas de elemento oxidante y suministro de combustible 18, 20.

Tal como se representa esquemáticamente, y tal como se tratará a continuación, cada una de las calderas 12, 14, 16 comprende su propio sistema de oxicomustión independiente 22, 24, 26. En dicho sistema de oxicomustión, las paredes de agua (tubos T véase caldera 12 en la figura 1) de cada caldera 12-16 se exponen a la llama suficientemente como para que la mayor parte de la transferencia de calor tenga lugar mediante un mecanismo de transferencia de calor radiante en lugar de un mecanismo de transferencia convectivo. Es decir, la mayor parte de la transferencia de calor tiene lugar debido a la exposición de los tubos directamente a la llama, en lugar de deberse al desplazamiento de los gases de escape calentados sobre los tubos. Dicho mecanismo de transferencia de calor radiante preferido está en contraste fuertemente con las calderas convencionales que utilizan unas vías de circulación del gas de escape anchas, largas y complejas (por pasos convectivos, pasos de sobrecalentamiento convectivo, secciones de economizador y similares), para maximizar la transferencia de calor mediante mecanismos convectivos.

El presente sistema de caldera 10 comprende además un economizador 28 que transfiere energía de los gases de humos de la caldera (preferentemente en todas las calderas) al agua de alimentación de la caldera principal (en la línea de agua de alimentación 30) para precalentar el agua de alimentación antes de su introducción a la caldera principal 12. En un sistema como el presente, el oxígeno se produce por separación de, por ejemplo, aire en un generador de oxígeno 32. Los expertos en la materia reconocerán los diferentes modos en los que el oxígeno puede aportarse para alimentar a las calderas 12-16, por ejemplo, que el oxígeno puede aportarse procedente de fuentes tales como el almacenamiento, la separación de agua y similares, encontrándose todos ellos dentro del alcance de la presente invención. El suministro de combustible 20 puede ser cualquiera de los diferentes tipos de combustibles y de los diferentes tipos de suministros. Por ejemplo, el combustible puede ser un combustible gaseoso (por ejemplo gas natural), un combustible líquido tal como fueloil, gasoil, u otros combustibles líquidos con base orgánica o inorgánica, o un combustible sólido tal como carbón o subproductos agrícolas o ganaderos. Todas dichas configuraciones de producción y suministro de oxígeno 18 así como todos dichos combustibles y disposiciones para el suministro de combustible 20 se encuentran dentro del alcance y del espíritu de la presente invención.

Volviendo ahora a la figura 1, el sistema de caldera 10 se representa como un suministro para un generador eléctrico 34. Para esta finalidad, el sistema comprende un conjunto turbina/generador 36 que incluye el generador eléctrico 34, una turbina de vapor principal o de alta presión 38, una turbina de vapor de presión intermedia 40, una turbina de vapor de baja presión 41 y un condensador 42.

El sistema 10 se configura de tal modo que el agua de alimentación entra en la caldera principal por la línea de agua de alimentación 30 y se calienta a medida que circula por los tubos de agua T de la caldera 12. En una configuración de caldera típica, el agua entra en la caldera 12 en un punto relativamente bajo de la caldera y sube por los tubos a medida que se calienta. Ello sirve para mantener los tubos en un estado inundado y para mantener el fluido en los tubos bajo presión.

El fluido calentado se separa y el vapor saturado abandona la caldera principal 12 por la línea 44 y entra en la caldera de sobrecalentamiento 14. En la misma, el vapor sigue calentándose hasta alcanzar las condiciones de sobrecalentamiento, circulando de nuevo por los tubos de pared. El vapor sobrecalentado abandona la caldera de sobrecalentamiento 14 por la línea de vapor principal 46 y entra en la turbina de alta presión (vapor principal) 38. El vapor a baja presión sale de la turbina de vapor principal de alta presión 38 y se devuelve a la caldera de recalentamiento 16 por la línea de vapor de recalentamiento 48. El vapor abandona la caldera de recalentamiento 16 por la línea de circulación de vapor recalentado 50 y entra en la turbina de presión intermedia. El vapor que sale de la turbina intermedia 40 circula por la línea de paso 43 y entra en la turbina de baja presión 41.

El vapor abandona la turbina de baja presión 41 por la tubería de escape de turbina 52 y se condensa totalmente en el condensador 42 (generalmente a una presión baja –inferior a la presión atmosférica– de tal modo que la turbina 40 extrae del vapor una cantidad máxima de energía) y a continuación se devuelve (bombee) a la caldera principal 12 pasando por el economizador 28 que (tal como se ha enunciado anteriormente) precalienta el agua antes de su introducción a la caldera 12.

En cuanto al circuito de combustible, tal como se ha indicado anteriormente, el combustible y el elemento oxidante se alimentan a cada una de las calderas 12, 14 y 16 independientemente. Todos los gases de humos salen de sus calderas respectivas por las líneas 13, 15 y 17 respectivamente, y entran en el economizador 28 en el que los gases precalientan el agua de alimentación de la caldera principal. Los gases de humos salen del economizador 28 y pueden utilizarse para precalentar el elemento oxidante en el precalentador del elemento oxidante 60. Los gases de escape, tras abandonar el economizador 28 se conducen al precalentador del elemento oxidante 60 (por la línea 61) y a continuación se devuelven (por la línea 63) para su introducción en cualquier equipo de procesamiento dispuesto “corriente abajo” necesario indicado generalmente en 54, tales como depuradores, precipitadores o similares. Además, si se pretende, una parte de los gases de humos pueden recircularse, generalmente a continuación del precalentamiento del elemento oxidante, (por las líneas de recirculación de los gases de humos 56) hacia las calderas 12-16. Las líneas de recirculación 56 pueden utilizarse asimismo como un vehículo (mediante desvío a las líneas de transporte del combustible 58) para transportar el combustible a las calderas 12-16, por ejemplo, para transportar carbón pulverizado a las calderas.

Tal como podrán apreciar los expertos en la materia, puesto que el caudal y el volumen total de gas que entra en la caldera (sustancialmente oxígeno puro) es inferior al que entra en las calderas convencionales, el caudal y el volumen de los gases de escape o de humos es asimismo inferior, en la misma medida, que en las calderas convencionales. Asimismo, el equipo de procesamiento dispuesto “corriente abajo” 54 puede ser más pequeño y menos costoso que un equipo convencional de una central de igual tamaño (potencia de salida).

En la figura 2 se representa esquemáticamente una segunda forma de realización de un sistema de caldera 110. El sistema de caldera 110 representado es una unidad de no recalentamiento/subcrítica, y como tal, el sistema comprende dos calderas separadas y distintas, a saber, la caldera nº 1 (caldera principal 112) para producir vapor a partir del agua y la caldera nº 2 (caldera de sobrecalentamiento 114) para producir vapor sobrecalentado. No existe una caldera de recalentamiento. Dicho sistema 110 es, por otra parte, similar a la forma de realización del sistema 10 de la figura 1 y comprende los sistemas de aportación de elemento oxidante y de combustible 118, 120 (en sistemas de oxidación 122, 124 independientes) para alimentar independientemente cada una de las calderas 112, 114. El sistema de caldera 110 comprende un economizador 128 que utiliza los gases de humos para precalentar el agua de alimentación antes de su introducción en la caldera principal 112. Los gases de escape tras el economizador 128 pueden utilizarse para precalentar el elemento oxidante en un precalentador del elemento oxidante 160.

En este caso asimismo, el sistema de caldera 110 se configura con un conjunto turbina/generador 136 que comprende un generador eléctrico 134, una turbina de alta presión (o vapor principal) 138, una turbina de presión intermedia 140, una turbina de baja presión 141 y un condensador 142.

El agua de alimentación entra en la caldera principal por la línea de agua de alimentación 130 y se calienta a medida que circula por los tubos de agua. El fluido calentado se separa y el vapor saturado sale de la caldera principal 112 por la línea 144 y entra en la caldera de sobrecalentamiento 114 donde el vapor se calienta hasta un estado de sobrecalentado. El vapor sobrecalentado sale de la caldera de sobrecalentamiento 114 por la línea de vapor

principal 146 y entra en la turbina de alta presión 138. A diferencia de la forma de realización anterior, en dicho sistema 110, el vapor que sale de la turbina de alta presión 138 pasa por una línea de paso 143 y entra en la turbina de presión intermedia 140 (es decir, no existe un recalentador). El vapor sale de la turbina de presión intermedia 140 y pasa por la línea de paso 148 y entra en la turbina de baja presión 141. A continuación, el vapor a baja presión sale de la turbina de baja presión 141 por la línea 152 que conduce de la turbina de baja presión al condensador 152 y, a continuación, se devuelve (bombea) a la caldera principal 112 pasando por el economizador 128.

En cuanto al circuito de combustible, como con la forma de realización anterior, el combustible y el elemento oxidante se alimentan a cada una de las calderas 112, 114 independientemente. Los gases de humos abandonan sus calderas respectivas por las líneas 113 y 115, respectivamente, y entran en el economizador 128 para precalentar el agua de alimentación de la caldera principal. Los gases de humos abandonan el economizador 128 y pueden utilizarse para precalentar el elemento oxidante en el precalentador del elemento oxidante 160. Los gases de escape, tras abandonar el economizador 128 se conducen al precalentador del elemento oxidante 160 (por la línea 161) y, a continuación, se devuelven (por la línea 163) para su introducción en cualquier equipo de procesamiento dispuesto corriente abajo necesario (tal como se indica en 154) tras salir del economizador 128. Los gases de humos pueden recircularse 156 y/o utilizarse como un vehículo para transportar el combustible (por ejemplo, carbón pulverizado) a las calderas 112, 114.

Otro ejemplo de un sistema de caldera 210 se representa en la figura 3 que muestra una unidad de caldera de recalentamiento supercrítica individual. Dicho sistema comprende dos calderas separadas y distintas, a saber, la caldera nº 1 (caldera principal supercrítica 212) para producir vapor supercrítico a partir de agua y la caldera nº 2 (caldera de recalentamiento 216). El oxígeno y el combustible (en sistemas de oxicomustión 222, 226 independientes) se alimentan a cada una de las calderas 212, 216 mediante los sistemas de suministro de elemento oxidante y de combustible 218, 220. El sistema de caldera 210 comprende un economizador 228 que utiliza los gases de humos para precalentar el agua de alimentación antes de su introducción en la caldera principal 212.

En este caso asimismo, el sistema de caldera 210 se configura con un conjunto turbina/generador 236 que comprende un generador eléctrico 234, una turbina supercrítica 238, una turbina de presión intermedia 240, una turbina de baja presión 241 y un condensador 242.

El agua de alimentación entra en la caldera principal 212 por la línea de agua de alimentación 230 y se calienta a medida que circula por los tubos de agua. El fluido calentado abandona la caldera supercrítica 212 por la línea de vapor supercrítico 246 y entra en la turbina supercrítica 238. El fluido (vapor) sale de la turbina supercrítica 238, entra en la caldera de recalentamiento 216 por la línea de recalentamiento 248 y, a continuación, circula hacia la turbina de presión intermedia 240 por la línea de vapor de recalentamiento 250. El vapor sale de la turbina intermedia 240 pasando por la línea de paso 243 dirigiéndose a la turbina de baja presión 241. El vapor a baja presión abandona la turbina de baja presión 241 y se condensa en el condensador 242. A continuación, el condensado se devuelve (bombea) a la caldera supercrítica 212 pasando por el economizador 228.

En cuanto al circuito de combustible, tal como en las formas de realización anteriores, el combustible y el elemento oxidante se alimentan a cada una de las calderas 212, 216 independientemente. Los gases de humos abandonan sus calderas respectivas por las líneas 213 y 217, respectivamente, y entran en el economizador 228 para precalentar el agua de alimentación de la caldera principal. Los gases de humos abandonan el economizador 228 y pueden utilizarse para precalentar el elemento oxidante en el precalentador de elemento oxidante 260. Los gases de escape, tras abandonar el economizador 228, se conducen al precalentador de elemento oxidante 260 (por la línea 261) y, a continuación, se devuelven (por la línea 263) para su introducción en cualquier equipo de procesamiento 254 dispuesto "corriente abajo" necesario, tras salir del economizador 228. Los gases de humo pueden recircularse 256 y/o utilizarse como un vehículo para transportar el combustible (por ejemplo, carbón pulverizado) a las calderas.

Otra forma de realización adicional de un sistema de caldera 310 se representa en la figura 4, en la que se muestra una unidad de caldera de vapor saturado. Dicho sistema comprende una caldera de vapor saturado 312 para producir vapor saturado y un sistema de oxicomustión 322. El sistema de caldera 310 puede comprender un economizador 328 que utiliza los gases de humos para precalentar el agua de alimentación antes de su introducción en la caldera principal 312.

El sistema de caldera 310 se configura para suministrar vapor saturado a un proceso 360 dispuesto corriente abajo pretendido (actualmente no especificado). Para ello, el sistema 310 se representa con un "consumidor de vapor" (el proceso dispuesto corriente abajo que requiere vapor) y un condensador 342, cuya necesidad dependerá del consumidor de vapor 360.

El agua de alimentación entra en la caldera principal 312 por la línea de agua de alimentación 330 y se calienta a medida que circula por los tubos de agua. El fluido calentado se separa, por ejemplo en un colector de vapor 313, en vapor saturado y agua. El vapor saturado abandona la caldera 312 desde el colector 313 por la línea de vapor 346 y fluye hacia el consumidor de vapor 360. A continuación, el fluido (vapor) puede condensarse en el condensador 342

(opcional), que a continuación se devuelve (bombeado como agua de alimentación) a la caldera 312 pasando por el economizador 328.

En cuanto al circuito de combustible, como en las formas de realización anteriores, el combustible y el elemento oxidante se alimentan a la caldera 312 mediante un sistema de oxidación 322. Los gases de humos abandonan la caldera 312 por la línea 313 y entran en el economizador 328 para precalentar el agua de alimentación de la caldera principal 312. Los gases de humo abandonan el economizador 328 y pueden utilizarse para precalentar el elemento oxidante en el precalentador del elemento oxidante 370. Los gases de escape, tras abandonar el economizador 328 se conducen a un precalentador de elemento oxidante 370 (por la línea 371) y a continuación se devuelven (por la línea 373) para su introducción en cualquier equipo de procesamiento 354 dispuesto "corriente abajo" necesario, tras salir del economizador 328. Los gases de humos pueden recircularse 356 y/o utilizarse como un vehículo para transportar el combustible (por ejemplo, carbón pulverizado) a la caldera 312. El oxígeno lo aporta el suministro de elemento oxidante 318 y el combustible lo aporta el suministro de combustible 320.

En cada una de las formas de realización y ejemplos del sistema de caldera 10, 110, 210, 310, la(s) caldera(s) son sustancialmente unas unidades autónomas que se construyen para funcionar de tal modo que se maximice la transferencia de calor que tiene lugar mediante un mecanismo de transferencia de calor radiante. Como tales, las calderas son relativamente pequeñas (a fin de asegurar una exposición eficaz de las paredes de agua/tubos T), o por lo menos más pequeñas que una caldera convencional comparable que se basa en la transferencia de calor convectiva. Los expertos en la materia reconocerán que si bien cada una de las calderas en cada sistema (por ejemplo la caldera principal 12, la caldera de sobrecalentamiento 14 y la caldera de recalentamiento 16 del sistema de caldera de recalentamiento individual 10) se representa y se describe como una unidad de caldera individual, se prevé que cada una de dichas calderas puede configurarse como unidades múltiples en serie. De nuevo, por ejemplo, la caldera principal 12 puede configurarse como dos o tres calderas pequeñas en serie. Además, si bien cada una de las calderas se representa como que comprende un quemador de oxidación, se prevé que cada caldera puede comprender una pluralidad de quemadores, según se precise. Se apreciará que la utilización de una caldera individual o de una pluralidad de calderas para cada una de las etapas de calentamiento y la utilización de un quemador individual o de una pluralidad de quemadores para cada caldera mejorará adicionalmente la capacidad de controlar la entrada de calor a las calderas individuales para controlar más eficazmente el proceso global y las condiciones del vapor.

Conforme a lo dispuesto en las patentes a nombre de Gross mencionadas anteriormente, la energía se introduce en las calderas mediante los sistemas de oxidación. Utilizando dicha disposición, el principio de funcionamiento de la transferencia de calor al horno es radiante, con algo de transferencia de calor convectiva. Puesto que dichos quemadores (y los sistemas de oxidación en general) producen unas temperaturas de la llama altas, los sistemas de oxidación proporcionan dicha transferencia de calor radiante eficiente. La geometría de la caldera (por ejemplo, exposición a la llama directa de los tubos de la caldera) aumenta adicionalmente el grado de transferencia de calor maximizando el área de la superficie metálica sobre la que tiene lugar la transferencia de calor de la llama al metal.

Ventajosamente, las presentes calderas maximizan la utilización de la transferencia de calor radiante en combinación con la utilización de la oxidación, lo que puede permitir que la caldera sea físicamente más pequeña que una caldera convencional de aproximadamente el mismo tamaño (potencia de salida). Es decir, puesto que sustancialmente se utiliza oxígeno puro (en lugar de aire) como elemento oxidante, la totalidad del elemento oxidante se encuentra disponible para la combustión y el volumen de gas que entra en la caldera es aproximadamente el 21 por ciento del volumen de gas que se precisaría si se utilizase aire como elemento oxidante para aportar el oxígeno necesario para la combustión. De este modo, la caldera puede ser considerablemente más pequeña debido a que utiliza sustancialmente oxígeno puro en lugar de aire.

Además, la mezcla combustible/oxígeno (de nuevo, en lugar de una mezcla combustible/aire) permite obtener unas temperaturas de la llama más altas en las calderas. Utilizando la oxidación se pueden alcanzar unas temperaturas de la llama aproximadamente de 2760°C (5000°F) en la caldera. Estos valores son superiores, en aproximadamente 816°C (1500°F) a 1093°C (2000°F), a los de las calderas convencionales. Se ha observado asimismo que utilizando la oxidación, conjuntamente con dichas temperaturas de la llama más altas, se obtiene un proceso altamente eficiente.

En los sistemas de caldera actuales que utilizan gas natural como combustible, las proporciones de oxígeno/gas natural son aproximadamente de 2,36:1. Dicha proporción variará en función de la pureza del suministro de oxígeno y de la naturaleza del combustible. Por ejemplo, en condiciones ideales de oxígeno puro al 100 por ciento, la proporción se calcula teóricamente para que sea de 2,056:1. Sin embargo, puesto que el suministro de oxígeno puede presentar un porcentaje de compuestos que no son oxígeno (generalmente hasta aproximadamente el 15 por ciento) y el gas natural puede ser que no sea siempre 100 por ciento puro, es de esperar que se produzca una variación. Por consiguiente, los expertos en la materia apreciarán y entenderán que las proporciones pueden variar ligeramente, aunque la base para calcular las proporciones, que son proporciones aproximadamente estequiométricas de combustible y oxígeno, siguen siendo vigentes.

Dicha proporción entre oxígeno y combustible proporciona un gran número de ventajas. Por ejemplo, unas proporciones aproximadamente estequiométricas permiten obtener una combustión completa del combustible, tendrán como resultado un volumen de emisiones de NOx y de gases de escape nocivos sustancialmente inferior.

Es importante destacar que controlando con precisión la proporción entre oxígeno y combustible se asegura una combustión completa del combustible. Ello contrasta fuertemente las convencionales (por ejemplo, las plantas de generación de energía eléctrica que queman combustibles fósiles), que sufren LOI (pérdida de ignición). Sustancialmente, LOI es equiparable a combustión incompleta del combustible. Los presentes sistema de caldera 10, 110, 210, 310, por otra parte, utilizan sustancialmente oxígeno puro, en una proporción controlada con precisión, casi estequiométrica, con el combustible (con unas calderas que son "estancas", es decir, configuradas para impedir sustancialmente la introducción de aire), en un intento de minimizar y posiblemente eliminar dichas pérdidas. Además, al utilizar dichos quemadores (en un sistema de oxicomustión), el único NOx teóricamente disponible es el procedente del nitrógeno del combustible, más que el que se podría originar a partir de la combustión utilizando aire únicamente. De este modo, los NOx, si no se eliminan completamente, se reducen a una cantidad insignificante en comparación con los sistemas de combustión convencionales.

Además, puesto que la transferencia de calor radiante es el mecanismo de transferencia de calor pretendido, se confía menos en el paso convectivo (gas) por el interior de la caldera. Ello permite asimismo un diseño de caldera más pequeño y menos complejo. Dichas consideraciones de diseño permiten configurar las calderas como unas unidades autónomas modulares. Es decir, tomando como referencia la figura 1, una caldera principal 12 autónoma puede agruparse con una caldera de sobrecalentamiento 14 autónoma, que puede agruparse con una caldera de recalentamiento 16 autónoma. Análogamente, tomando como referencia la figura 3, una caldera principal supercrítica 212 autónoma puede agruparse con una caldera de recalentamiento 216 autónoma como el núcleo del sistema de caldera 210. Dicha configuración autónoma proporciona unas ventajas en cuanto a control, en comparación con los sistemas convencionales en los que la temperatura del vapor sobrecalentado se controla mediante atemperación (desrecalentado). El proceso de desrecalentado enfría el vapor sobrecalentado añadiendo agua o vapor (en forma de vapor o pulverización) y hace disminuir la eficiencia del sistema y puede eliminarse utilizando unas calderas separadas para ebullición y sobrecalentamiento. Proporciona ventajas asimismo durante el funcionamiento en régimen reducido (funcionamiento con una capacidad inferior a la de diseño). En condiciones de régimen reducido, la aportación de calor a la zona de ebullición puede controlarse independientemente de la aportación de calor a la zona de sobrecalentamiento o a la zona de recalentamiento, lo que conduce a un funcionamiento más eficiente.

Un estudio de los balances de calor y de masa, realizado con diferentes configuraciones de caldera, pone de manifiesto que los rendimientos de caldera proyectados son muy altos, y considerablemente más altos que en los sistemas de caldera conocidos. Por ejemplo, en la primera, unidad de recalentamiento/subcrítica, en la caldera principal, el cambio en la entalpía de la entrada de agua a la salida de vapor es aproximadamente 572 MW (1.95E9 BTU/hr) con una entalpía de la entrada de combustible aproximadamente de 610 MW (2.08E9 BTU/hr). En la caldera de sobrecalentamiento, el cambio en la entalpía de la entrada de vapor a la salida de vapor es aproximadamente de 214 MW (7.30E8 BTU/hr) con una entalpía de entrada de combustible aproximadamente de 244 MW (8.32E8 BTU/hr), y en la caldera de recalentamiento, el cambio en la entalpía de la entrada de agua a la salida de vapor es aproximadamente de 162 MW (5.52E8 BTU/hr) con una entalpía de entrada de combustible aproximadamente de 182 MW (6.22E8 BTU/hr). Ello tendrá como resultado unos rendimientos en la caldera principal, la caldera de sobrecalentamiento y la caldera de recalentamiento de 93,8% (incluyendo la ganancia del economizador), 87,8% y 88,7%, respectivamente.

Análogamente, en la segunda, unidad de no recalentamiento, subcrítica, en la caldera principal, el cambio en la entalpía de la entrada de agua a la salida de vapor es aproximadamente de 583 MW (1.99E9 BTU/hr) con una entalpía de la entrada de combustible aproximadamente de 577 MW (1.97E9 BTU/hr). En la caldera de sobrecalentamiento, el cambio en la entalpía de la entrada de vapor a la salida de vapor es aproximadamente 358 MW (1.22E9 BTU/hr) con una entalpía de entrada de combustible aproximadamente de 469 MW (1.60E9 BTU/hr). Ello tendrá como resultado unos rendimientos en la caldera principal y en la caldera de sobrecalentamiento del 101,0% (incluyendo la ganancia del economizador) y del 76,2%, respectivamente. Es importante destacar que el economizador está incluido en los cálculos para la caldera principal (que toma escape tanto de la caldera como de la caldera de sobrecalentamiento) y, por lo tanto, se asume la energía de los gases de escape procedente de la caldera de sobrecalentamiento, lo que permite que el rendimiento parezca superior al 100% (pero no lo es).

En la tercera, caldera de recalentamiento-supercrítica, en la caldera principal supercrítica, el cambio en la entalpía de la entrada de agua a la salida de vapor es aproximadamente de 695 MW (2.37E9 BTU/hr) con una entalpía de entrada de combustible aproximadamente de 797 MW (2.72E9 BTU/hr). En la caldera de recalentamiento, el cambio en la entalpía de la entrada de vapor a la salida de vapor es aproximadamente de 183 MW (6.23E8 BTU/hr) con una entalpía de entrada de combustible aproximadamente de 212 MW (7.24E8 BTU/hr). Ello tendrá como resultado unos rendimientos en la caldera principal supercrítica y en la caldera de recalentamiento del 87,2% (incluyendo la ganancia del economizador) y del 86,0%, respectivamente.

En la última o sistema de caldera de vapor saturado, el cambio en la entalpía de la entrada de agua a la salida de vapor es aproximadamente de 1000 MW (3,42E9 BTU/hr) con una entalpía de entrada de combustible aproximadamente de 1090 MW (3,73E9 BTU/hr). Existe una pérdida por purga aproximadamente de 3,81 MW (0,13E8 BTU/hr). Ello tendrá como resultado un rendimiento en la caldera principal del 91,7%.

La tabla 1 siguiente muestra las componentes del balance de energía y masa parciales para la unidad de recalentamiento/subcrítica desglosadas por calderas, la tabla 2 muestra las componentes del balance de energía y masa parciales para la unidad de no recalentamiento/subcrítica desglosadas por calderas, la tabla 3 muestra las componentes del balance de energía y masa parciales para la unidad de caldera de recalentamiento-supercrítica desglosadas por calderas, y la tabla 4 muestra las componentes de masa y energía parciales para la unidad de caldera de vapor saturado. Debe destacarse que los valores de balance de energía y masa parciales de la tabla 3 para la unidad de caldera de recalentamiento supercrítica muestran la primera y segunda secciones de caldera, que se han sumado juntas para determinar la eficiencia y para que estén conformes con la representación esquemática de la figura 3. En cada uno de los sumarios de valores de balance de energía y masa parciales de las tablas 1-3, los valores de entalpía específica y total son de entrada de agua a la respectiva primera sección de combustión antes del economizador.

Tabla 1 Balance de masa y energía parcial para el sistema de caldera de recalentamiento/subcrítica

Caldera principal	Caudal en kg/s (1 b/hr)	Entalpía específica en KJ/kg (BTU/lb)	Entalpía total en MW (BTU/hr)
Entrada de agua	335,8850 (2.665.801)	1041,1 (447,58)	349,6785437 (1.193.152.718)
Salida de vapor	332,5594 (2.639.407)	2769,687 (1.190,70)	921,0501917 (3.142.753.707)
Cambio en la entalpía	-----	-----	571,3716479 (1.949.600.989)
Entalpía de la entrada de combustible	-----	-----	609,2599377 (2.078.881.200)
Caldera de sobrecalentamiento	Caudal en kg/s (1 b/hr)	Entalpía específica en KJ/kg (BTU/lb)	Entalpía total en MW (BTU/hr)
Entrada de vapor	332,5594 (2.639.407)	2769,687 (1.190,70)	921,0501917 (3.142.753.707)
Salida de vapor	332,5594 (2.639.407)	3413,319 (1.467,40)	1135,086683 (3.873.076.529)
Cambio en la entalpía	-----	-----	214,036491 (730.322.821)
Entalpía de la entrada de combustible	-----	-----	243,9082585 (832.249.524)
Caldera de recalentamiento	Caudal en kg/s (1 b/hr)	Entalpía específica en KJ/kg (BTU/lb)	Entalpía total en MW (BTU/hr)
Entrada de vapor	313,9414 (2.491.642)	3028,792 (1.302,09)	950,8193952 (3.244.300.446)
Salida de vapor	313,9414 (2.491.692)	3544,023 (1.523,59)	1112,565352 (3.796.230.559)
Cambio en la entalpía	-----	-----	161,745957 (551.900.113)
Entalpía de la entrada de combustible	-----	-----	182,304945 (622.050.305)

Tabla 2 Balance de masa y energía parcial para un sistema de caldera de no recalentamiento/subcrítica

Caldera principal	Caudal en kg/s (1b/hr)	Entalpía específica en KJ/kg (BTU/1b)	Entalpía total en MW (BTU/hr)
Entrada de agua	420,5840 (3.338.027)	1130,9 (486,17)	475,6115430 (1.622.853.948)
Salida de vapor	416,4120 (3.304.978)	2543,335 (1.093,39)	1059,04728 (3.613.619.311)
Cambio en la entalpía	-----	-----	583,4357351 (1.990.765.363)
Entalpía de la entrada de combustible	-----	-----	577,1221279 (1.969.222.441)
Caldera de sobrecalentamiento	Caudal en kg/s (1 b/hr)	Entalpía específica en KJ/kg (BTU/1b)	Entalpía total en MW (BTU/hr)
Entrada de vapor	416,4120 (3.304.978)	2543,335 (1.093,39)	1059,04728 (3.613.619.311)
Salida de vapor	416,412 (3.304.978)	3405,480 (1.463,03)	1418,05321 (4.838.598.409)
Cambio en la entalpía	-----	-----	359,0059350 (1.224.979.098)
Entalpía de la entrada de combustible	-----	-----	469,6740922 (1.602.594.525)

5 Tabla 3 Balance de masa y energía parcial para un sistema de caldera de recalentamiento/subcrítica

Caldera principal supercrítica (Primera sección)	Caudal en kg/s (1 b/hr)	Entalpía específica en KJ/kg (BTU/1b)	Entalpía total en MW (BTU/hr)
Entrada de agua	321,4104 (2.550.921)	1247,8 (536,43)	401,0355801 (1.368.390.200)
Salida de vapor	321,4104 (2.550.921)	2842,262 (1.221,90)	913,4923978 (3.116.965.444)
Cambio en la entalpía	-----	-----	512,4568177 (1.748.575.244)
Entalpía de la entrada de combustible	-----	-----	584,8897971 (1.995.760.950)
Caldera principal supercrítica (Segunda sección)	Caudal en kg/s (1 b/hr)	Entalpía específica en KJ/kg (BTU/1b)	Entalpía total en MW (BTU/hr)
Entrada de vapor	321,4104 (2.550.921)	2842,262 (1.221,90)	913,4923978 (3.116.965.444)
Salida de vapor	321,4104 (2.550.921)	3410,481 (1.466,18)	1096,117450 (3.740.107.987)
Cambio en la entalpía	-----	-----	192,625052 (623.142.543)
Entalpía de la entrada de combustible	-----	-----	212,317537 (724.457.506)

continúa

Caldera de recalentamiento	Caudal en kg/s (1 b/hr)	Entalpía específica en KJ/kg (BTU/lb)	Entalpía total en MW (BTU/hr)
Entrada de vapor	290,1832 (2.303.082)	3017,626 (1.297,29)	875,6289154 (2.987.769.879)
Salida de vapor	290,1832 (2.303.082)	3589,428 (1.543,11)	1041,547040 (3.553.906.020)
Cambio en la entalpía	-----	-----	165,918125 (566.136.141)
Entalpía de la entrada de combustible	-----	-----	189,139330 (645.370.183)

5 Tabla 4 Balance de masa y energía parcial para un sistema de caldera de no recalentamiento/subcrítica

Caldera principal	Caudal en kg/s (1 b/hr)	Entalpía específica en KJ/kg (BTU/lb)	Entalpía total en MW (BTU/hr)
Entrada de agua	428,6163 (3.401.777)	397,25 (170,78)	170,265370 (580.969.557)
Salida de vapor	424,3725 (3.368.095)	2765,87 (1.189.095)	1173,712862 (4.004.874.525)
Cambio en la entalpía	-----	-----	1003,447493 (3.423.904.968)
Entalpía de la entrada de combustible	-----	-----	1093,725646 (3.731.946.814)

- 10 Tal como se ha enunciado anteriormente, cada uno de los sistemas de caldera difiere de los procesos convencionales en dos áreas principales. Primeramente, los procesos de combustión convencionales utilizan aire (como elemento oxidante para suministrar oxígeno), en lugar de oxígeno sustancialmente puro, para la combustión. El componente oxígeno del aire (aproximadamente el 21 por ciento) se utiliza en la combustión, mientras que los componentes restantes (sustancialmente nitrógeno) se calientan en el horno y salen calientes del mismo. En
- 15 segundo lugar, el presente proceso utiliza oxígeno y combustible en una proporción casi estequiométrica entre ellos (dentro de una tolerancia aproximadamente de ± 5 por ciento). Es decir, únicamente se alimenta suficiente elemento oxidante en proporción al combustible como para asegurar una combustión completa del combustible dentro de la tolerancia predeterminada. Y ello se realiza en una pluralidad de componentes de caldera o módulos configurados como un sistema coordinado, calentando cada módulo en una fase pretendida respectiva (por ejemplo, caldera
- 20 principal, zona de sobrecalentamiento, zona de recalentamiento).

Muchos beneficios y ventajas se alcanzan utilizando el presente sistema de combustión. Se ha observado, tal como se describirá a continuación, que el consumo de combustible, para producir una cantidad equivalente de potencia o calor se reduce. Sustancialmente, ello puede proporcionar una reducción enorme de la cantidad de contaminación

25 resultante. Asimismo, en ciertas aplicaciones, las emisiones de NOx pueden reducirse sustancialmente a cero.

Además, se ha observado que, puesto que la producción de gases es considerablemente inferior a la de las calderas convencionales, el volumen de descarga de gases de escape es inferior, en la misma medida. De hecho, puesto que la aportación de elemento oxidante (oxígeno en el presente sistema en comparación con aire en el sistema convencional) es aproximadamente el 21 por ciento de los sistemas convencionales, la descarga es asimismo

30 aproximadamente 21 por ciento de los sistemas convencionales (con combustibles sólidos ello puede ser, por ejemplo, 40 por ciento ya que existe una cantidad de gas de propulsión que se precisa para desplazar el combustible sólido al interior de la caldera). Y se prevé que el componente principal de los gases de descarga será agua (en forma de vapor) que puede condensarse o liberarse y CO₂. Se prevé asimismo que el CO₂ se captura en forma

35 concentrada para utilizarse en otras aplicaciones industriales y/o comerciales y/o para su secuestro.

Asimismo se ha constatado que utilizando una mezcla de combustible/oxígeno (de nuevo, en lugar de una mezcla combustible/aire) se obtienen una temperaturas de llama más altas que las tratadas anteriormente. Utilizando la combustión, pueden alcanzarse unas temperaturas de la llama aproximadamente de 2760°C (5000°F). Este valor es

40 más alto, en aproximadamente 816°C (1500°F) a 1093°C (2000°F), que en otras calderas conocidas. Se ha

observado asimismo que utilizando la oxicomcombustión, junto con dichas temperaturas de la llama más altas, se obtiene un proceso con un rendimiento extremadamente alto.

5 En la presente descripción, la palabra "un" debe considerarse como que comprende tanto el singular como el plural. A la inversa, cualquier referencia a elementos en plural incluirá, donde sea aplicable, el singular.

10 Debe entenderse que no se pretende ni debe deducirse ninguna limitación en lo que respecta a las formas de realización específicas representadas. Se pretende que la descripción cubra, mediante las reivindicaciones adjuntas, todas aquellas modificaciones incluidas en el alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de caldera de oxidcombustión modular destinado a producir vapor a partir de agua, que comprende:

- 5 una primera caldera (12, 112) que comprende una pluralidad de primeros tubos (T) de caldera para transportar el agua, formando los tubos por lo menos una pared de agua,
- 10 una línea de entrada de agua de alimentación (30, 130) en comunicación de flujo con dicha pluralidad de primeros tubos (T) de caldera, configurándose dicha línea de entrada de agua de alimentación (30, 130) para conectarse a una fuente de agua externa,
- una línea (44, 144) en comunicación de flujo con dichos primeros tubos (T) de caldera,
- 15 configurándose la primera caldera (12, 122) para impedir sustancialmente la introducción de aire;
- un suministro de oxígeno (18, 118) de la primera caldera, para aportar oxígeno con una pureza superior al 21 por ciento;
- 20 un suministro de combustible basado en el carbón (20, 120) de la primera caldera, para aportar un combustible basado en el carbón;
- 25 por lo menos un sistema de quemador de oxidcombustión (22, 122) de la primera caldera, acoplado a dicho primer suministro de oxígeno (18, 118, 218, 318) y dicho primer suministro de combustible basado en el carbón (20, 120), configurándose el sistema de quemador de oxidcombustión (22, 122) de la primera caldera para alimentar el oxígeno y el combustible basado en el carbón a la primera caldera (12, 112) en una proporción casi estequiométrica entre sí a fin de limitar un exceso, tanto de oxígeno como de combustible basado en el carbón, a una tolerancia predeterminada,
- 30 una línea de salida de gases de humos (13, 113) de la primera caldera para descargar los gases de escape generados como resultado de la combustión en dicha primera caldera (12, 112),
- en la que los tubos (T) de la primera caldera se configuran para la exposición de energía radiante, directa, para la transferencia de energía al agua para producir vapor;
- 35 una segunda caldera (14, 114) que comprende una pluralidad de tubos de la segunda caldera que conforman una pared de tubos para recibir vapor de dicha línea,
- 40 encontrándose dicha línea (44, 144) en comunicación de flujo con dicha pluralidad de tubos de la segunda caldera, de tal modo que el vapor sale de la primera caldera por dicha línea y entra en la segunda caldera,
- encontrándose una línea de salida de vapor de la segunda caldera (46, 146) en comunicación de flujo con dichos tubos de la segunda caldera; configurándose dicha línea de salida de vapor (46, 146) para conectarse a una turbina (38, 138),
- 45 una línea de salida de los gases de humos de la segunda caldera (15, 115) para descargar los gases de escape generados como resultado de la combustión en dicha segunda caldera (14, 114),
- configurándose la segunda caldera (14, 114) para que realice una función de transferencia de energía diferente de la que realiza la primera caldera (12, 112), y la segunda caldera (14, 114) se configura para impedir sustancialmente la introducción de aire;
- 50 un suministro de oxígeno (18, 118) de la segunda caldera para suministrar oxígeno que presente una pureza superior al 21 por ciento;
- 55 un suministro de combustible basado en el carbón (20, 120) de la segunda caldera para suministrar un combustible basado en el carbón;
- 60 por lo menos un quemador de oxidcombustión (24, 124) de la segunda caldera, alimentando dicho quemador (24) de oxidcombustión de la segunda caldera el oxígeno y el combustible basado en el carbón a la segunda caldera (14, 114) en una proporción casi estequiométrica entre sí, a fin de limitar un exceso del oxígeno o del combustible basado en el carbón a una tolerancia predeterminada,
- configurándose los tubos de la segunda caldera para una exposición de energía radiante, directa, para transferir energía para producir vapor, y
- 65

siendo la primera caldera (12, 112) y la segunda caldera (14, 114) independientes entre sí y dispuestas en serie.

- 5 **2.** Caldera de oxidcombustión modular según la reivindicación 1, en la que la primera caldera (12) es una caldera principal y la segunda caldera (14) es una caldera de sobrecalentamiento, y en la que el vapor producido por la primera caldera (12) se alimenta directamente a la caldera de sobrecalentamiento (14), configurándose el sistema de caldera de oxidcombustión modular para accionar una turbina de vapor (38), y alimentándose el vapor que sale de la caldera de sobrecalentamiento (14) a la turbina de vapor (38).
- 10 **3.** Sistema de caldera de oxidcombustión modular según la reivindicación 2, que comprende además una caldera de recalentamiento (16), presentando la caldera de recalentamiento (16) una pluralidad de tubos, encontrándose la caldera de recalentamiento (16) conectada en serie con la caldera principal (12) y con la caldera de sobrecalentamiento (14) y configurada para realizar una función de transferencia de energía diferente de la función de transferencia de energía de la caldera principal (12) y de la caldera de sobrecalentamiento (14),
15 conformado los tubos de la caldera de recalentamiento (16) por lo menos una pared de tubo, y estando configurada la caldera de recalentamiento (16) para impedir sustancialmente la introducción de aire, comprendiendo la caldera de recalentamiento (16) un suministro de oxígeno (18) para suministrar oxígeno con una pureza superior al 21 por ciento, un suministro de combustible basado en el carbón (20) para suministrar un combustible basado en el carbón y por lo menos un quemador de oxidcombustión (26) de la caldera de recalentamiento, alimentando el quemador de oxidcombustión (26) el oxígeno y el combustible basado en el carbón a la caldera de recalentamiento (16) en una proporción casi estequiométrica entre sí para limitar un exceso de oxígeno o de combustible basado en el carbón a una tolerancia predeterminada, estando configurados los tubos de la caldera de recalentamiento para una exposición de energía radiante, directa, para la transferencia de energía para sobrecalentar el vapor y siendo la caldera de recalentamiento (16) independiente de la caldera principal (12) y de la caldera de sobrecalentamiento (14), alimentándose la caldera de recalentamiento (16) de un escape de la turbina de vapor (38) y estando configurada para producir vapor.
20 **4.** Sistema de caldera de oxidcombustión modular según la reivindicación 3, en el que el suministro de oxígeno de la caldera de recalentamiento (18) suministra oxígeno con una pureza aproximadamente del 85 por ciento.
25 **5.** Sistema de caldera de oxidcombustión modular según la reivindicación 3, que comprende una turbina de presión intermedia (40), alimentándose el vapor producido por la caldera de recalentamiento (16) a la turbina de presión intermedia (40).
30 **6.** Sistema de caldera de oxidcombustión modular según la reivindicación 5, que comprende una turbina de baja presión (41), en el que el vapor del escape de la turbina de presión intermedia (40) se alimenta a la turbina de baja presión (41) y en el que el vapor del escape de la turbina de baja presión (41) se alimenta a un condensador (42).
35 **7.** Sistema de caldera de oxidcombustión modular según la reivindicación 1, que comprende un economizador (28, 128) que presenta un lado del gas y un lado del agua de alimentación, en el que los gases de escape de la primera caldera (12, 112) y de la segunda caldera (14, 114) circulan hacia el lado del gas del economizador y en el que el agua de alimentación circula pasando por el economizador (28, 128) hacia la entrada de agua de alimentación (30, 130).
40 **8.** Sistema de caldera de oxidcombustión modular según la reivindicación 1, en el que la primera caldera (12, 112) y la segunda caldera (14, 114) son unas calderas de combustible sólido y en el que una parte de los gases de escape se utiliza para transportar un combustible sólido por lo menos hasta una de las calderas.
45 **9.** Sistema de caldera de oxidcombustión modular según la reivindicación 7, en el que los gases de escape que salen del lado del gas del economizador precalientan el suministro de oxígeno para los suministros de oxígenos de la primera y segunda calderas (18, 118).
50

FIG. 1

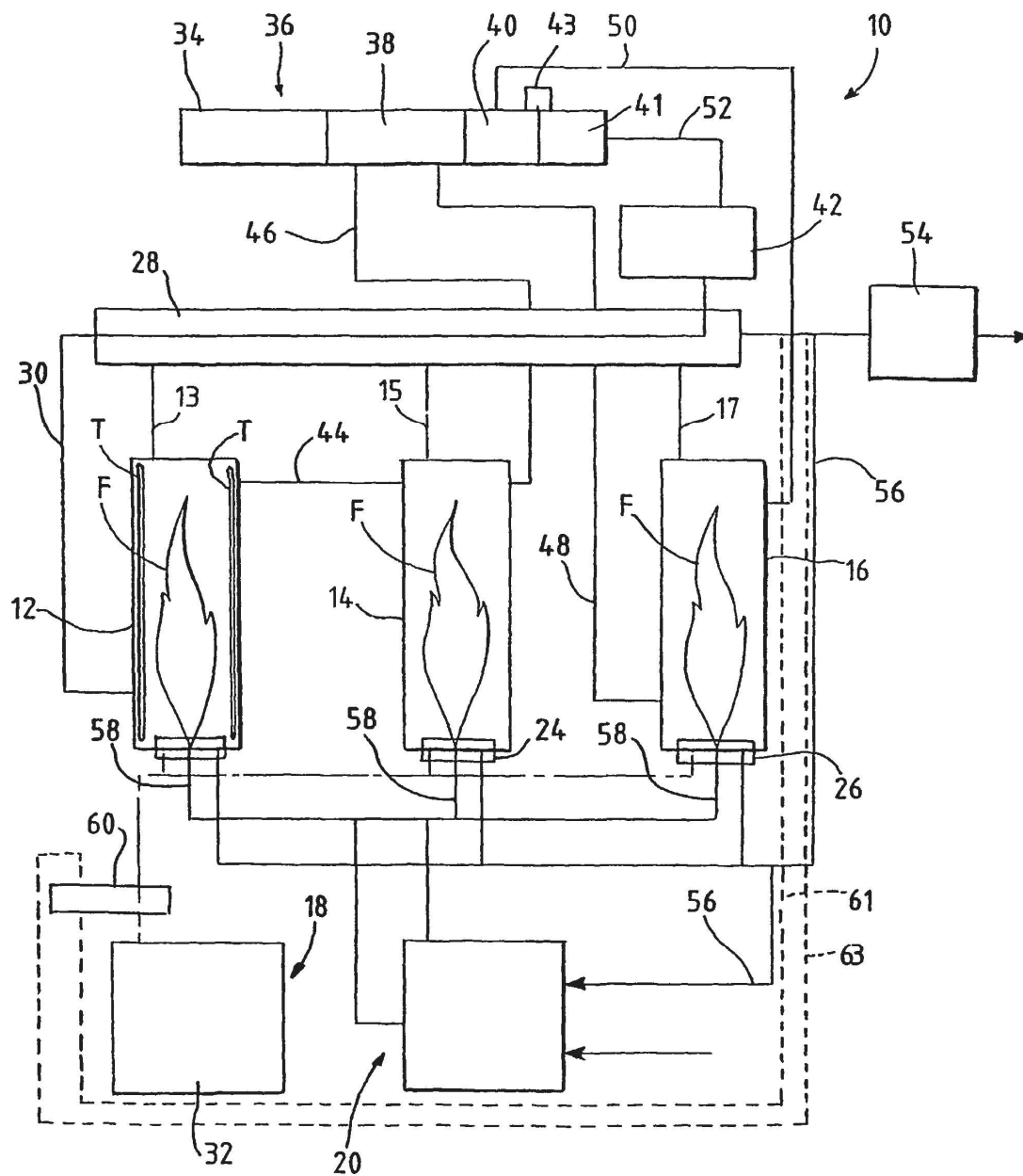


FIG. 2

