

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 602 428**

51 Int. Cl.:

**F23C 5/00** (2006.01)

**F23M 3/02** (2006.01)

**F23J 15/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.12.2006 PCT/US2006/062624**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.07.2007 WO07079381**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.12.2006 E 06846819 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.09.2016 EP 1969286**

54 Título: **Combustión de oxi-combustible con control de la contaminación integrado**

30 Prioridad:

**28.12.2005 US 306437**

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

**21.02.2017**

73 Titular/es:

**JUPITER OXYGEN CORPORATION (100.0%)  
2800 South River Road Suite 300  
Des Plaines, IL 60018, US**

72 Inventor/es:

**PATRICK, BRIAN R.;  
OCHS, THOMAS L.;  
SUMMERS, CATHY A.;  
ORYSHCHYN, DANYLO B. y  
TURNER, PAUL C.**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 602 428 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

Combustión de oxi-combustible con control de la contaminación integrado

5 **Antecedentes de la invención**

La presente invención se refiere a un sistema integrado de combustión y de control de la contaminación de tipo oxígeno combustible. Más concretamente, la presente invención se refiere a un sistema de combustión de tipo oxi-combustible que tiene control integrado de la contaminación para reducir eficazmente, a casi cero, las emisiones de las fuentes de combustión.

Los sistemas de combustión de tipo oxi-combustible son conocidos en la técnica. Dichos sistemas usan oxígeno esencialmente puro para la combustión con combustible en proporciones casi estequiométricas y a altas temperaturas de la llama para la producción de energía de alta eficiencia. Los sistemas de oxi-combustible se usan en las calderas con el fin de producir vapor para la generación de electricidad, y en los entornos industriales tales como en el reciclaje del aluminio en aluminio fundido para la refundición. También se contempla la posibilidad de usar la combustión de oxi-combustible para la incineración de residuos, así como para otras aplicaciones industriales y ambientales. La tecnología de oxi-combustible y los usos para dicha tecnología se desvelan en Gross, patentes de EE.UU. n.º 6.436.337, 6.596.220, 6.797.228 y 6.818.176.

Ventajosamente, dado que la combustión de oxi-combustible usa oxígeno en lugar de aire como fuente de oxígeno, hay una reducción concomitante del gas de combustión producido. Además, la combustión se lleva a cabo de manera que los productos de combustión del NO<sub>x</sub> son casi nulos y se deben casi exclusivamente al nitrógeno portado por el combustible. Esto es porque se usa oxígeno en lugar de aire como fuente de oxígeno, hay menor flujo másico y nada de nitrógeno que contribuya a la formación del NO<sub>x</sub>.

Aunque la combustión de tipo oxi-combustible proporciona la generación de energía de combustión eficaz y con emisiones reducidas, todavía hay una cantidad bastante sustancial de emisiones que se producen durante el proceso de combustión. Además, dado que el volumen de gas es menor, debido al uso de oxígeno en lugar de aire, la concentración de otros contaminantes es mayor. Por ejemplo, la masa de SO<sub>x</sub> y de partículas no variará, no obstante, la concentración aumentará debido al reducido volumen global.

Los sistemas de control o eliminación de la contaminación son conocidos en la técnica. Estos sistemas pueden, por ejemplo, usar un contacto directo entre los gases de combustión y los equipos del proceso aguas abajo, tales como precipitadores y depuradores para eliminar las partículas, los compuestos que contienen azufre y los compuestos que contienen mercurio. Otros sistemas usan el decapado por compresión en serie de los contaminantes para eliminar los contaminantes y recuperar energía de la corriente de gas de combustión. Dicho sistema se desvela en la Ochs, patente de EE.UU. n.º 6.898.936. A la luz del documento US 2004/237909 A1, se sabe que los gases de escape que salen del depurador se introducen en una zona de refrigeración y, después, se dividen en una proporción principal, que se mezcla con O<sub>2</sub> y que entra en los conductos del sistema de cebado de gases (GPS), y en una parte menor que se carga en un compresor.

Por consiguiente, existe la necesidad de un sistema de combustión que produzca un volumen de gases de combustión bajo con la eliminación integrada de los contaminantes. De manera deseable, dicho sistema aprovecha los sistemas de combustión y de control de contaminantes conocidos para producir de manera eficaz energía de combustión en combinación con una producción reducida de contaminantes y la captura del resto de contaminantes que se producen.

50 **Breve resumen de la invención**

Un sistema integrado de combustión y de extracción de contaminantes de tipo oxi-combustible incluye las características de la reivindicación 3. Reduce el volumen de gases de combustión, elimina el NO<sub>x</sub> y captura los gases condensables. El sistema incluye un sistema de combustión que tiene un horno con al menos un quemador que está configurado para evitar esencialmente la entrada de aire. Un suministro de oxígeno proporciona oxígeno con una pureza predeterminada superior al 21 por ciento, y un suministro de combustible a base de carbono proporciona un combustible a base de carbono. El oxígeno y el combustible se introducen en el horno en una proporción controlada. La combustión se controla para producir una temperatura de la llama superior a 1.640 °C (3000 °F) y una corriente de gases de combustión que contiene CO<sub>2</sub> y otros gases, y que está esencialmente exenta de compuestos gaseosos producidos por combustión que contienen nitrógeno no portado por el combustible.

El sistema de extracción de contaminantes incluye al menos un intercambiador de calor de contacto directo para llevar el gas de combustión en contacto directo con un líquido de refrigeración, preferentemente agua, para producir una corriente de líquido cargada de contaminantes y una corriente de gases de combustión separada. El sistema incluye al menos un compresor para recibir y comprimir la corriente de gases de combustión separada.

65

Preferentemente, el sistema incluye una serie de intercambiadores de calor y compresores para enfriar y comprimir el gas de combustión. De acuerdo con la invención, el gas de combustión se enfría y se comprime, y la corriente de gases de combustión separada se separa en gases no condensables y gases condensables. Los gases condensables, en gran parte CO<sub>2</sub>, se condensan en un estado esencialmente líquido y se secuestran. El CO<sub>2</sub> se puede volver a hacer circular, en parte, para transportar un combustible sólido tal como carbón al horno.

Un método de combustión de oxi-combustible integrado con extracción de contaminantes de acuerdo con la invención incluye las características de la reivindicación 1. El método incluye proporcionar un horno que tenga al menos un quemador, y que está configurado para impedir esencialmente la introducción de aire, proporcionando un suministro de oxígeno para suministrar oxígeno a una pureza predeterminada superior al 21 por ciento y proporcionar un suministro de combustible a base de carbono para suministrar un combustible a base de carbono.

Cualquiera o ambos del combustible a base de oxígeno o el combustible a base de carbono están limitados a menos del 5 por ciento en la proporción estequiométrica, y se controla la combustión para producir una temperatura de la llama en un exceso de 1.650 °C (3000 °F) y una corriente de gas de combustión que contiene CO<sub>2</sub> y otros gases, y que está esencialmente exenta de compuestos gaseosos producidos por combustión que contienen nitrógeno no portado por el combustible.

Se proporciona el sistema de extracción de contaminantes, que incluye un intercambiador de calor de contacto directo en disposición en serie con un compresor. El gas de combustión se pone en contacto directo con un líquido de refrigeración, preferentemente con agua, en el intercambiador de calor para producir una corriente de líquido cargada de contaminantes y una corriente de gas de combustión separada. La corriente de gas de combustión separada se introduce en el compresor para comprimir la corriente de gas de combustión separada.

En un método preferido, se llevan a cabo las etapas de refrigeración de la corriente de gas de combustión separada y de compresión de la corriente de gas de combustión separada enfriada.

Estas y otras características y ventajas de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, junto con las reivindicaciones adjuntas.

#### **Breve descripción de las diversas vistas de las figuras**

Los beneficios y las ventajas de la presente invención serán más evidentes para los expertos habituales en la materia relevante después de revisar la siguiente descripción detallada y las figuras adjuntas, en las que:

La FIG. 1 es un diagrama de flujo de un sistema de combustión de oxi-combustible y de extracción de contaminantes integrado que se montó para el ensayo de los principios de la presente invención.

#### **Descripción detallada de la invención**

Aunque la presente invención es susceptible de realizarse de diversas formas, en la figura, se muestra, y se describirá de aquí en adelante una realización actualmente preferida, entendiéndose que la presente divulgación ha de considerarse una ejemplificación de la invención y no pretende limitar la invención a la realización ilustrada en concreto.

Como se trata en las patentes anteriormente mencionadas concedidas a Gross, un sistema de combustión de oxi-combustible usa oxígeno esencialmente puro, en combinación con una fuente de combustible para producir calor, mediante la producción de la llama (es decir, la combustión), de una manera eficaz, no adversa para el medio ambiente. Se puede usar oxígeno, que es suministrado por un agente oxidante, a concentraciones del aproximadamente 85 por ciento al aproximadamente 99+ por ciento, sin embargo, es preferible tener la concentración de oxígeno (es decir, la pureza de suministro de oxígeno) lo más alta posible.

En dicho sistema, el oxígeno de alta pureza se carga, junto con la fuente de combustible en proporciones estequiométricas, en un quemador de un horno. Se encienden el oxígeno y el combustible para liberar la energía almacenada en el combustible. Para los fines de la presente descripción, la referencia al horno se ha de interpretar en sentido amplio para incluir cualquier generador térmico industrial o comercial que queme combustibles fósiles (a base de carbono). Por ejemplo, se contemplan las calderas acuatubulares para la generación de energía eléctrica, así como los hornos de fuego directo para aplicaciones industriales para su uso en el sistema de combustión de oxi-combustible. En un sistema preferido, la concentración de oxígeno o la pureza es tan alta como sea posible para reducir la producción de gases de efecto invernadero.

Se contempla que se puede usar esencialmente cualquier fuente de combustible. Por ejemplo, se puede cargar oxígeno junto con gas natural para la combustión en un horno. Otras fuentes de combustible contempladas incluyen aceites incluyendo aceites refinados, así como aceites usados, madera, carbón, polvo de carbón, desperdicios (desechos de basura), desechos y productos animales, y similares. Los expertos en la materia reconocerán la miríada de fuentes de combustible que se pueden usar con el presente sistema de oxi-combustible.

- 5 En comparación con los procesos de combustión convencionales que usan aire como agente oxidante para suministrar oxígeno, en lugar de oxígeno esencialmente puro, para la combustión, el sistema de oxi-combustible tiene un caudal de flujo general enormemente reducido. El componente de oxígeno del aire (aproximadamente el 21 por ciento) se usa en la combustión, mientras que el resto de componentes (esencialmente, nitrógeno) se calientan en y se agotan desde el horno. Por otra parte, el presente proceso usa oxígeno en una proporción estequiométrica con respecto al combustible. Es decir, solo se carga suficiente oxígeno de forma proporcional al combustible para asegurar la combustión completa del combustible. Por lo tanto, el oxígeno no se introduce en "exceso" en el sistema de combustión.
- 10 Se logran muchas ventajas y beneficios usando el sistema de combustión de oxi-combustible. Aparte de una mayor eficiencia (o, por el contrario, de una reducción del consumo de combustible para producir una cantidad equivalente de energía), debido a la entrada reducida de gas, hay una reducción espectacular del volumen de gas de combustión. Basándose en la diferencia entre el uso de aire, que es del 21 por ciento de oxígeno, y de oxígeno puro, el caudal volumétrico es de aproximadamente una quinta parte (1/5) usando un sistema de combustión de oxi-combustible, en comparación con un sistema de combustión de suministro de aire convencional. Además, debido a que no se absorbe energía por parte de los materiales no relacionados con la combustión (por ejemplo, el oxígeno o el nitrógeno en exceso), hay más energía disponible para el proceso subyacente.
- 15 Ventajosamente, el volumen de gas reducido (y, por lo tanto, el volumen de gas de combustión) también aumenta el tiempo de permanencia de los gases en el horno o en la caldera para proporcionar una mayor oportunidad para la transferencia de calor.
- 20 En tanto en cuanto el volumen global de gas de combustión se reduce enormemente, ahora se puede usar el procesamiento altamente eficiente aguas abajo que, de otro modo, no estaría disponible o no sería práctico, en entornos industriales y de generación de energía a gran escala.
- 25 Por consiguiente, la presente invención usa la combustión de oxi-combustible junto con la extracción de múltiples contaminantes a través de la condensación integrada de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> con el arrastre de las partículas, y la disolución y la condensación de otros contaminantes incluyendo el SO<sub>2</sub>. Dichos sistema y método de extracción de contaminantes se desvelan en la patente anteriormente mencionada concedida a Ochs *et al.*
- 30 La consolidación de la extracción de los contaminantes en un solo proceso tiene el potencial de reducir los costes y de reducir los requisitos de energía para el funcionamiento de dicho sistema. Puede haber productos no condensables de la combustión, incluyendo el oxígeno y el argón, presentes en los productos de combustión. Aunque el sistema de combustión de oxi-combustible se hace funcionar en o muy cerca de la estequiometría (preferentemente, en el 5 por ciento de la estequiometría), puede haber oxígeno en el gas de combustión. El argón puede proceder del proceso de separación del aire (que queda en el oxígeno producido). También puede haber cantidades relativamente bajas de nitrógeno presentes como portadas en el combustible o como fuga en el aire en el equipo de proceso subyacente.
- 35 En el proceso de combustión, se producen vapores condensables tales como H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, y aunque en una cantidad mínima, NO<sub>x</sub>, y son las dianas para la condensación. Cuando, en la presente invención, se hace referencia a los productos de combustión, se supone que están presentes estos vapores condensables y gases no condensables, así como partículas y otros contaminantes.
- 40 La parte de control de contaminantes del sistema también puede realizar la reparación y la recuperación de energía a partir de los productos de combustión de una planta de energía de combustible fósil que tenga una cámara de combustión de combustibles fósiles (por ejemplo, una caldera, un horno, una turbina de combustión o similares), un compresor, una turbina, un intercambiador de calor y una fuente de oxígeno (que podría ser una unidad de separación de aire). Los expertos en la materia entenderán y apreciarán que la referencia a, por ejemplo, un compresor, incluye más de un compresor.
- 45 Los productos de combustión de la planta de energía de combustibles fósiles pueden incluir gases no condensables tales como el oxígeno y el argón; vapores condensables tales como vapor de agua, y gases ácidos tales como SO<sub>x</sub> y (de nuevo, aunque en cantidades mínimas, NO<sub>x</sub>); y CO<sub>2</sub> y contaminantes tales como partículas y mercurio. El proceso de extracción y secuestro de los contaminantes incluye el cambio de la temperatura y/o la presión de los productos de combustión mediante el enfriamiento y/o la compresión de los productos de combustión a una combinación de temperatura/presión por debajo del punto de rocío de algunos de o todos los vapores condensables.
- 50 Este proceso se lleva a cabo para condensar el líquido que tiene algunos gases ácidos disueltos y/o arrastrados en el mismo y/o que condensa directamente los gases ácidos (tales como CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>) de los productos de combustión. Se lleva a cabo además para disolver algunos de los contaminantes, recuperándose de este modo los productos de combustión. Disolver en el contexto de la presente divulgación significa arrastrar y/o disolver.
- 55 Dicho proceso se repite a través de una o más etapas de enfriamiento y/o compresión con la condensación y separación de los vapores condensables y de los gases ácidos. También se puede realizar la recuperación del calor
- 60
- 65

en forma bien de calor latente y/o de calor sensible. La condensación reduce la energía necesaria para la compresión continuada mediante la reducción de la masa y de la temperatura, hasta que el gas de combustión parcialmente reparado es bajo en CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Tras ello, el resto de gases de combustión se envía a un tubo de escape.

5 El combustible fósil puede ser cualquiera de los citados anteriormente. En ciertos casos, los contaminantes incluirán partículas fina y/o metales pesados tales como el mercurio y otros metales tales como el vanadio.

10 La presente invención también se refiere a técnicas de ahorro de energía durante la recirculación del gas de combustión y la extracción de los contaminantes, de manera que los sistemas de generación de energía pueden mejorar esencialmente su eficiencia. Por ejemplo, en el caso de un sistema de carbón pulverizado (PC) subcrítico sin recuperación de energía, el rendimiento puede caer del 38,3 % de eficiencia térmica (para un sistema moderno sin eliminación del CO<sub>2</sub>) hasta un mínimo del 20,0 % (para el sistema con eliminación del CO<sub>2</sub> y sin recuperación de energía). Un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención se puede realizar al 29,6 % (con eliminación del CO<sub>2</sub>) si se incluye la recuperación de energía en el diseño del modelo. Se prevé que se lograrán las mejores eficiencias. La presente combustión de oxi-combustible con control integrado de la contaminación es aplicable a la nueva construcción, repotenciación y modernizaciones.

20 En un sistema ilustrativo que usa el presente proceso de oxi-combustible e IPR, se prevén los gases de combustión descritos en la tabla que se presenta a continuación. Los gases de combustión saldrán de la región de combustión o de la zona del horno, donde pasarán a través de un ciclón/dispositivo de envoltura con bolsa o precipitador electrostático para la eliminación de las partículas gruesas. El gas de combustión pasa luego a través de un intercambiador de calor de contacto directo (DCHX). En esta unidad, los gases de combustión entran en contacto con un líquido más frío. Esta etapa de enfriamiento permite que los vapores se condensen. La etapa también permite la disolución de los contaminantes solubles y de las partículas finas arrastradas.

25 Los gases que salen de la primera columna están ahora más limpios y esencialmente exentos de contaminantes. Estos gases se comprimen y pueden continuar a un DCHX sucesivo y una etapa de compresión. Se usa una etapa final de compresión y de intercambio térmico para separar el oxígeno, el argón y el nitrógeno (mínimo) del CO<sub>2</sub>. También se usa una trampa de mercurio para eliminar el mercurio gaseoso antes de su liberación a la atmósfera.

30 La siguiente tabla muestra los resultados esperados en forma de una comparación del presente sistema de combustión de oxi-combustible e IPR con un proceso de combustión de aire convencional. Como muestran los resultados, el volumen de gases de combustión al principio es menor en el sistema de combustión de oxi-combustible en virtud de la eliminación del nitrógeno de la corriente de entrada. En el presente sistema, el IPR sirve para reducir aún más el caudal y el flujo de gas a través de sucesivas etapas de compresión y de enfriamiento. A medida que van progresando los gases de combustión a través de los procesos combinados, el producto final es CO<sub>2</sub> capturado para el secuestro.

40 TABLA 1 - COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES Y DE LAS COMPOSICIONES DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN DE OXI-COMBUSTIBLE TRATADOS CON IPR CON LOS DE UNA CALDERA DE CARBÓN

	Convencional tras economizador	Escape de oxi-combustible	Tras la 1ª combustión	Tras la 2ª combustión	Tras la 3ª combustión
Flujo de gas (kg/h)	1.716.395	686.985	364.367	354.854	353.630
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1.932.442	826.995	72.623	15.944	661
Presión de entrada (MPa absolutos (psig))	0,10 (14,62)	0,11(15,51)	0,43 (62)	1,82 (264)	10,34 (1.500)
Temp. de entrada (°C; (°F))	132 (270)	427 (800)	172 (342)	162 (323)	31,2 (88,2)
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	0,8882	0,8307	5,02	22,26	534,61
H <sub>2</sub> O (fracción)	0,0832	0,33222	0,0695	0,00994	0,0004
Ar (fracción)	0,0088	0,01152	0,0163	0,01730	0,0175
CO <sub>2</sub> (fracción)	0,1368	0,61309	0,8662	0,92161	0,9305
N <sub>2</sub> (fracción)	0,7342	0,00904	0,0128	0,01359	0,0137
O <sub>2</sub> (fracción)	0,0350	0,02499	0,0353	0,03755	0,0379

SO <sub>2</sub> (fracción)	0,0020	0,00913	0,0000	0,00000	0,0000
----------------------------	--------	---------	--------	---------	--------

Como se puede ver a partir de los datos de la Tabla 1, el volumen de los productos de combustión se ha reducido de manera significativa como resultado de las sucesivas etapas de compresión y de enfriamiento. El resultado es una captura de CO<sub>2</sub> y el posterior secuestro, que es el objetivo final. El CO<sub>2</sub> resultante se puede almacenar o usar en, por ejemplo, una aplicación comercial o industrial.

Se construyó un sistema de ensayo 10 para determinar los resultados reales con respecto a la combustión de oxí-combustible junto con el secuestro de CO<sub>2</sub> y la extracción de contaminantes. En la FIG. 1, se ilustra un diagrama esquemático del sistema de ensayo. El sistema 10 incluye una cámara de combustión de oxígeno 12 que tiene una alimentación de carbón 14 (con CO<sub>2</sub> como gas portador 16) y una alimentación de oxígeno 18. El carbón se alimentó a una velocidad de 12,25 kg/h (27 libras por hora (pph)), portado por el CO<sub>2</sub> a una velocidad de 18,14 kg/h (40 pph) y oxígeno a una velocidad de 23,59 kg/h (52 pph). Dado que el sistema 10 era un sistema de ensayo en lugar de un sistema comercial o industrial (por ejemplo, una caldera comercial para la generación eléctrica), la cámara de combustión 12 se enfrió con agua de refrigeración para servir como un sumidero de energía/calor.

Los gases 10 de la cámara de combustión fluyeron a un ciclón/dispositivo de envoltura con bolsa 22 en el que la ceniza (como en 24) se retiró a una velocidad de aproximadamente 0,45 kg/h (1 pph). Tras la eliminación de la ceniza 24, se mantuvieron aproximadamente 53,52 kg/h (118 pph) de gases de combustión en la corriente de gas de combustión 26 a una temperatura de salida que era inferior a aproximadamente 149 °C (300 °F).

El resto de gases de combustión 26 se cargaron luego a un intercambiador de calor 28 de contacto directo (el primer intercambiador de calor). Se pulverizó directamente agua (indicada en 30) en la corriente de gas de combustión caliente 26. El agua de refrigeración condensó parte del vapor de agua caliente y retiró aún más los contaminantes solubles y la partícula arrastrada (véase la descarga en 32). Se condensaron aproximadamente 5,90 kg/h (13 pph) de vapor de agua en el primer intercambiador de calor 28 - los gases de combustión que permanecieron 34 estaban presentes a una velocidad de aproximadamente 47,63 kg/h (105 pph).

Tras salir del primer intercambiador de calor 28, el resto de gases 34 se cargó en un primer compresor de baja presión 36, (a una presión de entrada de aproximadamente la atmosférica), y salieron del compresor 36 a una presión de calibre aproximadamente 1,21 MPa (175 libras por pulgada cuadrada (psig)). Como resultado de la etapa de compresión, la temperatura de los gases 38 aumentó. El resto de gases de combustión se cargó después en un segundo intercambiador de calor 40 de contacto directo en el que se pusieron en contacto directo con una corriente de agua de refrigeración como en 42. La corriente de salida 44 liberó aproximadamente 1,81 kg/h (4 pph) más de agua y, por lo tanto, resultó tener un caudal de gas de combustión/de escape de salida 44 de aproximadamente 45,81 kg/h (101 pph).

Tras el segundo intercambiador de calor 40, los gases 44 se comprimieron más hasta un calibre de aproximadamente 1,72 MPa (250 psig) en un segundo compresor 46. Aunque la segunda etapa de compresión produjo un aumento de la temperatura, se determinó durante el ensayo que no era necesaria una tercera etapa de intercambio térmico. Se apreciará que en un funcionamiento a mayor escala, sin embargo, pueden ser necesarias dichas etapas de intercambio térmico/refrigeración adicionales.

A continuación, se llevó a cabo una tercera etapa de compresión, en un tercer compresor 48, en el resto de gases de combustión 50 para aumentar la presión de la corriente de gas 52 de salida hasta un calibre de aproximadamente 4,69 MPa (680 psig). Una vez más, se determinó que aunque la temperatura de los gases aumentó, no fue necesario el enfriamiento activo o directo en tanto en cuanto las pérdidas al ambiente a través del sistema de tuberías portador de los gases fueron suficientes para reducir la temperatura de los gases.

Se llevó a cabo una compresión final, en un compresor final 52, de los gases para aumentar la presión de los gases hasta aproximadamente 13,79 MPa (2.000 psig). Tras la etapa de compresión final, se cargó el resto de los gases 56 en un intercambiador de calor 58, el intercambiador de calor final, en el que la temperatura de la corriente 56 se redujo por debajo del punto de rocío de los gases y, como resultado de ello, comenzó la condensación de los gases. El condensado (como en 60), que era principalmente CO<sub>2</sub> licuado (a una velocidad de 36,29 kg/h (80 pph), se extrajo y se secuestró. En el presente caso, el CO<sub>2</sub> se embotelló y retuvo.

Los gases no condensables (como en 62), que incluían una pequeña cantidad de CO<sub>2</sub>, se pasaron a través de un filtro de mercurio 64 y, posteriormente, se mezclaron en un acumulador 66. El acumulador 66 proporcionó flexibilidad en el control del caudal del sistema. Los gases 68 del acumulador 66 se descargaron a la atmósfera. El caudal desde el acumulador 66, normalizado con respecto a un estado estacionario de todo el sistema, fue de aproximadamente 9,53 kg/h (21 pph).

Los expertos en la materia apreciarán que el sistema ilustrativo 10 anteriormente presentado tenía fines de ensayo y de verificación, y que el número y la posición de las etapas de compresión y de enfriamiento se pueden cambiar, y probablemente se cambiarán, para adaptarse a un determinado diseño y/o resultado deseado. Además, también se

pueden incorporar varios puntos de inyección química 70, filtros 72, derivaciones 74 y similares al sistema 10 y, por consiguiente, la totalidad de dichos cambios pertenece al alcance y al espíritu de la presente invención.

5 El ahorro de combustible proyectado y otros aumentos de la eficiencia del presente sistema de combustión de oxi-combustible con IPR son tales que el costo de este proceso combinado se prevé que sea competitivo con las tecnologías de combustión actuales. Además, la perspectiva de nuevas exigencias reguladoras está haciendo que los diseñadores de plantas de energía vuelvan a examinar las metodologías convencionales usadas para eliminar los contaminantes, lo que solo serviría para mejorar la economía subyacente a dicha metodología.

10 Se apreciará que el uso de sistemas de combustión de oxi-combustible con IPR en muchas aplicaciones industriales y de generación de energía puede proporcionar el consumo reducido de combustible con una producción de energía o generación de calor equivalentes. El consumo reducido de combustible, junto con el uso eficiente del combustible (es decir, una combustión eficiente) y el IPR integrado, proporciona una reducción significativa de los costes operativos, y la reducción y el secuestro de las emisiones de otros gases de escape/combustión.

15 Debido a la variedad de combustibles industriales que se pueden usar, tales como el carbón, el gas natural, diversos aceites (aceite de calentamiento y de desecho), madera y otros residuos reciclados, junto con los diversos métodos, actuales y propuestos, de generación de oxígeno, los expertos en la materia reconocerán el enorme potencial, con respecto a la aplicabilidad comercial e industrial, del presente sistema de combustión. La selección del combustible se puede realizar basándose en la disponibilidad, los factores económicos y los problemas ambientales. Por lo tanto, no se especifica un tipo de combustible; más bien una gran cantidad, y de hecho, todos los combustibles a base de carbono son compatibles con el sistema actual. Por consiguiente, las etapas de eliminación de material particulado del sistema de IPR integrado pueden variar.

20 En cuanto a la fuente de oxígeno para los quemadores de oxi-combustible (sistema de combustión), hay muchas tecnologías aceptables para la producción de oxígeno a niveles de alta pureza, tales como la criogénica, los sistemas de membrana, las unidades de absorción, la hidrólisis y similares. La totalidad de dichos usos de combustible y de suministros de oxígeno están dentro del alcance de la presente invención.

25 En general, el uso de combustión de tipo oxígeno-combustible frente a los sistemas, actuales o tradicionales, de combustión de aire ofrece ventajas significativas en muchos campos. La primera es la capacidad para funcionar a niveles estequiométricos exactos sin el obstáculo de nitrógeno en el sobre de combustión. Esto permite una mayor eficiencia del uso de combustible, al tiempo que reduce en gran medida los niveles de NO<sub>x</sub> en la aplicación de combustión. De manera significativa, se requiere menos combustible para alcanzar los mismos niveles de producción de energía, lo que a su vez, reduce los costes operativos globales. En el uso de menos combustible para la obtención de la misma producción de energía, se produce una reducción natural de las emisiones. El ahorro de combustible y la disminución de las emisiones no son más que solo dos de los beneficios proporcionados por el sistema actual. En combinación con el sistema de extracción de contaminantes integrado (IPR), el actual sistema de IPR de oxi-combustible proporciona niveles de eficiencia y control de la contaminación mucho mayores que los sistemas conocidos.

30 Se prevé que las cámaras de combustión (por ejemplo, las calderas) se diseñarán en torno a sistemas de combustión para combustible utilizando oxígeno con el IPR integrado para sacar el máximo provecho de los beneficios de estos sistemas. También se anticipa que los ajustes o las modificaciones de los equipos existentes también proporcionarán muchos de estos beneficios tanto para el operador (por ejemplo, utilidad) como para el medio ambiente.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de combustión y de extracción de contaminantes integrado que comprende las etapas de:

5 proporcionar un horno que tiene al menos un quemador y que está configurado para evitar esencialmente la introducción de aire;  
 proporcionar un suministro de oxígeno (15) para suministrar oxígeno a dicho al menos un quemador a una pureza predeterminada superior al 21 por ciento;  
 proporcionar un suministro de combustible a base de carbono (14) para suministrar un combustible a base de carbono a dicho al menos un quemador;  
 10 limitar un exceso bien del oxígeno o del combustible a base de carbono hasta menos del 5 por ciento más allá de la proporción estequiométrica;  
 controlar la combustión del combustible a base de carbono (14) para producir una temperatura de la llama en un exceso de 1650 °C (3000 grados F) y una corriente de gas de combustión que contiene CO<sub>2</sub> y otros gases, y que está sustancialmente exenta de compuestos gaseosos producidos por combustión que contienen nitrógeno no portado por el combustible;  
 15 dirigir dicha corriente de gas de combustión (26) a un sistema de extracción de contaminantes integrado que incluye al menos un intercambiador de calor de contacto directo (28, 40) dispuesto en serie con al menos un compresor (36, 46, 48, 54);  
 20 extraer múltiples contaminantes, incluyendo contaminantes solubles y partículas atrapadas, así como vapores condensables en un solo proceso previo a la descarga de dicho gas de combustión en la atmósfera mediante:

poner en contacto directo el gas de combustión con un líquido de refrigeración (30) en el al menos un intercambiador de calor (28, 40) para producir una corriente de líquido cargada de contaminantes (32) que incluye contaminantes solubles y partículas atrapadas y una corriente de gas de combustión separada;  
 25 descargar (32, 74) dicho líquido cargado de contaminantes;  
 tras la salida del al menos un intercambiador de calor de contacto directo (28, 40), cargar la corriente de gas de combustión separada (34, 44) en el al menos un compresor (36, 46, 48, 54) para comprimir la corriente de gas de combustión separada con el fin de producir vapores condensables y gases no condensables;  
 30 condensar dichos vapores condensables por medio de un condensador (58);  
 secuestrar y extraer los vapores condensados;  
 filtrar dichos gases no condensables por medio de un filtro de mercurio (64) y;  
 acumular los gases no condensables del filtro de mercurio (64) en un acumulador (66); y  
 35 liberar los gases del acumulador (66) a la atmósfera.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye las etapas de enfriar (42) la corriente de gas de combustión separada (38) y comprimir (46) la corriente de gas de combustión separada enfriada (44).

3. Un sistema de combustión de tipo oxígeno-combustible y de extracción de contaminantes integrado que comprende:

un sistema de combustión que incluye un horno que tiene al menos un quemador y que está configurado para evitar esencialmente la introducción de aire;  
 un suministro de oxígeno (18) para suministrar oxígeno a dicho al menos un quemador a una pureza predeterminada superior al 21 por ciento;  
 45 un suministro de combustible a base de carbono (14) para suministrar un combustible a base de carbono a dicho al menos un quemador;  
 medios para cargar el oxígeno y el combustible a base de carbono en el horno en una proporción controlada entre sí;  
 50 medios para controlar la combustión del combustible a base de carbono con el fin de producir una temperatura de la llama deseada y una corriente de gas de combustión que contenga CO<sub>2</sub> y otros gases, y que esté esencialmente exenta de compuestos gaseosos producidos por combustión que contengan nitrógeno no portado por el combustible; y  
 un sistema de extracción de contaminantes para extraer múltiples contaminantes en un solo proceso, incluyendo el sistema de extracción de contaminantes:

al menos un intercambiador de calor de contacto directo (28, 40) para poner en contacto directo el gas de combustión (26) con un líquido de refrigeración para producir una corriente de líquido cargada de contaminantes (32) que incluya contaminantes solubles y partículas atrapadas (32) y una corriente de gas de combustión separada (34, 44), configurado para descargar dicha corriente de líquido cargada de contaminantes (32);  
 60 al menos un compresor (36, 46, 48, 52, 54) para comprimir la corriente de gas de combustión separada (34, 44) y producir vapores condensables (60) y gases no condensables (62),  
 un condensador (58) para condensar los vapores condensables (60) de dicha corriente de gas de combustión separada (34, 44),  
 65 medios para extraer y secuestrar dichos vapores condensables (60),

un filtro de mercurio (64) para filtrar los gases no condensables (62) de dicha corriente de gas de combustión separada (34, 44) una vez eliminados dichos vapores condensables (60), un acumulador (66) para recibir los gases no condensables (62) filtrados purgados por dicho filtro de mercurio (64) y liberar los gases a la atmósfera.

- 5
4. El sistema integrado de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el intercambiador de calor (28, 40) se usa en una etapa de condensación de gas a líquido para producir una corriente de condensado y en el que hay más de una etapa de condensación.
- 10
5. El sistema integrado de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el combustible a base de carbono (14) es un combustible sólido.
6. El sistema integrado de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el combustible sólido (14) es carbón.
- 15
7. El sistema integrado de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el medio de control está configurado para controlar la combustión del combustible a base de carbono (14) con el fin de producir una temperatura de la llama en exceso de 1650 °C (3000 grados F).

