

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 996**

51 Int. Cl.:

C01B 3/06 (2006.01)

F01K 23/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.05.2012 E 12723062 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2015 EP 2710235**

54 Título: **Sistema de generación de vapor**

30 Prioridad:

16.05.2011 US 201161486615 P

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

30.09.2015

73 Titular/es:

**POWERDYNE, INC. (100.0%)
4740 Von Karman Avenue, Suite 100
Newport Beach, California 92660, US**

72 Inventor/es:

**SHOUSE, GUS F. y
HIRSON, GEOFFREY**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 546 996 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

Sistema de generación de vapor

Antecedentes

- 5 El presente documento se refiere a un método y sistema para la producción de vapor que es apropiado para su uso en aplicaciones de generación de energía y otras aplicaciones. El documento WO/2005/005009 A2 describe un sistema de generación de vapor con una cámara de procesado principal que está configurada para convertir dióxido de carbono y agua en metano o metanol y oxígeno. El sistema incluye un generador de calor que recibe un gas procedente de la salida de gas de la cámara de procesado principal y usa el gas caliente para generar vapor.
- 10 Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la generación de energía por combustión de carbón son importantes y aumentan de forma rápida. Estados Unidos ha estimado producir cerca de dos mil millones de toneladas de CO₂ al año en las plantas de generación de energía por combustión de carbón. Se proyecta que las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la electricidad generada por combustión de carbón, en la actualidad el 27 por ciento de las emisiones totales de Estados Unidos, aumentarán un tercio en el año 2025.
- 15 La presente divulgación describe un método y sistema destinados a reducir o eliminar el uso de combustibles fósiles, así como también a reducir o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero y otras emisiones, junto con la generación de energía.

Sumario

20 Un sistema de generación de energía opera en forma de bucle cerrado para proporcionar un gas de suministro a una cámara de procesado y calentar el gas a temperaturas elevadas en presencia de una o más antorchas de arco de plasma. El gas de suministro es un gas que no experimenta auto-ignición en presencia de la antorcha de arco de plasma. Se proporciona el gas de suministro a un generador de vapor con recuperación de calor ("HRSG") para producir vapor, que se puede usar para alimentar una turbina de vapor. Dependiendo de la cantidad de vapor y/o energía deseada, el sistema puede usar un sistema de control para variar el flujo, temperatura y presión del gas suministrado al HRSG. El sistema de control puede hacer esto poniendo antorchas de arco de plasma adicionales en línea o fuera de línea en la cámara de procesado, añadiendo gas de suministro no caliente directamente a partir de una fuente de suministro, derivando el gas de suministro caliente fuera de HRSG y variando el flujo de agua suministrada a HRSG.

30 En una realización, el sistema de generación de vapor incluye una fuente de dióxido de carbono, una fuente de agua, una cámara de procesado principal y un generador de vapor con recuperación de calor. La cámara de procesado principal incluye: un alojamiento; una entrada de gas de suministro que se encuentra conectada de forma fluida con la fuente de dióxido de carbono y configurada para recibir el dióxido de carbono procedente de la fuente de dióxido de carbono; una entrada de suministro de agua que se encuentra conectada de forma fluida a la fuente de agua y configurada para recibir agua de la fuente de agua; al menos una antorcha de arco de plasma configurada para calentar el dióxido de carbono y el agua en la cámara de procesado principal hasta una temperatura de aproximadamente 180 °C hasta 20.000 °C, y convertir el dióxido de carbono y agua en hidrogeno y monóxido de carbono; y una salida de gas de cámara de procesado principal. El generador de vapor con recuperación de calor incluye una entrada de gas caliente que está conectado de forma fluida con la salida de gas de cámara de procesado principal, junto con un retorno de gas que está conectado de forma fluida con la entrada de gas de suministro. El generador de vapor con recuperación de calor recibe el gas caliente procedente de la salida de gas de cámara de procesado principal y usa el gas caliente para generar vapor. Se puede usar el vapor para alimentar un receptor tal como una turbina de vapor que se usa en la generación de energía.

45 En algunas realizaciones, el sistema también puede incluir una primera válvula de gas de suministro que tiene un accionador de primera válvula de gas de suministro. La primera válvula de gas de suministro puede estar en comunicación fluida con la fuente de gas de suministro en el lado de entrada y la entrada de gas de suministro en el lado de salida. Una segunda válvula de gas de suministro puede tener un accionador de segunda válvula de gas de suministro y puede estar en conexión fluida con la fuente de gas de suministro en el lado de entrada y la salida de gas caliente en el lado de salida. El sistema puede incluir controladores de sistema que están configurados para proporcionar señales de datos indicadores de una variable del sistema, junto con un sistema de control automatizado en comunicación de datos con los controladores del sistema y en comunicación operativa con los controladores del sistema, el accionador de la primera válvula de gas de suministro y el accionador de la segunda válvula de gas de suministro.

55 Opcionalmente, una primera tubería puede estar conectada de forma fluida a la fuente de gas de suministro y la entrada de gas de cámara de procesado principal. Una segunda tubería puede estar conectada de forma fluida a la salida de gas de cámara de procesado principal y la entrada de gas procesado del generador de vapor con recuperación de calor. Una tercera tubería puede estar conectada de forma fluida con el retorno de gas procesado del generador de vapor con recuperación de calor y la entrada de gas caliente de la cámara de procesado principal.

Se puede configurar una fuente de vacío para conferir vacío a cualquiera o a todas las tuberías, la cámara de procesado principal, y una cámara de gas del generador de vapor con recuperación de calor.

5 El sistema de control automatizado puede incluir un procesador y un dispositivo de memoria física configurado para almacenar un conjunto de instrucciones aptas para lectura por un procesador, con el fin de dirigir la actividad del procesador. Los controladores pueden incluir un controlador de presión y/o un controlador de temperatura. El controlador de presión puede estar configurado para detectar una presión de gas a medida que éste se suministra desde la salida de gas de la cámara de procesado principal a la entrada de gas de proceso del generador de vapor con recuperación de calor. El controlador de temperatura puede estar configurado para detectar la temperatura de gas a medida que éste se suministra desde la salida de gas de la cámara de procesado principal a la entrada de gas de proceso del generador de vapor con recuperación de calor.

10 La primera válvula de gas de suministro, en respuesta a un comando del sistema de control hasta el accionador de la primera válvula de gas de suministro, puede controlar de forma variable un flujo de dióxido de carbono en el interior de la cámara de procesado principal. La segunda válvula de gas de suministro, en respuesta a un comando procedente del sistema de control hasta el accionador de la segunda válvula de gas de suministro, puede controlar de forma variable un flujo de dióxido de carbono procedente de la fuente de suministro de gas hasta la entrada de gas caliente del generador de vapor con recuperación de calor. En algunas realizaciones, la segunda válvula de gas de suministro puede ser una válvula de mezcla.

15 Cada antorcha de arco de plasma puede incluir un accionador programable en comunicación operativa con el sistema de control automatizado que, en respuesta a un comando procedente del procesador, controla de forma variable la activación de su correspondiente antorcha.

20 El sistema también puede incluir una primera válvula de derivación de dos vías programable que tiene un accionador de primera válvula de derivación de dos vías en comunicación operativa con el sistema de control. La primera válvula de derivación puede estar en comunicación fluida con la salida de gas y la segunda válvula de gas de suministro en el lado de entrada. El sistema también puede incluir una segunda válvula de derivación de dos vías programable que tiene un accionador de segunda válvula de derivación de dos vías programable en comunicación operativa con el sistema de control. La segunda válvula de derivación puede estar en comunicación fluida con la entrada de gas de suministro en el lado de salida. El sistema también puede incluir una línea de derivación en comunicación fluida con la primera válvula de derivación de dos vías y la segunda válvula de derivación de dos vías. La primera válvula de derivación de dos vías se puede controlar por medio del controlador de sistema a través del accionador de primera válvula de derivación de dos vías para dirigir un flujo de gas desde el lado de la entrada de válvula hasta la entrada de gas procesado o bien la línea de derivación, y la segunda válvula de derivación de dos vías puede controlarse por medio del controlador de sistema a través del accionador de la segunda válvula de derivación de dos vías para dirigir el flujo de gas desde el retorno de gas procesado o bien la línea de derivación hasta el lado de salida de la segunda válvula de derivación de dos vías.

25 Opcionalmente, el sistema de control automatizado puede incluir una válvula de control de agua que tiene un accionador de válvula de control de agua en comunicación operativa con el sistema de control que, en respuesta a un comando procedente del controlador de sistema, controla de forma variable el flujo de agua al interior del generador de vapor con recuperación de calor.

30 El sistema también puede incluir una fuente de energía configurada para suministrar energía a al menos una de las antorchas de arco de plasma durante el arranque en frío. La fuente de energía comprende un generador o un conmutador de transferencia automatizado en comunicación eléctrica con un suministro de energía eléctrica.

35 El sistema también puede incluir un segundo generador de vapor con recuperación de calor que tiene una entrada de gas en comunicación fluida con el retorno de gas del primer generador de vapor con recuperación de calor. El segundo generador de vapor con recuperación de calor puede recibir gas procedente del primer generador de vapor con recuperación de calor y usar el gas para generar vapor. Una válvula de conexión puede tener un accionador de válvula de conexión programable en conexión operativa con el sistema de control. La válvula de conexión puede estar en comunicación fluida con el retorno de gas procesado del primer generador de vapor con recuperación de calor en el lado de entrada, y con la entrada de gas procesado del segundo generador de vapor con recuperación de calor en el lado de salida.

40 En algunas realizaciones, un método de generación de vapor puede incluir: suministrar de forma controlada dióxido de carbono y agua a una cámara de procesado principal; controlar al menos una antorcha de arco de plasma para calentar el dióxido de carbono y agua en la cámara de procesado principal a una temperatura que es de aproximadamente 82 °C (180 °F) hasta aproximadamente 19982 °C (36.000 °F) y convertir el dióxido de carbono y agua en una mezcla de gases de escape que comprende hidrógeno y monóxido de carbono; mezclar de forma controlada cierto volumen de dióxido de carbono no caliente con el gas de escape formando de este modo una mezcla de gases; suministrar la mezcla de gases a una entrada de un generador de vapor con recuperación de calor; y retornar un gas de escape desde la salida del generador de vapor con recuperación de calor hasta la cámara de procesado principal para el re-calentamiento. La cámara de procesado principal, el generador de vapor con recuperación de calor, y las tuberías que transfieren el gas entre la cámara de procesado principal y el generador de

vapor con recuperación de calor pueden operar como un sistema cerrado de forma que el gas no escape a la atmósfera durante la operación normal.

Opcionalmente, el método puede incluir evacuar la cámara de procesado principal, el generador de vapor con recuperación de calor, y parte o la totalidad de las tuberías que transfieren el gas entre la cámara de procesado principal y el generador de vapor con recuperación de calor antes de suministrar el gas al interior del sistema cerrado. El método también incluye controlar al menos un sistema variable con al menos un controlador de sistema; proporcionando los datos de variables del sistema uno o más controladores a un sistema de control; y usando el sistema de control para controlar la antorcha o antorchas de arco de plasma, el suministro de gas a la cámara de procesado principal y/o la mezcla de gas no caliente con el gas caliente. El control proporcionado por el sistema de control se puede basar, al menos en parte, en los datos de variables del sistema. El método también puede incluir la derivación, de forma controlada, de parte o la totalidad de la mezcla de gases procedente de la entrada del generador de vapor con recuperación de calor hasta la salida del generador de vapor con recuperación de calor. El método también puede incluir suministrar, de forma controlada, al menos una parte de la mezcla de gases desde al menos un generador de vapor con recuperación de calor hasta la entrada de un segundo generador de vapor con recuperación de calor, y retornar la mezcla de gases desde la salida del segundo generador de vapor con recuperación de calor hasta la cámara de procesado principal para el re-calentamiento.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1 es un diagrama de bloques que divulga los elementos de un sistema de producción de vapor.

La Figura 2 ilustra los elementos de una antorcha de arco de plasma que se puede usar con un sistema de producción de vapor.

La Figura 3 es un diagrama de diversos elementos de un sistema de producción de vapor.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que describe los elementos de un proceso de generación de vapor.

La Figura 5 es un diagrama de bloques que muestra elementos opcionales de un dispositivo de computación que puede procesar instrucciones de programación.

25 Descripción detallada

La presente divulgación no se encuentra limitada a sistemas, dispositivos y métodos particulares descritos, ya que estos pueden variar. De igual forma, la terminología usada en el presente documento únicamente es con el fin de describir versiones particulares o realizaciones, y no se pretende que limite su alcance. Según se usa en la memoria descriptiva siguiente y en las reivindicaciones adjuntas, las formas en singular "un", "una", "el" y "la" incluyen referencias en plural, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. A menos que se defina lo contrario, todos los términos científicos y técnicos usados en el presente documento tienen el mismo significado que se comprende de forma común por parte de un experto en la técnica.

El presente documento va destinado a un método y un sistema para generar vapor para la generación de electricidad y otros usos. Con la excepción opcional de un breve período de arranque, el método y el sistema pueden usar combustibles que no son de origen fósil tales como carbón, petróleo, gas natural y esquisto de petróleo, biomasa, combustible, coque, coque de petróleo, carbón de leña, alquitranes, residuos de madera, metanol, etanol, propanol, propano, butano y etano.

La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema para la generación de energía usando vapor. Como se muestra, el sistema incluye una cámara de procesado principal ("PPC") **10** y un generador de vapor con recuperación de calor ("HRSG") **20**. La PPC **10** incluye un alojamiento construido para soportar las temperaturas internas generadas por medio de una o más antorchas de arco de plasma como se describe a continuación. Dependiendo de los requisitos de diseños del sistema, la PPC y/o su alojamiento pueden tener un sistema de refrigeración activo y/o revestimiento aislante. La PPC **10** incluye uno o más entradas de gas **16** y entradas de líquido **19**, junto con un salida de gas **18**. De lo contrario, la PPC está sellada de forma que ningún gas puede escapar de ella. La construcción del alojamiento de la PPC es suficiente para mantener una presión de vacío, tal como una presión entre 0 Pa (0 libras por pulgada cuadrada de vacío (PSIV)) hasta aproximadamente 101353 Pa (14,7 PSIV), sin ruptura.

La PPC **10** contiene una o más antorchas de arco de plasma **15**, **17** que se usan para calentar la PPC **10**. Con fines de facilidad de discusión, los términos "antorcha" y "antorchas" se usan a continuación para hacer referencia a antorchas de arco de plasma. Las antorchas son capaces de elevar la temperatura de la PPC **10** hasta el intervalo de aproximadamente 350 °F a aproximadamente 36.000 °F (de aproximadamente 180 °C a aproximadamente 20.000 °C). En varias realizaciones, la PPC **10** puede ser una unidad centrífuga que puede rotar para facilitar la mezcla y la distribución de gas en la cámara hasta la antorcha. Un ejemplo de un sistema apropiado es un sistema de tratamiento centrífugo por arco de plasma ("PACT") disponible en Retech Systems, LLC, en Ukiah, California. En otras realizaciones, la PPC **10** puede ser una unidad centrífuga o estacionaria. En otras realizaciones, la entrada de gas **16**, la entrada de líquido **19** o ambas pueden incluir una boquilla que se encuentra ubicada con un ángulo con

respecto a las paredes de la cámara de forma que introduce un gas o un líquido en el interior de la cámara en una dirección que genera una turbulencia y facilita el movimiento del gas hasta el arco de la antorcha.

Se pueden usar diversos tipos de antorchas de gas. Por ejemplo, la Figura 2 ilustra una antorcha de arco no transferido **350**, que resulta eficaz en el calentamiento del gas de suministro. En las antorchas de arco no transferido, la antorcha aloja tanto el ánodo como el cátodo, y el cátodo se encuentra aguas abajo del ánodo. En operación, se saca el arco de dentro de la antorcha, y el plasma se extiende más allá del extremo de la antorcha como consecuencia del elevado flujo de gas a través de la antorcha, aunque los electrodos se encuentren dentro de la antorcha. Opcionalmente, las antorchas de arco de plasma no transferido se pueden ajustar con collares de retro-flujo para que el gas no se libere a la atmósfera. Alternativamente, el sistema puede usar una antorcha de arco transferido, pero dicho sistema también requeriría una materia prima que sirva como masa fundida para la antorcha, así como un sistema de depuración de gases que retire los contaminantes de las emisiones generadas por medio de la fusión de la materia prima. Cada antorcha puede incluir un accionador que esté en comunicación con un sistema de control de proceso **45** para recibir los comandos operacionales. A continuación, se proporcionan detalles adicionales de la antorcha.

Volviendo de nuevo a la Figura 1, una fuente de gas de suministro **80** proporciona un gas presurizado para calentar en la PPC **10**. En diversas realizaciones, el gas es dióxido de carbono (CO₂), aunque puede incluir oxígeno, argón, o cualquier otro gas o sus mezclas que no experimenten combustión de forma espontánea o auto-ignición en presencia de las temperaturas de procesado en la PPC **10**. En diversas realizaciones, el gas de suministro puede ser sustancialmente puro de forma que los materiales que tengan una temperatura de auto-ignición que se encuentre dentro del intervalo de temperatura de operación de la PPC no sean introducidos en la PPC. En determinadas realizaciones, el gas de suministro es CO₂ sustancialmente puro. En otras realizaciones, puede ser una mezcla de CO₂ y argón, tal como una mezcla de 93-95 % de CO₂ y de 5-7 % de argón. Opcionalmente, la fuente de gas de suministro **80** puede ser un tanque presurizado que albergue el gas de suministro a presión de forma que se expulse al interior de la PPC **10** cuando se abran las válvulas apropiadas. Alternativamente, se puede usar una bomba **84** para proporcionar el gas de suministro a la PPC bajo control a un caudal o presión deseados. En determinadas realizaciones, la fuente de gas de suministro **80** incluye una válvula de liberación de presión **88**. Se puede abrir una válvula de control **71** con el fin de introducir el gas de suministro en el interior de la PPC **10** por medio de una tubería de línea de suministro **25** a una presión y/o caudal deseados. El caudal de gas de suministro al interior de la PPC **10** se puede controlar para optimizar el calentamiento dentro de la PPC así como para optimizar la transferencia de calor dentro de HRSG.

Una fuente de agua **91** proporciona agua para el calentamiento en la PPC **10**. Opcionalmente, se puede usar una bomba y/o válvula **93** para proporcionar agua a la PPC bajo control a una presión o caudal deseados. Cualquiera o tanto la válvula de control de gas de suministro **71** como la válvula de control de suministro de agua **93**, pueden incluir un accionador de válvula de control que esté en comunicación electrónica con un controlador de proceso **45**. La válvulas pueden estar parcial o completamente abiertas o cerradas en respuesta a comandos procedentes del controlador, proporcionando de este modo la capacidad de controlar el flujo de agua y/o gas al interior de la PPC **10**.

Cualquiera o la totalidad de las válvulas de control descritas en el presente documento (tal como las válvulas de control **71** y **93**) pueden ser programables, y/o las válvulas de control pueden incluir un accionador programable para abrir o cerrar la válvula en diversas cantidades determinadas. Cualquiera o la totalidad de las válvulas de control pueden ser de diversos tipos, tales como válvulas de control de flujo, válvulas de control de temperatura, válvulas de mezcla termostáticas, válvulas de control de proceso automático, o válvulas de otros tipos incluyendo una variedad de válvulas de una vía y de dos vías. Las cantidades relativas de agua y CO₂ suministradas a la PPC pueden variar, tal como de aproximadamente un 50 por ciento de agua y aproximadamente 50 por ciento de CO₂. Son posibles otras combinaciones.

Una vez que el gas penetra en la PPC **10**, una o más de las antorchas **15**, **17** pueden activarse para calentar el gas hasta una temperatura deseada, tal como de aproximadamente 177 °C (350 °F), aproximadamente 538 °C (1000 °F), aproximadamente 1093 °C (2000 °F), aproximadamente 1204 °C (2200 °F), aproximadamente 1316 °C (2400 °F), aproximadamente 1371 °C (2500 °F), aproximadamente 1566 °C (2850 °F), aproximadamente 1927 °C (3500 °F), aproximadamente 2760 °C (5000 °F), o cualquier temperatura entre aproximadamente 350 °F y aproximadamente 36.000 °F (de aproximadamente 180 °C a aproximadamente 20.000 °C).

Opcionalmente, una línea de suministro conecta la fuente de gas de suministro **80** directamente con una o más de las antorchas **15**, **17**, para proporcionar gas como combustible adicional a las antorchas. Adicionalmente, la PPC puede estar equipada con un motor que rota la PPC, tal como a una velocidad de 3 a 20 rotaciones por minuto.

Cuando el agua y CO₂ penetran en la PPC en presencia de la antorcha, el calor y la presión en la PPC provocan que el agua y CO₂ se conviertan en una mezcla de gases de escape de H₂ y CO. La mezcla puede ser de aproximadamente 1 parte de H₂ y 2 partes de CO, aunque son posibles otras mezclas. Otros materiales, tales como oxígeno (O₂), pueden estar presentes en el gas de escape.

La mezcla de gases de escape abandona la PPC **10** por medio de una salida **18** y va dirigida a un generador de vapor con recuperación de calor (HRSG) **20** por medio de una tubería de suministro **25**. Un HRSG apropiado es una

caldera con recuperación de calor fabricada por NEM (Leiden, Países Bajos), aunque se pueden usar otros generadores de vapor con recuperación de calor. Para contribuir a la adaptación a temperaturas elevadas, puede resultar beneficioso revestir las partes de HRSG **20** con cerámica u otro material refractario apropiado. El HRSG **20** incluye una entrada **22** para recibir la corriente de gases de escape caliente procedente de la PPC **10** y una salida **24** para descargar una corriente de gas procedente de HRSG **20** de nuevo hasta la PPC **10** para el re-calentamiento. Alternativamente, como se describe a continuación, se puede suministrar cierto gas a una segunda PCC en lugar de volver a la primera PPC.

Normalmente, HRSG **20** recibe agua procedente de la fuente **27** por medio de una entrada de agua **26** y usa el gas caliente para convertir el agua en vapor **29**. El vapor se dirige a un receptor **100**, tal como un generador de turbina de vapor, para la producción de electricidad, suministrándose el vapor a la presión requerida por los requisitos del receptor. En determinadas realizaciones, una vez que el vapor opera la turbina, se puede retornar el vapor (y/o agua resultante del vapor) a la fuente de agua **27** para la re-utilización en HRSG **20**.

En determinadas realizaciones, el sistema puede variar la cantidad de energía que produce el generador con turbina de vapor por medio del control de la presión y/o el flujo del vapor que se usa para hacer rotar la turbina **100**. El sistema puede hacer esto variando, de forma controlada, la temperatura y el flujo de agua y el gas caliente hasta HRSG **20**, y aumentando de este modo o disminuyendo el flujo y la presión de vapor que abandona el HRSG **20**.

Se puede programar un controlador de proceso **45** que comprende un procesador y una memoria tangible y legible, con instrucciones para recibir los parámetros de proceso procedentes de diversos puntos del sistema y determinar el flujo apropiado y las tasas de temperatura de gas y agua para dar lugar al resultado deseado. Por ejemplo, el controlador **45** puede recibir los datos de temperatura y presión del gas de suministro y/o gas de escape procedentes de uno más sensores de gas **61** y sensores de temperatura **62**, que controlan parámetros del gas de escape tales como temperatura, presión y/o caudal en la salida de la PPC **18** y/o la entrada de HRSG **22**.

Para aumentar la producción de vapor, el controlador de proceso **45** puede enviar un comando a la válvula de control de entrada de gas de suministro al PPC **71** para abrir más y proporcionar más gas de suministro a la PPC **10**. El sistema puede activar la válvula de control de derivación **72** para que se abra y proporcionar gas de suministro no caliente adicional directamente procedente de la fuente de gas **80** hasta la entrada de gas de suministro de HRSG **22**, opcionalmente por medio de la válvula de mezcla **69**. En determinadas realizaciones, la fuente de gas de suministro **80** puede estar presurizada y/o se puede usar una bomba **86** para dirigir gases de suministro no caliente hasta la válvula de mezcla **69** a una presión y caudal determinados. En dichas realizaciones, el gas de suministro proporcionado directamente a partir de la fuente **80** puede reducir la temperatura del gas de escape procedente de la salida de PPC **18** cuando se mezclan las dos corrientes de gases. De este modo, con el fin de mantener una temperatura deseada en la entrada de HRSG **22**, el controlador de proceso **45** puede enviar un comando a la PPC para activar una o más antorchas adicionales **15** o **17** con el fin de aumentar la temperatura de la salida de gas de PPC. Alternativamente, el gas de suministro añadido, al tiempo que disminuye la temperatura de la mezcla, puede aumentar el volumen parcial de la mezcla de gases, aumentando de este modo la eficacia de la transferencia de calor hasta aguas abajo de HRSG. En determinadas realizaciones, la válvula de mezcla **69** de la unión de la tubería de gas de suministro caliente y la tubería de gas de suministro no caliente, con el fin de favorecer la mezcla uniforme de las dos corrientes de gases, puede ser una válvula de mezcla termostática. En diversas realizaciones, el controlador de proceso **45** también puede enviar comandos a la válvula de control de agua **76** para variar el control de agua procedente de la fuente de agua **27** al interior de la entrada de agua de HRSG **26**.

Una vez que HRSG **20** usa el calor de la mezcla de gases de escape para generar vapor, normalmente la mezcla de gases de escape ha experimentado una disminución de temperatura, y parte o la totalidad se puede convertir de nuevo en agua y CO₂. El gas de escape de HRSG puede incluir aproximadamente 1 parte de H₂ y 2 partes de CO, junto con cantidades variables de agua y CO₂. Son posibles otras mezclas. Se pueden re-utilizar los gases de escape de HRSG por medio de conducción desde la salida de gas de suministro de HRSG **24** de nuevo hasta la PPC **10** por medio de un sistema de tuberías **33**. Se puede perder parte o la totalidad de agua y CO₂ en el proceso. Por ejemplo, se puede perder aproximadamente 15 % de agua y aproximadamente 50 % de CO₂ en el proceso. Opcionalmente, en lugar de suministrar el agua y CO₂ restantes directamente a la PPC **10**, el sistema puede retornar el agua a la fuente de agua **91** y el CO₂ a la fuente de gas de suministro **80** para albergarlos hasta que sea necesario. Opcionalmente, se pueden usar una o más válvulas de control **74** y válvulas de descarga **75** para suministrar, de forma controlada, el gas a un colector de escape si se requiere la descarga de presión. El controlador de proceso **45** puede proporcionar comandos a los accionadores de válvula con el fin de controlar la apertura y cierre de las válvulas **74** y **75**.

En otra realización, la mezcla de gases calientes y no calientes se puede desviar de la entrada en HRSG por medio de una línea de derivación **23**, controlada por medio de válvulas de derivación **77** y **79** que tienen accionadores que están en comunicación electrónica con el controlador de proceso **45**. Se puede usar esta configuración cuando se desea un rendimiento energético mínimo a partir de la turbina.

Opcionalmente, antes de operar el sistema, una fuente de vacío **82** puede aplicar un vacío a parte o la totalidad del sistema, incluyendo la PPC **10**, HRSG **20** y todas las tuberías entre la PPC **10** y HRSG **20** con el fin de retirar todos los gases no deseados y otros contaminantes del sistema. De manera apropiada, se aplica el vacío a cualquier nivel,

tal como de 0 Pa (0 libras por pulgada cuadrada de vacío (PSIV)) hasta aproximadamente 101353 Pa (14,7 PSIV), lo cual retira sustancialmente cualesquiera gases que pudieran experimentar auto-ignición en presencia de las temperaturas de operación de la PPC.

5 En determinadas realizaciones, durante la operación, las antorchas de arco de plasma **15, 17** en la PPC están alimentadas por la electricidad producida por el generador de turbina de vapor **100**. No obstante, las antorchas **15, 17** todavía necesitan energía con el fin de alimentar un "arranque en frío" cuando el generador de turbina **100** no se encuentra en operación. Para dichas situaciones, el sistema puede incluir un generador **55** que se usa para el arranque en frío de las antorchas **15, 17** y otros componentes de PPC. Se puede usar cualquier generador apropiado, tal como un generador diesel capaz de producir una energía de 2MW - 5 MW. Alternativamente, se puede usar energía procedente de la red eléctrica local para llevar a cabo el arranque en frío por medio de un conmutador de transferencia automático (ATS).

10 Opcionalmente, el sistema puede incluir una cámara de procesamiento secundaria ("SPC") **110** y un segundo HRSG **120** para producir vapor adicional con el fin de operar una segunda turbina **200**. En determinadas realizaciones, la SPC y el segundo HRSG pueden ser un sistema auto-contenido que contiene parte o la totalidad de los componentes asociados a la PPC y el primer HRSG, tal como su propia fuente de suministro de gas, bomba de vacío, suministro de agua y otros componentes como se indica en la Figura 1. Alternativamente, dicho segundo sistema puede interconectarse con el primer HRSG **20** de forma que el gas de suministro procedente de la salida **24** del primer HRSG se dirija a la entrada de la SPC**116** y/o la segunda fuente de gas **80** y fuente de agua **191**. Este gas de salida y agua se pueden mezclar con el gas procedente de la segunda fuente de gas **180** y agua procedente de la segunda fuente de agua **191**, se pueden procesar en la SPC **110** y se puede usar el gas de escape resultante en el segundo HRSG **120**. Se pueden usar diversas configuraciones inter-dependientes. En cualquiera de estas realizaciones, se puede controlar la SPC **110** y el segundo HRSG **120** por medio de su propio controlador de proceso, o de manera más normal, por medio del mismo controlador de proceso **45** que manipula el primer conjunto del equipo. La SPC **110** puede ser una unidad que tiene un diseño bien centrífugo o no centrífugo.

25 Como con el caso de la PPC **10**, la SPC **110** incluye una o más antorchas **115, 117**. La SPC también puede tener una entrada de agua **119**, entrada de gas **116** y salida de gas **118**. La SPC **110** puede estar asociada a una válvula de control de agua **193**, una válvula de control de gas **171**, una válvula de gas de escape **173** y una segunda fuente de vacío **182**. La segunda fuente de gas de suministro **180** puede incluir o se puede asociar con una bomba **184** para proporcionar gas a la PPC **10**, una bomba **186** y una válvula **172** para proporcionar gas directamente al segundo HRSG, y una válvula de descarga de presión **188**. Una válvula de mezcla **169** puede combinar el gas de escape procedente de la SPC **110** con el gas de suministro directamente procedente de la fuente. Uno o más sensores **161, 162** pueden detectar presión, temperatura y/o otra información y proporcionársela al controlador **45**. Una fuente de energía **155** puede proporcionar energía a las antorchas **115, 117** durante el arranque.

35 El segundo HRSG **120** incluye una entrada **122** para recibir la corriente de vapor de gases de escape procedente de la SPC **110** y una salida **124** para descargar la corriente de gas del HRSG **120** de nuevo hasta la SPC **110** para el re-calentamiento. Normalmente, el segundo HRSG **120** recibe agua procedente de la fuente **127** por medio de una entrada de agua **126** y usa el gas caliente para convertir el agua en vapor **129**. El vapor se dirige a un receptor **200**, tal como un generador de turbina de vapor, para la producción de electricidad, proporcionándose el vapor a la presión necesaria para los requisitos del receptor. En determinadas realizaciones, una vez que el vapor opera la turbina, se puede re-dirigir el vapor de nuevo hasta la fuente de agua **127** para la re-utilización en el HRSG **120**. Se puede proporcionar de nuevo el gas de escape procedente del HRSG a la SPC **110** y/o la PPC **10**, opcionalmente por medio de una o más bombas, bombas de vacío **182** y válvulas **174**. Se puede usar una válvula de descarga **175** para liberar presión y/o purgar los subproductos no deseados tales como oxígeno.

45 Se puede desviar la mezcla de gases calientes y no calientes de la entrada al interior del HRSG por medio de una línea de derivación, controlada por medio de válvulas de derivación **177** y **179**. Esta configuración se puede usar cuando se desee un rendimiento energético mínimo a partir de la turbina.

50 De este modo, el método y el sistema pueden incluir etapas múltiples a través de las cuales la corriente de gas de suministro pasa de forma secuencial, comprendiendo cada una de las etapas una cámara de procesamiento o un reactor y un generador de vapor con recuperación de calor (HRSG), estando HRSG aguas abajo con respecto a la cámara de procesamiento.

Como se ha descrito anteriormente, la Figura 2 es un diagrama esquemático de una antorcha de arco de plasma no transferida **350** a modo de ejemplo. La Figura 2 muestra el electrodo frontal **310**, el electrodo trasero **312**, el aislante **318**, el suministro de gas de arco **320** y el gas de plasma **330**.

55 La Figura 3 es un diagrama de una realización vertical que muestra la cámara de procesamiento principal **10** en comunicación fluida con el primer HRSG **20** que tiene una entrada **22** y una salida **24**, la unidad de procesamiento secundaria **30** que tiene una entrada **32** y una salida **34** y el segundo HRSG **110** que tiene una entrada **116** y una salida **198**. La cámara de procesamiento primaria **10** tiene una salida de gas **18**, una antorcha de arco de plasma **15** y un motor centrífugo opcional **400**.

En diversas realizaciones, los métodos y sistemas descritos en el presente documento se pueden usar para la generación de vapor sin la combustión de combustibles fósiles y la liberación concomitante de gases de efecto invernadero tales como SO_x y NO_x . En determinadas realizaciones, el vapor que se produce se puede usar para alimentar un generador de turbina de vapor para la producción de electricidad. En otras realizaciones, el aparato resulta apropiado para la producción de electricidad, calor y agua enfriada en un edificio comercial o en un recipiente marino. En diversas realizaciones, el aparato puede reducir sustancialmente la energía anual total y los costes energéticos con respecto al uso combinado de sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente e iluminación para edificios comerciales, en comparación con un edificio de referencia.

La Figura 4 ilustra un ejemplo de un proceso de generación de vapor. En algunas realizaciones, un método de generación de vapor puede incluir suministrar, de manera controlada, **401** dióxido de carbono y agua a una cámara de procesado principal, controlar **403** al menos una antorcha de arco de plasma para calentar el dióxido de carbono y el agua en la cámara de procesado principal a una temperatura que es de aproximadamente 180°C a aproximadamente 36.000°C , y convertir el dióxido de carbono y el agua en una mezcla de gases de escape que comprende hidrógeno y monóxido de carbono; opcionalmente mezclar **405**, de forma controlada, cierto volumen de dióxido de carbono no caliente con el gas de escape formando de este modo una mezcla de gases; proporcionar **419** la mezcla de gases a una entrada de un generador de vapor con recuperación de calor; y retornar **421** una corriente de escape desde la salida del generador de vapor con recuperación de calor hasta la cámara de procesado principal para el re-calentamiento. La cámara de procesado principal, el generador de vapor con recuperación de calor, y las tuberías que transfieren gas entre la cámara de procesado principal y el generador de vapor con recuperación de calor pueden actuar como un sistema cerrado de forma que no se libere gas alguno a la atmósfera durante la operación normal.

Opcionalmente, el método puede incluir evacuar **399** la cámara de procesado principal, el generador de vapor con recuperación de calor y todas las tuberías que transfieren gas entre la cámara de procesado principal y el generador de vapor con recuperación de calor antes de suministrar el gas al interior del sistema cerrado. El método también puede incluir controlar **409** al menos una variable del sistema con al menos un controlador de sistema; proporcionar **413** datos de variables del sistema procedentes de al menos un controlador al sistema de control; y usar **415** el sistema de control para controlar las antorchas de arco de plasma, el suministro de gas a la cámara de procesado principal y/o la mezcla del gas caliente con el gas no caliente. Por ejemplo, el sistema usa análisis espectrográfico para analizar el rendimiento de los controladores y determinar un flujo de gas al interior de la cámara de procesado principal, junto con el flujo de gases de escape procedente de HRSG. Con el fin de mantener una combinación deseada de gases de escape de HRSG (tal como 1 parte de H_2 con respecto a 2 partes de CO), el sistema puede aumentar o disminuir las cantidades relativas de CO_2 y H_2 que penetran en la cámara de procesado principal. El control proporcionado por medio del sistema de control puede estar basado, al menos en parte, en los datos de las variables del sistema. El método también puede incluir derivar **417**, de forma controlada, parte o la totalidad de la mezcla de gases de la entrada del generador de vapor con recuperación de calor hasta la salida del generador de vapor con recuperación de calor.

El método también puede incluir suministrar **423**, de manera controlada, al menos una parte de la mezcla de gases procedente de al menos un generador de vapor con recuperación de calor a una entrada de un segundo generador de vapor con recuperación de calor. Opcionalmente, se puede calentar el gas en una segunda cámara de procesado antes del suministro al segundo generador de vapor con recuperación de calor. Una vez que el segundo generador de vapor con recuperación de calor usa el gas para producir vapor, el método puede incluir retornar **425** la mezcla de gases desde la salida del segundo generador de vapor con recuperación de calor hasta la cámara de procesado principal para el re-calentamiento.

La Figura 5 muestra un diagrama de bloques del hardware interno que se puede usar para contener o implementar los componentes de control de procesado comentados anteriormente. Una vía de transferencia **600** sirve como línea principal de información que inter-conecta los otros componentes ilustrados del hardware. La CPU **605** es un procesador, la unidad de procesado central del sistema que desarrolla los cálculos y las operaciones lógicas necesarias para ejecutar un programa. La CPU **605**, sola o junto con uno o más de los otros elementos divulgados en la Figura 5, es un dispositivo de procesado, dispositivo de computación o procesador tal y como se usan dichos términos en la presente divulgación. La memoria exclusiva de lectura (ROM) **610** y la memoria de acceso aleatorio (RAM) **615** constituyen ejemplos de dispositivos de memoria.

Un controlador **620** proporciona una interfaz entre uno o más dispositivos de memoria legibles por ordenador tangibles opcionales **625** y la vía de transferencia del sistema **600**. Estos dispositivos de memoria **625** pueden incluir, por ejemplo, un disco DVD o CD ROM interno o externo, y un disco duro, dispositivo de almacenamiento instantáneo de memoria, disco USB o similar. Como se ha indicado con anterioridad, estos diversos discos y controladores son dispositivos opcionales. Adicionalmente, los dispositivos de memoria **625** pueden estar configurados para incluir archivos individuales para el almacenamiento de cualesquiera módulos de soporte lógico o instrucciones, datos auxiliares, archivos comunes para el almacenamiento de grupos de resultados o auxiliares, o una o más bases de datos para almacenar la información resultante, los datos auxiliares, y la información relacionada como se ha comentado anteriormente.

Las instrucciones de programa, soporte lógico o módulos interactivos para llevar a cabo cualesquiera de los métodos

5 y sistemas que se han comentado anteriormente se pueden almacenar en la ROM **610** y/o la RAM **615**. Opcionalmente, se pueden almacenar las instrucciones de programa en un medio legible y tangible para ordenador tal como un disco compacto, un disco digital, un dispositivo de almacenamiento instantáneo de memoria, una tarjeta de memoria, un disco USB, un medio de almacenamiento de disco óptico, tal como un disco Blu-ray™ y/u otro medio de grabación.

10 Una interfaz de pantalla adicional **640** puede permitir mostrar la información de la vía de transferencia **600** sobre la pantalla **645** en un formato de audio, visual, gráfico o alfanumérico. La información puede incluir información relacionada con un ticket de trabajo real y cuestiones asociadas. La comunicación con dispositivos externos puede tener lugar usando varios puertos de comunicación **650**. Se puede unir un puerto de comunicación **650** a modo de ejemplo a una red de comunicaciones, tal como Internet o una red de área local.

El hardware también puede incluir una interfaz **655** que permite la recepción de datos procedentes de dispositivos de entrada tales como un teclado **660** u otro dispositivo de entrada **665** tal como un ratón, un mando, una pantalla táctil, un control remoto, un dispositivo de señalamiento, un dispositivo con entrada de video y/o un dispositivo de entrada de audio.

15 EJEMPLO 1: Las temperaturas de salida de PPC y SPC ambas son iguales a aproximadamente 2400 °F (1316 °C)

20 Se pueden controlar de forma selectiva las temperaturas de salida del gas producido por medio de PPC y SPC encendiendo o apagando las antorchas de arco plasma, así como controlando el caudal de gas suministrado a la cámara. Dadas estas entradas para una cámara de procesamiento principal de un volumen de 5.000 pie³ (141.584 l) y una cámara de procesamiento secundaria de volumen 10.000 pie³ (286.000 l), las temperaturas de salida del gas suministrado a partir de la cámara de procesamiento principal y la cámara de procesamiento secundaria pueden ser ambas aproximadamente iguales a 2400 °F (1316 °C).

Se entiende que la capacidad en volumen de las cámaras de procesamiento puede variar de 1000 pie³ (28.300 l) a 100.000 pie³ (2.830.000 l) o más. Las temperaturas de salida resultantes del primer HRSG y el segundo HRSG puede ser ambas de aproximadamente 50 ° F (10 °C). Son posibles otras temperaturas.

25

REIVINDICACIONES

1.-Un sistema de generación de vapor que comprende:

una fuente de dióxido de carbono (80);

una fuente de agua (91);

5 una cámara de procesado principal (10), comprendiendo la cámara de procesado principal (10):

un alojamiento,

una entrada de gas de suministro (16) que está conectada de forma fluida con la fuente de dióxido de carbono (80) y configurada para recibir el dióxido de carbono procedente de la fuente de dióxido de carbono (80),

10 una entrada de suministro de agua (19) que está conectada de forma fluida con la fuente de agua (91) y configurada para recibir agua procedente de la fuente de agua (91),

15 al menos una antorcha de arco de plasma (15, 17) configurada para calentar el dióxido de carbono y el agua en la cámara de procesado principal (10) hasta una temperatura desde aproximadamente 180 °C hasta 20.000 °C y convertir el dióxido de carbono y el agua en un gas caliente que comprende hidrógeno y monóxido de carbono, y

una salida de gas de cámara de procesado principal (18); y

un generador de vapor con recuperación de calor (20), que comprende:

una entrada de gas caliente (22) que está conectada de forma fluida a la salida de gas de la cámara de procesado principal (18), y

20 un retorno de gas (24),

en el que el generador de vapor con recuperación de calor (20) recibe el gas caliente procedente de la salida de gas de cámara de procesado principal (18) y usa el gas caliente para generar vapor.

2.- El sistema de la reivindicación 1, que además comprende:

25 una primera válvula de gas de suministro (71) que tiene un accionador de primera válvula de gas de suministro, estando la primera válvula de gas de suministro (71) en conexión fluida con la fuente de dióxido de carbono (80) en el lado de entrada y la entrada de gas de suministro (16) en el lado de salida;

una segunda válvula de gas de suministro (69) que tiene un accionador de segunda válvula de gas de suministro, estando la segunda válvula de gas de suministro (69) en conexión fluida con la fuente de dióxido de carbono (80) en el lado de entrada y la entrada de gas caliente (22) en el lado de salida;

30 una pluralidad de controladores de sistema (61, 62), en el que cada uno de los controladores de sistema (61, 62) está configurado para proporcionar una señal de datos indicativa de una variable de sistema; y

un sistema de control automatizado (45) en comunicación de datos con la pluralidad de controladores de sistema (61, 62) y en comunicación operativa con los controladores de sistema (61, 62), el accionador de la primera válvula de gas de suministro y el accionador de la segunda válvula de gas de suministro.

35 3.- El sistema de la reivindicación 1, que comprende además una turbina (100) configurada para recibir el vapor y usar el vapor para generar energía eléctrica.

4.- El sistema de la reivindicación 1, que además comprende:

una primera tubería (25) conectada de forma fluida con la fuente de dióxido de carbono (80) y la entrada de gas de la cámara de procesado principal (16);

40 una segunda tubería (25) conectada de forma fluida con la salida de gas de la cámara de procesado principal (18) y la entrada de gas caliente (22) del generador de vapor con recuperación de calor (20);

una tercera tubería (33) conectada de forma fluida con el retorno de gas (24) del generador de vapor con recuperación de calor (20) y la entrada de gas de suministro (16) de la cámara de procesado principal (10); y

45 una fuente de vacío (82) configurada para conferir un vapor a cada una de las tuberías (25, 33), la cámara de procesado principal (10) y una cámara de gas del generador de vapor con recuperación de calor (20).

- 5.- El sistema de la reivindicación 2, en el que el sistema de control automatizado (45) comprende:
- un procesador (605) y un dispositivo de memoria física (625) configurado para almacenar al menos un conjunto de instrucciones legibles para un procesador con el fin de dirigir la actividad del procesador (605).
- 6.- El sistema de la reivindicación 2, en el que los controladores del sistema (61, 62) comprenden:
- 5 (a) cualquiera de ellos o ambos un controlador de presión (61) y un controlador de temperatura (62);
- (b) un controlador de presión (61) configurado para detectar la presión del gas caliente a medida que se suministra el gas caliente desde la salida de gas de la cámara de procesado principal (18) al generador de vapor con recuperación de calor (20); o
- 10 (c) un controlador de temperatura (62) configurado para detectar una temperatura de gas caliente a medida que se suministra el gas caliente desde la cámara de procesado principal (10) hasta la entrada de gas caliente (22) del generador de vapor con recuperación de calor (20).
- 7.- El sistema de la reivindicación 2, en el que la primera válvula de gas de suministro (71), en respuesta a un comando procedente del sistema de control automatizado (45) hasta el accionador de la primera válvula de gas de suministro, controla de forma variable un flujo de dióxido de carbono al interior de la cámara de procesado principal
- 15 (10); y
- la segunda válvula de gas de suministro (69), en respuesta a un comando procedente del sistema de control automatizado (45) hasta el accionador de la segunda válvula de gas de suministro, controla de forma variable un flujo de dióxido de carbono desde la fuente de dióxido de carbono hasta la entrada de gas caliente (22) del generador de vapor con recuperación de calor (20).
- 20 8.- El sistema de la reivindicación 2, en el que cada una de las antorchas de arco de plasma (15, 17) comprende un accionador en comunicación operativa con el sistema de control automatizado (45) que, en respuesta a un comando procedente del sistema de control automatizado (45), controla de forma variable la activación de su correspondiente antorcha (15, 17).
- 9.- El sistema de la reivindicación 2, que además comprende:
- 25 una primera válvula de derivación de dos vías (77) que tiene un accionador de válvula de derivación de dos vías en comunicación operativa con el sistema de control automatizado (45), en el que la primera válvula de derivación (77) está en comunicación fluida con la salida de gas de la cámara de procesado principal (18) y la segunda válvula de gas de suministro (69) en el lado de entrada;
- 30 una segunda válvula de derivación de dos vías (79) que tiene un accionador de segunda válvula de derivación de dos vías en comunicación operativa con el sistema de control automatizado (45), en el que la segunda válvula de derivación está en comunicación fluida con la entrada de gas de suministro de la cámara de procesado principal (16) en el lado de salida; y
- una línea de derivación (23) en comunicación fluida con la primera válvula de derivación de dos vías (77) y la segunda válvula de derivación de dos vías (79),
- 35 en el que la primera válvula de derivación de dos vías (77) se puede controlar por medio del controlador de sistema (45) a través del accionador de la primera válvula de derivación de dos vías para dirigir el flujo de gas desde el lado de entrada de la válvula hasta cualquiera de la entrada de gas caliente (22) o la línea de derivación (23), y la segunda válvula de derivación de dos vías (79) se puede controlar por medio del controlador de sistema (45) a través del accionador de la segunda válvula de derivación de dos vías para dirigir el flujo de gas desde cualquiera
- 40 del retorno de gas procesado (24) o la línea de derivación (23) y hasta el lado de salida de la segunda válvula de derivación de dos vías.
- 10.- El sistema de la reivindicación 2, que además comprende una válvula de control de agua (76) que tiene un accionador de válvula de control de agua en comunicación operativa con el sistema de control (45) que, en respuesta a un comando procedente del sistema de control automatizado (45), controla de forma variable el flujo de agua al interior del generador de vapor con recuperación de calor (20).
- 45 11.- El sistema de la reivindicación 2, en el que la segunda válvula de gas de suministro (69) comprende una válvula de mezcla (69).
- 12.- El sistema de la reivindicación 1, que comprende además una fuente de energía (55) configurada para proporcionar energía a al menos una de las antorchas de arco de plasma (15, 17) durante el arranque en frío, opcionalmente en el que la fuente de energía (55) comprende un generador o un conmutador de transferencia automatizado en comunicación eléctrica con un suministro de energía eléctrica.
- 50 13.- El sistema de la reivindicación 1, que además comprende un segundo generador de vapor con recuperación de

calor (120), comprendiendo el segundo generador de vapor con recuperación de calor (120):

una entrada de gas (122) en comunicación fluida con el retorno de gas (24) del primer generador de vapor con recuperación de calor;

5 en el que el segundo generador de vapor con recuperación de calor (120) recibe el gas procedente del primer generador de vapor con recuperación de calor (20) y usa el gas para generar vapor, que opcionalmente comprende además una válvula de conexión que tiene un accionador de válvula de conexión en conexión operativa con un sistema de control (45), estando la válvula de conexión en comunicación fluida con el retorno de gas procesado (24) del primer generador de vapor con recuperación de calor (20) en el lado de entrada, y una segunda entrada de gas procesado (122) del segundo generador de vapor con recuperación de calor (120) en el lado de salida.

10 14.- Un método, que comprende:

suministrar de forma controlada dióxido de carbono y agua a una primera cámara de procesado (10);

15 controlar al menos una antorcha de arco de plasma (15, 17) para calentar el dióxido de carbono y el agua en la cámara de procesado principal (10) a una temperatura que es de aproximadamente 180 °C hasta aproximadamente 36.000 °C y convertir el dióxido de carbono y el agua en un gas caliente que comprende hidrógeno y monóxido de carbono;

suministrar el gas caliente a una entrada (22) de un generador de vapor con recuperación de calor (20); y

retornar un gas de escape procedente de una salida (24) del generador de vapor con recuperación de calor (20) hasta la cámara de procesado principal (10) para el re-calentamiento;

20 en el que la cámara de procesado principal (10), al menos un generador de vapor con recuperación de calor (20), y todas las tuberías (25) que transfieren el gas entre la cámara de procesado principal (10) y el generador de vapor con recuperación de calor (20) operan como un sistema cerrado de manera que no se escapa ningún gas a la atmósfera durante la operación normal.

15.- El método de la reivindicación 14, que además comprende:

25 (a) evacuar la cámara de procesado principal (10), el generador de vapor con recuperación de calor (20) y todas las tuberías (25) que transfieren gas entre la cámara de procesado principal (25) y el generador de vapor con recuperación de calor (20) antes de suministrar el gas al sistema cerrado;

30 (b) controlar al menos una variable del sistema con al menos un controlador de sistema (61, 62), proporcionar datos de las variables del sistema procedentes de al menos un controlador (61, 62) a un sistema de control (45) y usar el sistema de control (45) para controlar al menos una antorcha de arco de plasma (15, 17), el suministro de gas a la cámara de procesado principal (10) y la mezcla de gas no caliente procedente de la fuente de gas (80) con el gas caliente, en el que el control proporcionado por el sistema de control se basa, al menos en parte, en los datos de las variables del sistema;

(c) derivar de forma controlada el gas caliente procedente de la entrada (22) del generador de vapor con recuperación de calor (20) hasta la salida (24) del generador de vapor con recuperación de calor (20), y/o;

35 (d) suministrar de forma controlada al menos una parte de los gases de escape procedentes de al menos un generador de vapor con recuperación de calor (20) hasta una entrada (122) de un segundo generador de vapor con recuperación de calor (120) y retornar el gas procedente de una salida (124) del segundo generador de vapor con recuperación de calor (120) hasta la cámara de procesado principal (10) para el re-calentamiento.

40

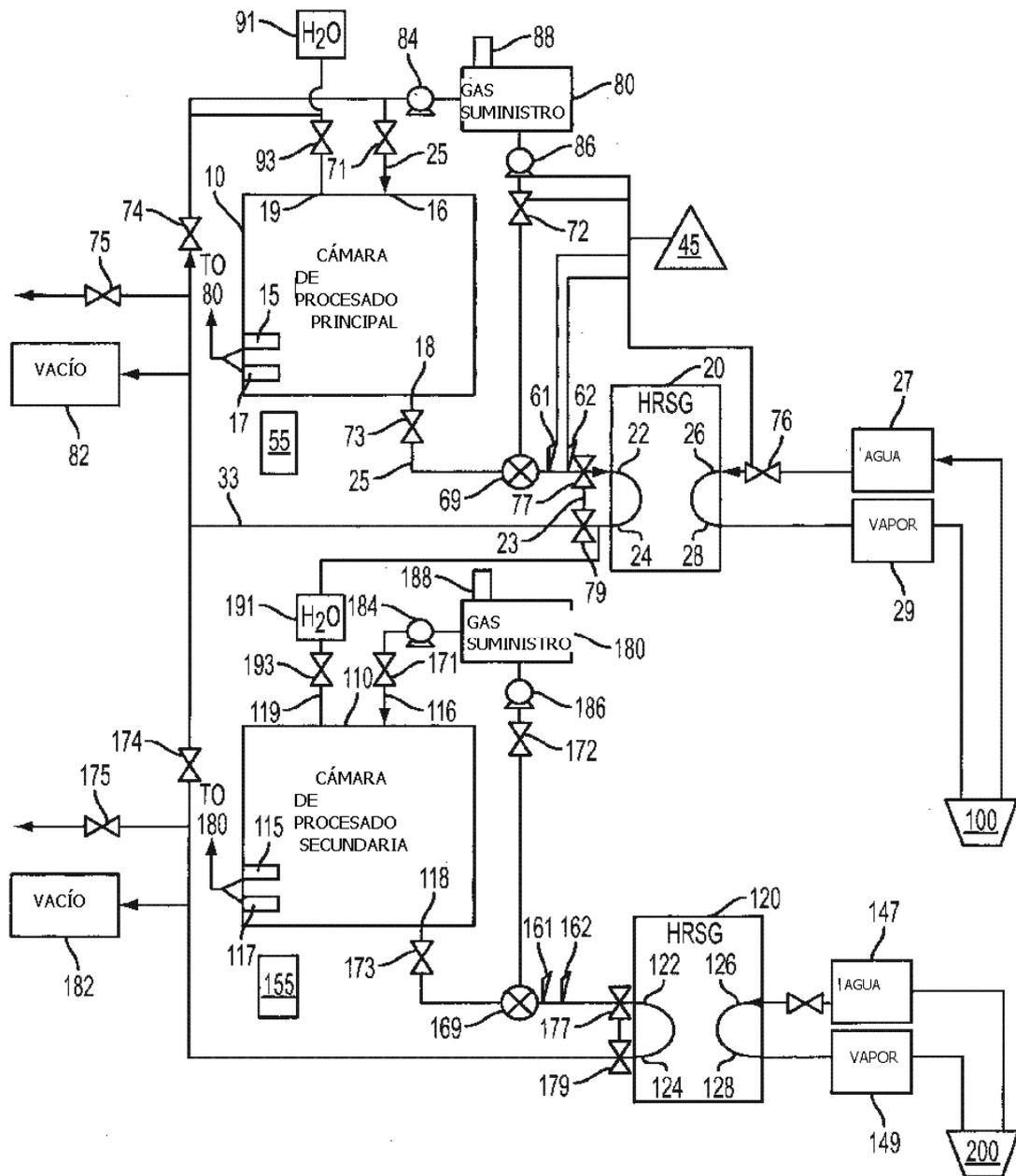


FIG. 1

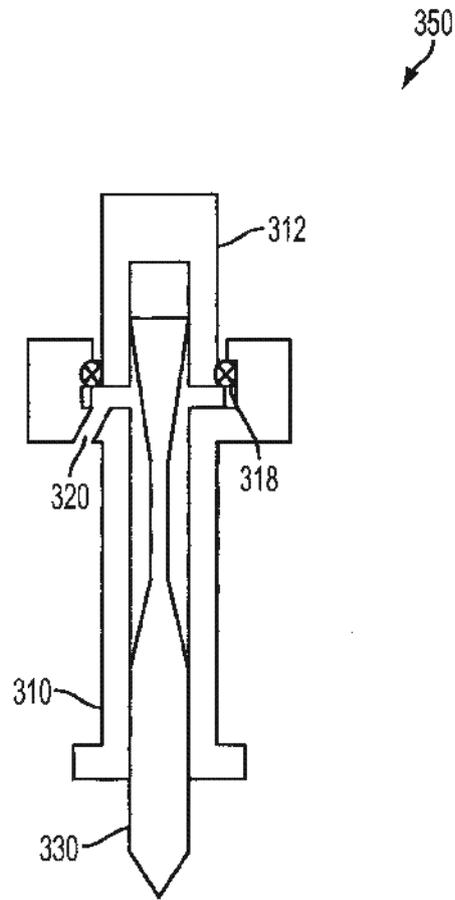


FIG. 2

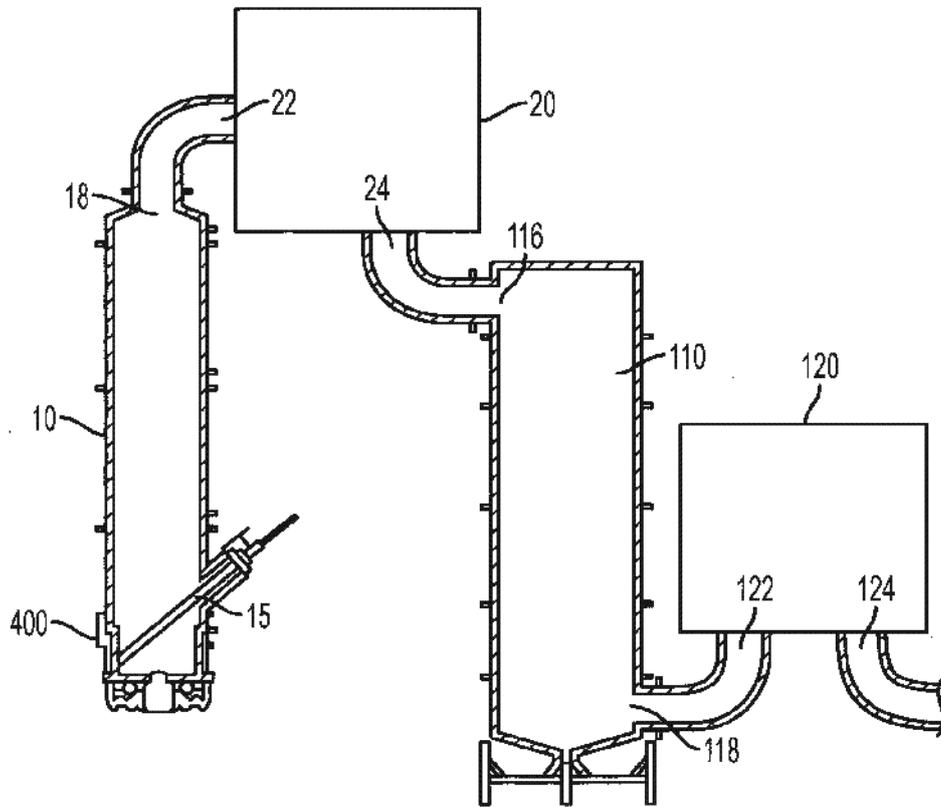


FIG. 3

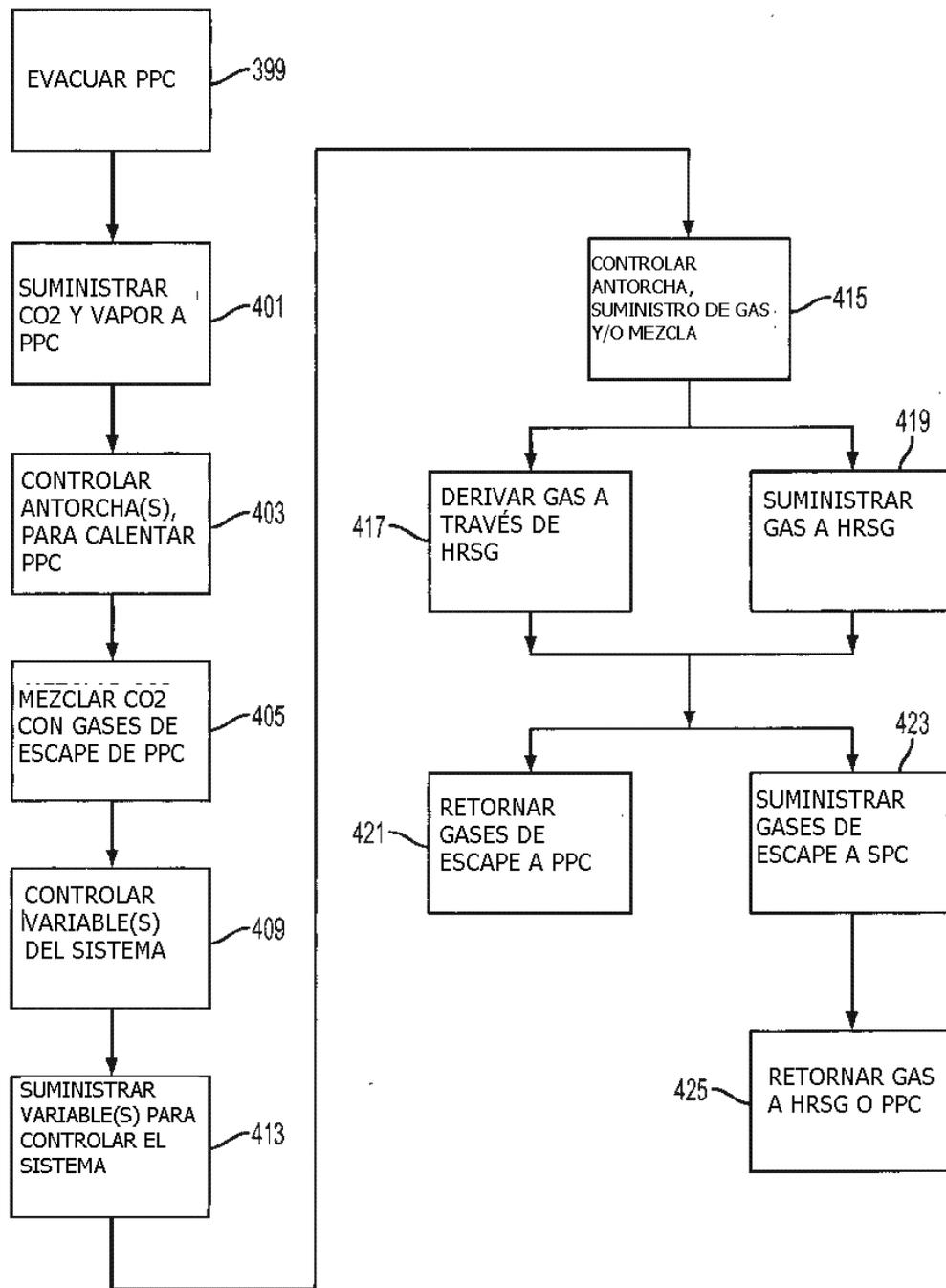


FIG. 4

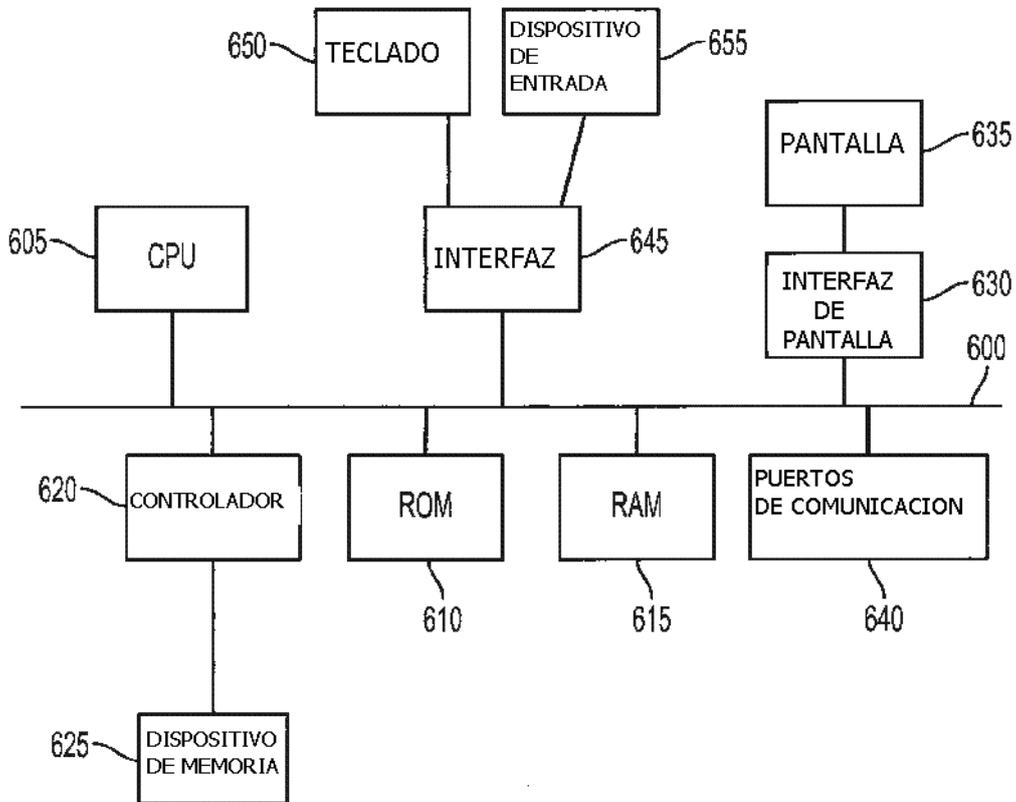


FIG. 5