

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 553 642**

51 Int. Cl.:

F23L 7/00 (2006.01)

F23G 7/06 (2006.01)

F23G 7/07 (2006.01)

F23C 13/00 (2006.01)

F23C 99/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2012 E 12162490 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2015 EP 2644994**

54 Título: **Métodos y aparatos para la oxidación de residuos no quemados**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.12.2015

73 Titular/es:

ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

AJHAR, MARC;
GRUBBSTRÖM, JÖRGEN y
BEAL, CORINNE

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 553 642 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

Métodos y aparatos para la oxidación de residuos no quemados

CAMPO

5 La presente descripción se refiere a la oxidación de residuos no quemados. Más particularmente, se refiere a un método y a un aparato eficaz para oxidar residuos no quemados y reducir los costes de consumo de energía y de capital.

ANTECEDENTES

10 Determinados procesos, tales como la combustión de combustibles con contenido en carbono, producen emisiones gaseosas de dióxido de carbono (CO₂). El CO₂ ha sido identificado como un gas de "efecto invernadero", que parece contribuir al calentamiento global. Debido a su estatus como un gas de "efecto invernadero", se han desarrollado tecnologías para evitar que grandes cantidades de CO₂ sean liberadas a la atmósfera por el uso de combustibles fósiles.

15 La combustión con bucle químico (CLC - siglas en inglés) es una tecnología de combustión que proporciona una captura y un procesamiento de CO₂ eficientes. La CLC proporciona una separación inherente de CO₂ producido durante la oxidación de combustibles con contenido en carbono, creando así una corriente más concentrada de CO₂. Al aumentar la concentración de CO₂ como parte de la tecnología de combustión, los gastos de energía y de capital requeridos para separar el CO₂ después de la combustión para la captura y el almacenamiento se reducen sustancialmente.

20 La tecnología CLC implica generalmente el uso de un portador de oxígeno, que transfiere el oxígeno del aire a un combustible, evitando con ello el contacto directo entre el aire y el combustible. En el proceso se utilizan dos reactores interconectados, típicamente lechos fluidos: un reactor de combustible y un reactor de aire. El combustible es introducido en el reactor de combustible, que recibe además el portador de oxígeno que es típicamente un óxido metálico. Una corriente de gas de combustión de salida del reactor de combustible contiene principalmente productos de oxidación del combustible, H₂O y CO₂, y portadores de oxígeno reducidos. Una corriente que consiste en una alta concentración de CO₂ puede entonces obtenerse por condensación de H₂O contenido en la corriente de gas de combustión del reactor de combustible después de haber separado portadores de oxígeno reducidos de la corriente de gas de combustión de salida.

25 Un portador de oxígeno reducido formado como parte de la reacción de oxidación del combustible se transfiere al reactor de aire en donde se vuelve a oxidar en presencia de aire. Una corriente de gas de combustión que sale del reactor de aire consiste principalmente en componentes no reactivos del aire tales como nitrógeno, portadores de oxígeno oxidados y el oxígeno no utilizado. Portadores de oxígeno oxidados se pueden separar de la corriente de gas de combustión del reactor de aire para la transmisión al reactor de combustible. Mediante el uso de portadores de oxígeno para suministrar oxígeno al reactor de combustible, los componentes no reactivos del aire son expulsados del sistema a medida que salen del reactor de aire y nunca se introducen en el reactor de combustible. Por lo tanto, los productos de combustión, principalmente CO₂ y H₂O, ya no se diluyen por los componentes no reactivos del aire en la corriente de gas de combustión del reactor de combustible.

30 Dependiendo de las condiciones y de los materiales utilizados, la combustión del combustible en el reactor de combustible puede ser incompleta. La combustión incompleta puede provocar que residuos no quemados tales como hidrógeno, metano y monóxido de carbono, estén presentes en la corriente del gas de combustión del reactor de combustible. Con el fin de reducir o eliminar los residuos no quemados de la corriente de gas de combustión, los residuos no quemados típicamente se oxidan en una unidad de post-combustión después de la combustión en el reactor de combustible. Residuos no quemados también pueden estar presentes en otras corrientes de gas de combustión de diversas aplicaciones industriales y/o de combustión.

35 Una de las dificultades con la oxidación de residuos no quemados, tales como en los sistemas de CLC, es que la unidad de post combustión requiere gas oxígeno puro o enriquecido. Si el aire se añadió a la unidad de post-combustión para la oxidación, los beneficios de la CLC se perderían debido a que los constituyentes no reactivos del aire serían añadidos a la corriente de gas de combustión del reactor de combustible antes de transmitir la corriente de gas de combustión a una unidad de procesamiento de gas. Este requisito de proporcionar gas puro o

enriquecido con oxígeno a unidades de post-combustión se aplica igualmente a otros procesos y/o tecnologías de combustión industriales que requieren una oxidación de postcombustión en un entorno enriquecido con oxígeno (por ejemplo, una planta alimentada con oxígeno). Por consiguiente, la oxidación de post-combustión requiere la adición de gas puro o enriquecido con oxígeno, lo cual es caro tanto en términos de consumo de energía como de costos de capital. Además de ello, dependiendo de la cantidad de residuos no quemados que requieren una oxidación, la combustión con oxígeno puro o enriquecido puede conducir a temperaturas muy elevadas, lo cual requiere una refrigeración. Por consiguiente, existe una necesidad de un método y aparato mejorados para el tratamiento más eficiente de los residuos no quemados. El documento US 5.509.362 describe un método y un aparato de acuerdo con el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 8.

10 SUMARIO

De acuerdo con los aspectos ilustrados en esta memoria se proporciona un método de oxidar residuos no quemados en un sistema de combustión con bucle químico de acuerdo con la reivindicación 1, mediante la inyección de un combustible en un reactor de combustible de un sistema de combustión con bucle químico, la inyección de portadores de oxígeno oxidados en el reactor de combustible, y la oxidación del combustible con oxígeno proporcionado por los portadores de oxígeno. Los sólidos se separan de una corriente de gas de combustión del reactor de combustible. La corriente de gas de combustión del reactor de combustible que contiene residuos no quemados se transmite a un reactor de post-oxidación que se inyecta con portadores de oxígeno oxidados. Los residuos no quemados se oxidan en el reactor de post-oxidación con oxígeno proporcionado por los portadores de oxígeno. Portadores de oxígeno reducidos son separados de una corriente de gas de combustión del reactor de post-oxidación y son transmitidos a un reactor de aire en donde se vuelven a oxidar en presencia de aire inyectado en el reactor de aire. Los portadores de oxígeno oxidados se separan de una corriente del gas de combustión del reactor de aire y se transmiten al reactor de post-oxidación. Los portadores de oxígeno son partículas desacoplantes de oxígeno de bucle químico (CLOU). Una parte de la corriente del gas de combustión del reactor de combustible es transmitida a una cámara de post-oxidación, y la corriente de gas de combustión del reactor de post-oxidación se transmite primero a la cámara de post-oxidación, en donde residuos no quemados presentes en la parte de la corriente de gas de combustión del reactor de combustible transmitidos a la cámara de post-oxidación son oxidados por el oxígeno presente en la corriente de gas de combustión del reactor de post-oxidación.

De acuerdo con otros aspectos ilustrados en esta memoria, se proporciona un aparato para la oxidación de residuos no quemados de acuerdo con la reivindicación 8, que tienen un reactor de combustible que recibe portadores de oxígeno oxidados y combustible, en donde el combustible se oxida con oxígeno proporcionado por los portadores de oxígeno; un primer separador de sólidos para separar los sólidos de una corriente de gas de combustión del reactor de combustible; un reactor de aire que recibe portadores de oxígeno reducidos y aire, en donde los portadores de oxígeno reducidos se oxidan para producir los portadores de oxígeno oxidados; un segundo separador de sólidos para separar los portadores de oxígeno oxidados de la corriente de gas de combustión del reactor de aire, en donde los portadores de oxígeno oxidados son proporcionados al reactor de combustible; un reactor de post-oxidación que recibe la corriente de gas de combustión del reactor de combustible que contiene residuos no quemados y portadores de oxígeno oxidados del segundo separador de sólidos; un tercer separador de sólidos para separar los portadores de oxígeno reducidos de una corriente de gas de combustión del reactor de post-oxidación; y una cámara de post-oxidación conectada a la corriente de gas de combustión y al reactor de post-oxidación de manera que una parte de la corriente de gas de combustión se transmite directamente a la cámara de post-oxidación y la corriente de gas de combustión del reactor de post-oxidación se transmite a la cámara de post-oxidación.

Lo anteriormente descrito y otras características se ejemplifican mediante las siguientes figuras y descripción detallada.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

45 Con referencia ahora a las figuras, que son realizaciones a modo de ejemplo, y en donde los elementos están numerados por igual:

La Figura 1 es un ejemplo de diagrama de flujo esquemático de un sistema de combustión con bucle químico de acuerdo con la técnica anterior.

50 La Figura 2 es un diagrama de flujo esquemático de una realización a modo de ejemplo que no forma parte de la invención.

La Figura 3 es un diagrama de flujo esquemático de acuerdo con la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

De acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente descripción, se proporciona un método eficiente para la oxidación de residuos no quemados en un sistema de combustión con bucle químico (CLC). Se proporciona un método que reduce los requisitos de energía de la oxidación de residuos no quemados antes de la ventilación de los gases de combustión a la atmósfera. La CLC se utiliza para oxidar un combustible en un reactor de combustible. La oxidación del combustible se logra mezclando el combustible con un portador de oxígeno oxidado previamente en un reactor de aire. El óxido metálico es un material desacoplante de oxígeno de bucle químico (partículas CLOU) que tiene una especificidad para liberar oxígeno gaseoso. La oxidación del combustible en el reactor de combustible puede dejar una parte del combustible oxidado de forma incompleta, dejando residuos no quemados en una corriente de gas de combustión del reactor de combustible. La corriente de gas de combustión del reactor de combustible que contiene residuos no quemados es transmitida a un reactor de post-oxidación. El reactor de post-oxidación recibe portadores de oxígeno oxidados a partir de un reactor de aire, que puede ser el reactor de aire del sistema CLC o un reactor de aire separado. Un reactor de aire de la CLC se puede aumentar en capacidad de aumentar la producción de portadores de oxígeno oxidados para abastecer tanto al reactor de combustible como al reactor de post-oxidación. Residuos no quemados son oxidados por portadores de oxígeno en el reactor de post-oxidación y los portadores de oxígeno reducidos son separados de una corriente de gas de combustión del reactor de post-oxidación y son devueltos a un reactor de aire para la re-oxidación. Al oxidar los residuos no quemados en un reactor de post-oxidación, los residuos no quemados pueden oxidarse de manera eficiente sin la necesidad de oxígeno producido criogénicamente, reduciendo sustancialmente las demandas de energía para la eliminación de residuos no quemados de un sistema CLC.

Se proporciona un método eficiente de oxidar residuos no quemados en una corriente de gas de combustión, en el que una corriente de gas de combustión que contiene residuos no quemados es transmitida para la oxidación en un reactor de post-oxidación, que es suministrada adicionalmente por portadores de oxígeno. Los portadores de oxígeno se oxidan en un reactor de aire.

Se proporciona un aparato para la oxidación de residuos no quemados en un sistema CLC, que incluye un reactor de post-oxidación, un reactor de aire conectado al reactor de post-oxidación y un reactor de combustible conectado al reactor de post-oxidación. Una corriente de gas de combustión del reactor de combustible, que contiene residuos no quemados, está configurada para ser transmitida al reactor de post-oxidación, que recibe, además, portadores de oxígeno oxidados del reactor de aire. El reactor de aire también puede suministrar portadores de oxígeno oxidados al reactor de combustible o puede ser un reactor de aire separado. Si el reactor de aire está configurado para suministrar tanto al reactor de post-oxidación como al reactor de combustible, se puede aumentar de tamaño con respecto al que típicamente se contempla para un sistema CLC para representar una demanda incrementada sobre la producción de portador de oxígeno oxidado. El aparato incluye, además, una cámara de post-oxidación, preferiblemente una cámara catalítica, configurada para recibir directamente una parte de la corriente de gas de combustión del reactor de combustible y una corriente de gas de combustión del reactor de post-oxidación, en donde el oxígeno está presente en la corriente de gas de combustión del reactor de post-oxidación. En esta configuración, una parte de la oxidación de residuos no quemados se produce en la cámara catalítica y una parte de la oxidación de residuos no quemados se produce en la reacción de post-oxidación.

Haciendo referencia a la Fig. 1, la CLC incluye típicamente un reactor de aire **14** y un reactor de combustible **12**, que puede ser reactores de lecho fluido, en donde un combustible **10** se inyecta en el reactor de combustible **12** y en donde el reactor de combustible **12** se inyecta adicionalmente con un portador de oxígeno **22** formado en el reactor de aire **14**. Un ejemplo del combustible es el carbón. Otros ejemplos incluyen, pero no se limitan a gas natural, gas de síntesis (sintegas) y gas de refinería de petróleo. Las partículas de portador de oxígeno son típicamente metálicas o cerámicas. Óxidos metálicos típicos utilizados para la CLC incluyen óxido de níquel, óxido de calcio, óxido de hierro, óxido de cobre, óxido de manganeso, óxido de cobalto y mezclas de los mismos como ejemplos. Algunos portadores de oxígeno son las denominadas partículas CLOU, ya que liberan oxígeno sin la necesidad de una participante en la reacción.

El reactor de combustible **12** puede ser fluidizado por un medio de fluidización tal como vapor de agua **58**. La combustión de combustible **10** en el reactor de combustible **12** produce una corriente de gas de combustión **26**. La corriente de gas de combustión **26** contiene generalmente sólidos sin quemar, productos de la combustión (CO₂ y H₂O), portadores de oxígeno reducidos y también puede incluir residuos no quemados tales como monóxido de carbono, hidrógeno o metano. La corriente de gas de combustión **26** puede ser transmitida a un primer separador de sólidos **28**, que puede ser un separador de ciclón, en el que los sólidos **48** se separan de la corriente de gas de combustión **26** y se transmiten **28** al reactor de aire **14**. Los sólidos **48** del primer separador **28** pueden primero ser transmitidos a un separador de carbono **50** opcional. Los portadores de oxígeno reducidos que salen del separador de carbono **50** son transmitidos **52** al reactor de aire **14**. Todo carbón que salga del separador de carbono **50** es

transmitido **54** de vuelta a reactor de combustible **12**. Una corriente de gas de combustión **30** del primer separador de sólidos **28** puede ser transmitida a un segundo separador de sólidos **32**, que puede ser un separador de ciclón, en donde sólidos adicionales pueden ser separados de la corriente de gas de combustión **30** y transmitidos de nuevo **56** al reactor de combustible **12**.

5 Corriente de gas de combustión **34** del segundo separador de sólidos **32**, que generalmente contiene los componentes no sólidos de la corriente de gas de combustión **26** del reactor de combustible **12** es transmitida a una unidad de post-combustión **36**. La unidad de post-combustión **36** está configurada para recibir una corriente de oxígeno **38**. La corriente de oxígeno **38** puede ser oxígeno puro o gas enriquecido en oxígeno, que se crea típicamente de forma criogénica a costos sustanciales de energía y de capital. Residuos no quemados pueden ser oxidados en la unidad de post-combustión **36** y una corriente de gas de combustión de la unidad de post-combustión **40** puede ser transmitida a una unidad de procesamiento de gas (GPU) **42** para la captura y el procesamiento de CO₂. El CO₂ puede ser transmitido **46**, además, para el almacenamiento o el uso, según corresponda. Después de la captura de CO₂, la corriente de gas de combustión, que contiene principalmente N₂, Ar y O₂ sin usar, puede ser ventilada **44** a la atmósfera.

15 En el reactor de aire **14**, portadores de oxígeno son oxidados por el aire **16** suministrado al reactor de aire **14**. Una corriente de gas de combustión **18** del reactor de aire **14** puede ser transmitida a un tercer separador de sólidos **20**, que puede ser un separador de ciclón. El tercer separador de sólidos **20** separa portadores de oxígeno oxidados de la corriente de gas de combustión **18** del reactor de aire **14**, permitiendo que los componentes no reactivos de aire y oxígeno no utilizado sean ventilados como aire de escape **24** a la atmósfera. Portadores de oxígeno oxidados son transmitidos **22** al reactor de combustible **12** en donde pueden suministrar oxígeno para la oxidación del combustible **10**, completando un ciclo regenerativo para el portador de oxígeno.

Con referencia ahora a una realización a modo de ejemplo mostrada en la Fig. 2, la corriente de gas de combustión **26** del reactor de combustible **12** puede ser transmitida a un reactor de post-oxidación **25**, que puede ser un reactor de lecho fluido, lo que facilita una distribución uniforme de la temperatura a través del reactor de post-oxidación **25** y/o la recuperación de calor desde el reactor de post-oxidación **25**. El reactor de post-oxidación **25** es suministrado adicionalmente con portadores de oxígeno oxidados. La corriente de gas de combustión **26** puede primero ser transmitida a los primero **28** y segundo **32** separadores de sólidos antes de la transmisión al reactor de post-oxidación **25** tal como se muestra en la Fig. 2, o el reactor de post-oxidación puede estar configurado para recibir una corriente de gas de combustión **30** del separador **28** o directamente una corriente de gas de combustión **26** si la carga de sólidos, especialmente los sólidos no quemados, es suficientemente baja. Sin embargo, los sólidos procedentes de la corriente de gas de combustión **26** deben ser separados antes de transmitir la corriente de gas de combustión **26** al reactor de post-oxidación **25**. El empleo de dos separadores proporciona un funcionamiento mejorado del sistema (p. ej., la recirculación de carbono/separación en un separador de carbono). Para el resto de esta descripción, se asumirá la configuración representada en la Fig. 2, lo que resulta en la corriente de gas de combustión **34**. Tal como se muestra en la Fig. 2, portadores de oxígeno oxidados pueden ser transmitidos al reactor de post-oxidación **25** de una parte **23** de los sólidos separados por el tercer separador de sólidos **20**; sin embargo, esto representa sólo una realización a modo de ejemplo de la presente descripción, y son posibles otras configuraciones, incluyendo un reactor de aire separado para oxidar portadores de oxígeno, especialmente partículas CLOU, para el reactor de post-oxidación **25**.

40 Residuos no quemados contenidos en la corriente de gas de combustión **34** pueden oxidarse en el reactor de post-oxidación **25** a través de oxígeno suministrado por los portadores de oxígeno oxidados **23**. La corriente de gas de combustión **27** del reactor de post-oxidación **25** puede ser transmitida a un cuarto separador de sólidos **29**, que puede ser un separador de ciclón. El cuarto separador de sólidos **29** separa portadores de oxígeno de la corriente de gas de combustión **27**, que puede ser transmitida **41** al reactor de aire **14** en donde los portadores de oxígeno pueden ser re-oxidados. En una realización alternativa, los portadores de oxígeno pueden ser transmitidos a un reactor de aire separado. Esto permite el uso de un portador de oxígeno diferente de un portador de oxígeno utilizado en el sistema CLC.

Después de la separación de portadores de oxígeno en el cuarto separador de sólidos **29**, la corriente de gas de combustión **33** puede ser transmitida a la GPU **42**. En una realización alternativa de la presente descripción, una parte **35** de la corriente de gas de combustión **33** puede estar configurada para ser mezclada con la corriente de gas de combustión **34** antes de la inyección en el reactor de post-oxidación **25**. La parte de mezclado **35** con la corriente de gas de combustión **34** puede utilizarse para controlar las temperaturas de la corriente de gas de combustión **27** para evitar la sinterización de portadores de oxígeno, manteniendo las temperaturas típicamente por debajo de 1100°C. La parte **35** se puede enfriar primero a través del intercambiador de calor **39** antes de la mezclado con la corriente de gas de combustión **34**, permitiendo un control más preciso de las temperaturas. En

una alternativa adicional, el reactor de post-oxidación **25** puede enfriarse directamente a través de intercambiador de calor **37** que puede ser utilizado para generar vapor de agua.

5 Con referencia ahora a la invención mostrada en la Fig. 3, una parte **64** de la corriente de gas de combustión **34** puede ser oxidada en una cámara de post-oxidación **60**, que puede ser catalítica o no catalítica. La cámara de post-oxidación **60** es suministrada por oxígeno en la corriente de gas de combustión **33** del cuarto separador de sólidos **29** después de la eliminación de los sólidos contenidos en la corriente de gas de combustión **27** del reactor de oxidación posterior **25**. Las partículas CLOU, tales como CuO/Cu₂O, pueden ser utilizadas como portadores de oxígeno. Una determinada fracción de gas de combustión **34** es desviada hacia el reactor de oxidación posterior **25**.
10 En el reactor de post-oxidación **25**, residuos no quemados reaccionan con O₂ liberado por partículas CLOU. Una ventaja de las partículas CLOU es que proporcionan fácilmente oxígeno tal como se define por el equilibrio químico. La presión parcial de equilibrio del oxígeno depende de la temperatura del reactor. Por lo tanto la concentración de O₂ de la corriente de gas de combustión **27** es directamente determinada por la temperatura del reactor de post-oxidación **25**. Esta corriente de gas de combustión **27** enriquecida en O₂ está libre de residuos no quemados, que fueron oxidados en el reactor de post-oxidación **25**. La corriente de gas de combustión **27** después de la separación de los sólidos en el cuarto separador de sólidos **29**, es transmitida **33** entonces a la cámara de post-oxidación **60**, que recibe adicionalmente la parte **64** de la corriente de gas de combustión **34** que rodea al reactor de post-oxidación **25**. En la cámara de post-oxidación **60**, O₂ procedente del reactor de post-oxidación **25** oxida los residuos no quemados. Después de la oxidación en la cámara de post-oxidación **60**, la corriente de gas de combustión **62** puede ser transmitida a la GPU **42** para su posterior procesamiento, tal como se indica en la Fig. 2.

20 Mediante la transmisión de una corriente de gas de combustión de un reactor de combustible de la tecnología de CLC a un reactor de post-oxidación suministrado adicionalmente por portadores de oxígeno en lugar de gas oxígeno puro o enriquecido, la presente descripción proporciona un método eficiente para la oxidación de residuos no quemados. En un aspecto, la presente descripción utiliza un reactor de aire de la CLC para proporcionar portadores de oxígeno para la oxidación de los residuos no quemados. En otro aspecto, la presente descripción utiliza un
25 reactor de aire separado para suministrar portadores de oxígeno separados al reactor de post-combustión de modo que se pueden implementar dos ciclos de bucle portadores de oxígeno separados. La corriente de gas de combustión del reactor de combustible del sistema de CLC es transmitida en parte al reactor de post-oxidación (que contiene portadores de oxígeno) y en parte a una cámara de post-oxidación, utilizando el oxígeno liberado en el reactor de post-oxidación para la oxidación adicional de residuos no quemados. Si la cámara de post-oxidación es
30 una cámara catalítica, se puede lograr una oxidación casi completa de residuos no quemados en ausencia de exceso de oxígeno.

REIVINDICACIONES

1. Un método de oxidar residuos no quemados en un sistema de combustión con bucle químico, que comprende:
 5 inyectar un combustible (10) en un reactor de combustible (12) de un sistema de combustión con bucle químico;
 inyectar portadores de oxígeno (22) oxidados en el reactor de combustible (12);
 oxidar el combustible (10) con oxígeno proporcionado por los portadores de oxígeno (22);
 separar sólidos (48, 56) de una corriente de gas de combustión (26) del reactor de combustible (12);
 transmitir la corriente de gas de combustión (26) del reactor de combustible (12) que contiene residuos no quemados
 a un reactor de post-oxidación (25);
 inyectar los portadores de oxígeno (22) oxidados al reactor de post-oxidación (25);
 10 oxidar los residuos no quemados en el reactor de post-oxidación (25) con oxígeno proporcionado por los portadores
 de oxígeno (22);
 separar los portadores de oxígeno (22) de una corriente de gas de combustión (27) del reactor de post-oxidación 25;
 transmitir los portadores de oxígeno (22) reducidos a un reactor de aire (14);
 oxidar los portadores de oxígeno (22) reducidos en presencia de aire (16) inyectado en el reactor de aire (14);
 15 separar los portadores de oxígeno (22) oxidados de una corriente del gas de combustión (18) del reactor de aire
 (14);
 transmitir al reactor de oxidación posterior (25) y al reactor de combustible (12) los portadores de oxígeno (22)
 oxidados, caracterizado por que:
 los portadores de oxígeno (22) son partículas desacoplantes de oxígeno de bucle químico;
 20 transmitir una parte (64) de la corriente del gas de combustión (26) del reactor de combustible (12) a una cámara de
 post-oxidación (60);
 transmitir la corriente de gas de combustión (27) del reactor de post-oxidación (25) primero a la cámara de post-
 oxidación (60);
 en donde residuos no quemados presentes en la parte (64) de la corriente de gas de combustión (26) del reactor de
 25 combustible (12) transmitidos a la cámara de post-oxidación (60) son oxidados por el oxígeno presente en la
 corriente de gas de combustión (27) del reactor de post-oxidación (25).
2. El método de la reivindicación 1, caracterizado, además, por transmitir la corriente de gas de combustión (27) del
 reactor de post-oxidación (25), después de separar los portadores de oxígeno (22) reducidos, a una unidad de
 procesamiento de gas (42).
- 30 3. El método de la reivindicación 1, caracterizado, además, por transmitir una parte de la corriente de gas de
 combustión (27) del reactor de post-oxidación (25), después de separar los portadores de oxígeno (22) reducidos, de
 nuevo al reactor de post-oxidación (25).
4. El método de la reivindicación 3, en el que la parte de la corriente de gas de combustión (27) del reactor de post-
 oxidación (25) se enfría antes de la recirculación al reactor de post-oxidación (25).
- 35 5. El método de la reivindicación 1, caracterizado, además, por: enfriar directamente el reactor de post-oxidación
 (25).
6. El método de la reivindicación 1, en el que los portadores de oxígeno (22) son óxidos de metales.
7. El método de la reivindicación 1, en el que la cámara de post-oxidación (60) es una cámara catalítica.
8. Un aparato para la oxidación de residuos no quemados, que comprende:
 40 un reactor de combustible (12) que recibe portadores de oxígeno (22) oxidados y combustible (10), en donde el
 combustible (10) se oxida con oxígeno proporcionado por los portadores de oxígeno (22);
 un primer separador de sólidos (28, 32) para separar sólidos de una corriente de gas de combustión (26) del reactor
 de combustible (12);
 un reactor de aire (14) que recibe portadores de oxígeno (41) reducidos y aire (16), en donde los portadores de
 45 oxígeno (41) reducidos se oxidan para producir los portadores de oxígeno (22) oxidados;
 un segundo separador de sólidos (20) para separar los portadores de oxígeno (22) oxidados de la corriente de gas
 de combustión (18) del reactor de aire (14), en donde los portadores de oxígeno (22) oxidados son proporcionados
 al reactor de combustible (12);
 un reactor de post-oxidación (25) que recibe la corriente de gas de combustión (26) del reactor de combustible (12)
 50 que contiene residuos no quemados y portadores de oxígeno (22) oxidados del segundo separador de sólidos (20); y

un tercer separador de sólidos (29) para separar los portadores de oxígeno (41) reducidos de una corriente de gas de combustión (27) del reactor de post-oxidación (25); caracterizado por que comprende:
una cámara de post-oxidación (60) conectada a la corriente de gas de combustión (26) y al reactor de post-oxidación (25) de manera que una parte de la corriente de gas de combustión (64) se transmite directamente a la cámara de post-oxidación (60) y la corriente de gas de combustión (27) del reactor de post-oxidación (25) se transmite a la cámara de post-oxidación (60).

- 5
9. El aparato de la reivindicación 8, en donde la cámara de post-oxidación (60) es catalítica.
10. El aparato de la reivindicación 8, en donde el reactor de post-oxidación (25) está configurado de manera que una parte de la corriente de gas de combustión (27) del reactor de post-oxidación (25) se recicla de nuevo al reactor de post-oxidación (25), y en donde está previsto un intercambiador de calor (39) para enfriar la parte de la corriente de gas de combustión (27) del reactor de post-oxidación (25) antes de la recirculación al reactor de post-oxidación (25).
- 10
11. El aparato de la reivindicación 8, caracterizado, además, por un intercambiador de calor (37) que enfría directamente el reactor de post-oxidación (25).
12. El aparato de la reivindicación 8, en donde los portadores de oxígeno (22) son óxidos de metales.

15

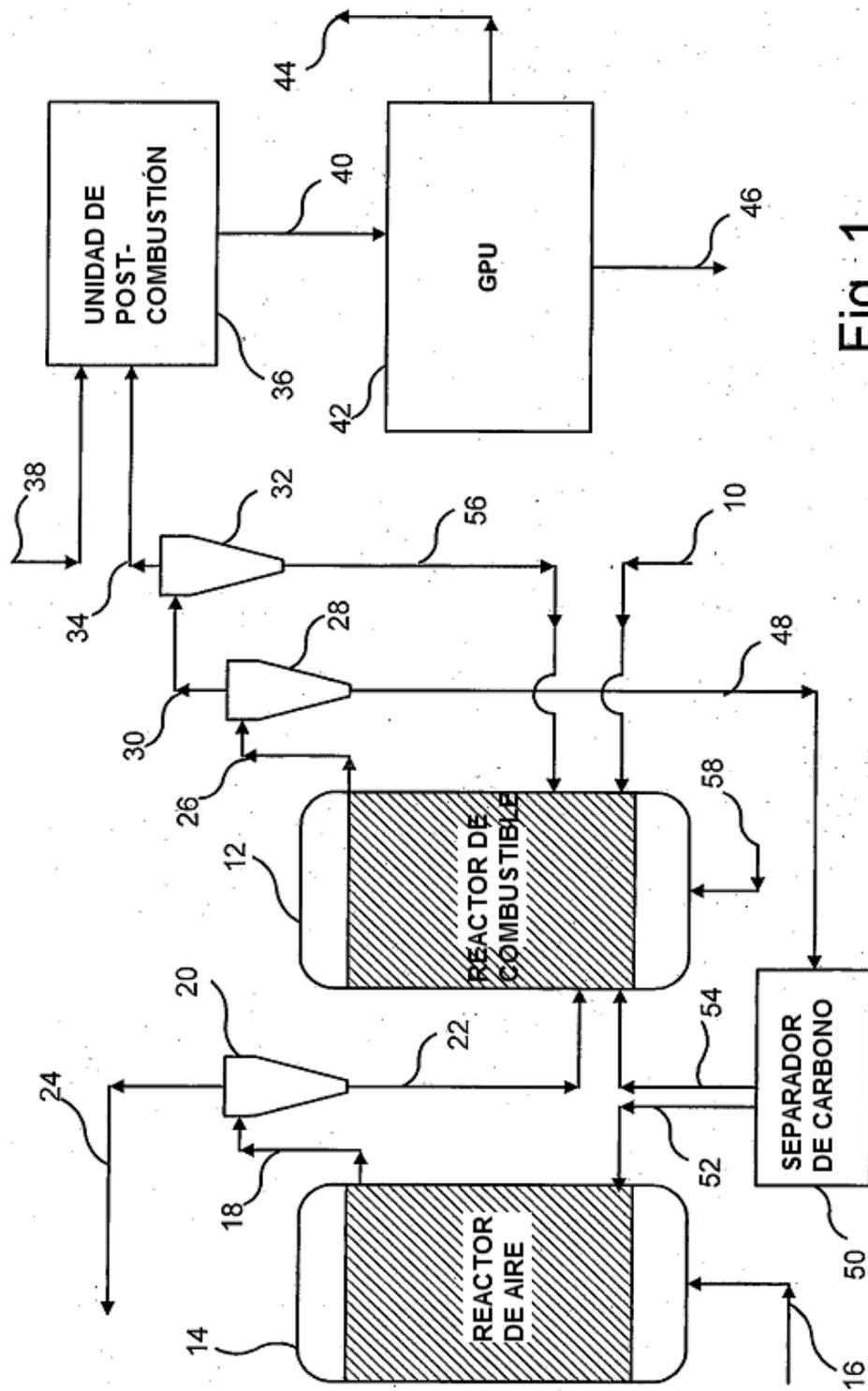


Fig. 1

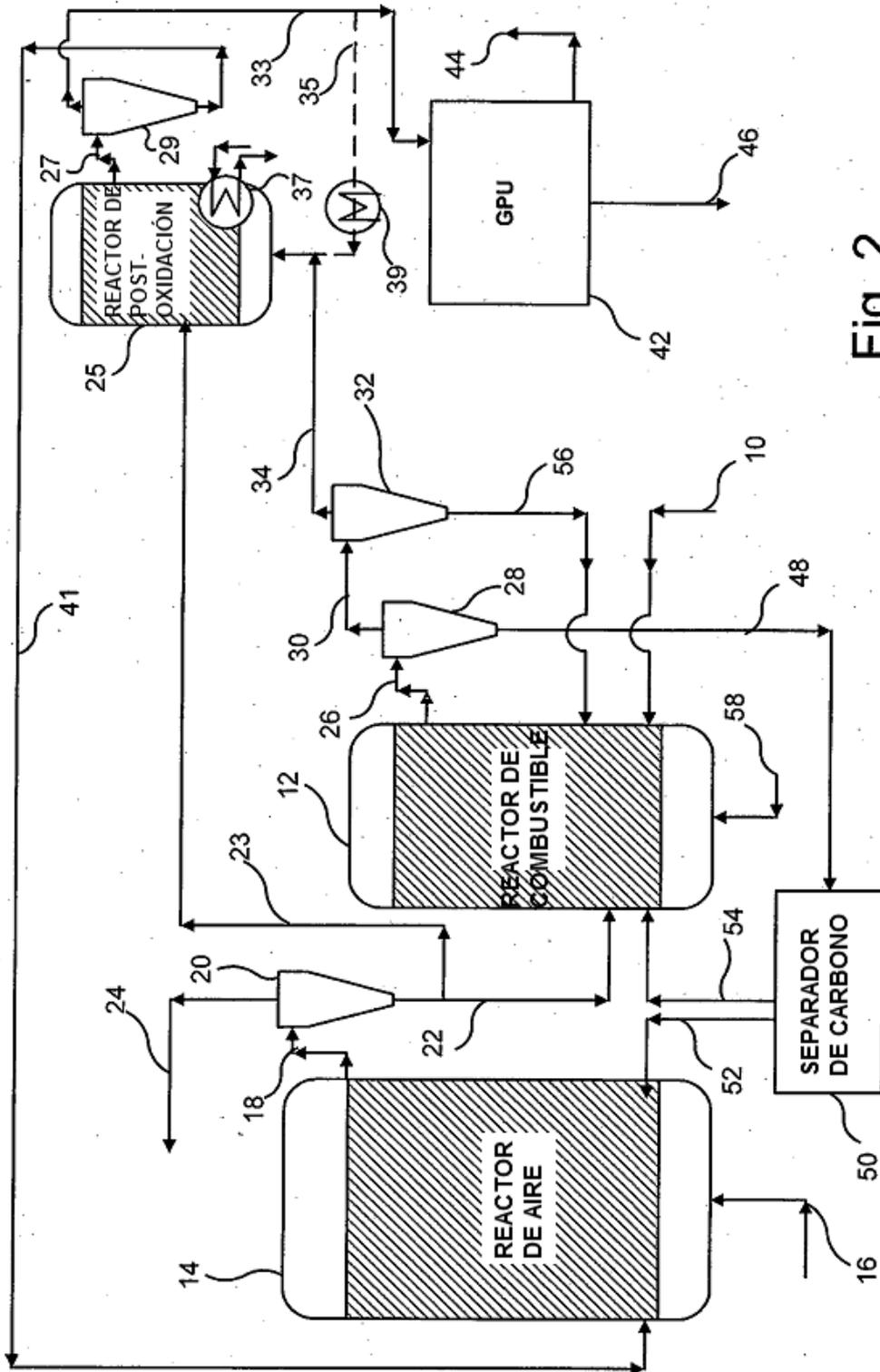


Fig. 2

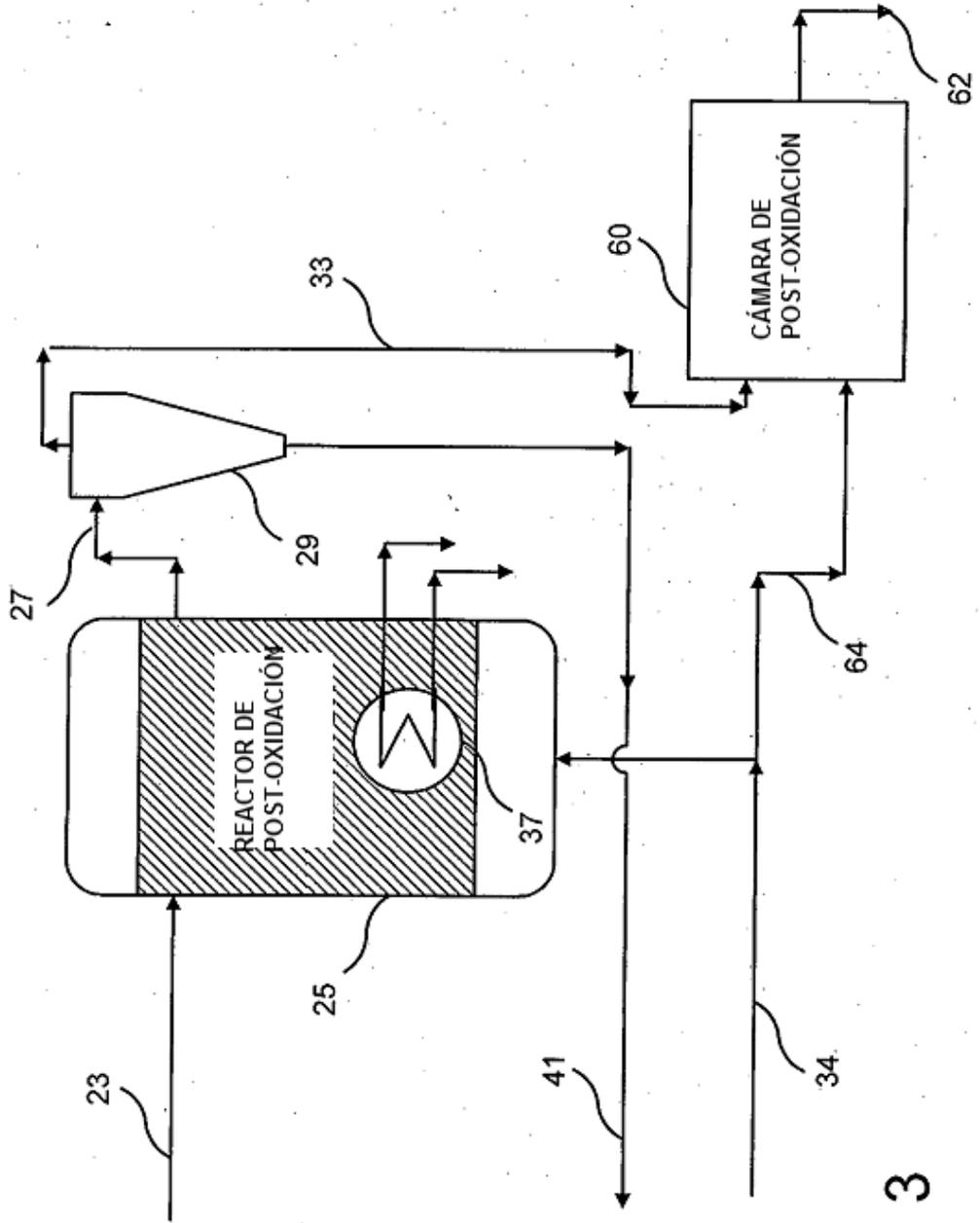


Fig. 3