

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 264**

51 Int. Cl.:

C01B 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2013** **E 13189956 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.06.2018** **EP 2865639**

54 Título: **Proceso integrado para la producción de hidrógeno y agua**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.10.2018

73 Titular/es:
AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, PA 18195-1501, US

72 Inventor/es:
PENG, XIANG-DONG;
MILLER, DEREK;
ACHILLES, GEOFFREY COLLING y
LI, XIANMING JIMMY

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 687 264 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

Proceso integrado para la producción de hidrógeno y agua

Antecedentes

5 El proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono es un gran consumidor de agua. Aproximadamente se consumen 5 kg de agua por cada kg de hidrógeno producido. El uso eficiente del agua es particularmente importante en regiones donde el agua es escasa.

La industria desea reducir la cantidad de agua importada (es decir, agua de reposición) mediante el proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono de vapor, particularmente en regiones donde el agua es escasa.

10 La industria además desea reducir o eliminar el costo del tratamiento de agua en una planta de reformado catalítico con vapor de hidrato de carbono. En la actualidad, el agua de reposición se debe tratar en una planta catalítica de reformado con vapor de hidrato de carbono para que cumpla los requisitos del agua de alimentación de la caldera. Estos tratamientos incluyen la filtración para eliminar partículas, la desmineralización para eliminar minerales y la desaireación para eliminar gases solubles como O₂ y CO₂.

Breve compendio

15 La presente invención se refiere a un proceso para producir un producto que contiene H₂ y uno o más productos de agua líquida y pretende satisfacer los deseos de la industria antes mencionados. El producto que contiene H₂ se produce usando un proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono.

20 El proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono quema una gran cantidad de combustible de hidrato de carbono para proporcionar calor a las reacciones de reformado. El gas del producto de combustión (gas de combustión) contiene vapor de agua como un producto de combustión. La cantidad de agua en el gas del producto de combustión puede ser de aproximadamente 60% a aproximadamente 90% del agua total que reacciona en las reacciones de reformado. La recuperación de agua del gas del producto de la combustión puede reducir significativamente la demanda de agua externa del proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono.

25 La recuperación de agua del gas del producto de combustión no se ha realizado en el proceso de reformado con vapor de agua convencional debido a que es costoso. Antes de que el agua en el gas del producto de combustión pueda condensarse, es necesario eliminar una gran cantidad de calor sensible de bajo nivel del gas del producto de combustión. Convencionalmente, este calor es rechazado a la atmósfera. Por lo tanto, no solo la recuperación de agua necesita cubrir el costo asociado con el equipo y la utilidad de enfriamiento para condensar el agua, sino también el costo asociado con el equipo y la utilidad de enfriamiento para rechazar el calor sensible, logrando la recuperación de agua utilizando diseños de reformado anteriores comercialmente inviables.

30

La industria necesita formas rentables de recuperar el agua del gas del producto de combustión. La presente invención ayuda a lograr este objetivo al eliminar o reducir el costo asociado con el rechazo de calor sensible de bajo nivel del gas del producto de combustión a la atmósfera.

35 El calor sensible de bajo nivel se extrae del gas del producto de la combustión (gas de combustión) y del reformado para calentar el agua de reposición antes de introducir el agua de reposición en un desaireador. El gas del producto de combustión se enfría adicionalmente en un condensador para condensar el agua del gas del producto de combustión formando así al menos una porción del uno o más productos de agua líquida.

40 La extracción del calor sensible de bajo nivel del gas del producto de combustión para calentar el agua de reposición permite la eliminación o reducción en la cantidad del calor sensible que se debe rechazar a la atmósfera antes de que el agua se pueda condensar del gas del producto de combustión, por lo tanto, reduciendo el costo de la recuperación de agua. El mecanismo de trabajo depende de la cantidad de vapor de exportación que produce el proceso de producción de hidrógeno.

45 Cuando se desea una alta producción de vapor de exportación, el calor sensible transferido al agua de reposición se recircula al proceso de producción de hidrógeno para mejorar su eficiencia térmica. Esta parte de la eliminación del calor sensible del gas del producto de combustión expresa que su valor en la mejora de la eficiencia de producción de hidrógeno no contribuye al costo de la recuperación de agua del gas del producto de combustión, lo que hace que la recuperación del agua sea más costosa.

50 Cuando se desea una producción de vapor de exportación media o baja, calentar el agua de reposición utilizando el gas del producto de combustión desplaza esencialmente el calor sensible de bajo nivel en el gas del producto de combustión al reformado. El calor de bajo nivel en el reformado después se usa como la fuente de calor para un proceso de purificación de agua térmica tal como proceso de destilación por múltiple efecto o proceso súbito de etapas múltiples para producir agua purificada. Esta parte de eliminación del calor sensible del gas del producto de combustión aprovecha su valor en la producción del agua purificada, por lo tanto, no contribuye al costo de recuperación de agua del gas de combustión, haciendo que la recuperación de agua sea más rentable.

En la producción de vapor de baja exportación, el calor sensible adicional del gas del producto de la combustión se utiliza como la fuente de calor en un proceso de purificación de agua térmica para producir agua purificada. Esta parte adicional de la eliminación de calor sensible aprovecha su valor de producir agua purificada, por lo tanto, no contribuye al costo de la recuperación de agua del gas del producto de combustión, hace que la recuperación de agua sea más rentable.

En algunas realizaciones, la presente invención integra un proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono con un proceso de purificación de agua térmica tal como proceso de destilación por múltiple efecto o proceso súbito de etapas múltiples usando el calor de bajo nivel en el reformado y el calor sensible adicional en el gas del producto de combustión en el proceso de purificación de agua térmica.

Esta integración opcional proporciona una fuente de energía de bajo costo para la purificación de agua térmica. Esta integración también proporciona un nuevo disipador de calor (es decir, el calor para la purificación de agua térmica) y una fuente de agua de alta pureza para el proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono. La presente invención usa este nuevo disipador de calor y la fuente de agua de alta pureza para reconfigurar el sistema de reformado de recuperación de calor, y simplificar el sistema de tratamiento de agua del proceso de reformado catalítico con vapor de hidrato de carbono, satisfaciendo así las necesidades industriales mencionadas anteriormente.

Hay varios aspectos del proceso como se describe a continuación. A continuación, se describirán los aspectos específicos del proceso. Los números de referencia y las expresiones establecidas entre paréntesis se refieren a realizaciones de ejemplo explicadas más adelante con referencia a las figuras y se proporcionan para la conveniencia del lector. Los números y expresiones de referencia son, sin embargo, solo ilustrativos y no limitan el aspecto a ningún componente o característica específica de la realización de ejemplo. Los aspectos se pueden formular como reivindicaciones en las que los números expresiones de referencia establecidos entre paréntesis se omiten o reemplazan por otros según corresponda.

Aspecto 1. Un proceso que comprende:

(a) introducir una mezcla de gas de alimentación de reformado (15) en una pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador (20) en un horno de reformado (10), reaccionar la mezcla de gas de alimentación de reformado (15) en una reacción de reformado en condiciones de reacción eficaces para formar un reformado (25) que comprende H_2 , CO , CH_4 y H_2O , y retirar el reformado (25) de la pluralidad de tubos que contienen catalizador (20);

(b) quemar un combustible (5) con un gas oxidante (3) en una sección de combustión (30) del horno de reformado (10) externo a la pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador (20) en condiciones eficaces para quemar el combustible (5) para formar un gas de producto de combustión (35) y generar calor para proporcionar energía para hacer reaccionar la mezcla de gas de alimentación de reformado (15) dentro de la pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador (20), y retirar el gas de producto de combustión (35) de la sección de combustión (30);

(c) calentar una primera corriente de agua de alimentación (87) mediante transferencia indirecta de calor con el gas de producto de combustión (35) enfriando de ese modo el gas de producto de combustión (35);

(d) calentar una segunda corriente de agua de alimentación (85) por transferencia indirecta de calor con el reformado (25) retirar de la pluralidad de tubos que contienen catalizador (20), enfriando de este modo el reformado (25);

(e) pasar la primera corriente de agua de alimentación (87) y la segunda corriente de agua de alimentación (85) a un desaireador (110), la primera corriente de agua de alimentación que pasa al desaireador (110) después de ser calentada por el gas del producto de combustión (35), la segunda corriente de agua de alimentación que pasa al desaireador (110) después de ser calentada por el reformado (25), retirar los gases disueltos de la primera corriente de agua de alimentación (87) y de la segunda corriente de agua de alimentación (85) en el desaireador (110), retirar una corriente de ventilación (17) del desaireador (110), la corriente de ventilación (17) que comprende vapor y gases formados a partir de los gases disueltos extraídos de la primera corriente de agua de alimentación (87) y de la segunda corriente de agua de alimentación (85) y retirar una corriente de agua de alimentación de la caldera (123) del desaireador (110), la corriente de agua de alimentación de la caldera (123) que comprende al menos una parte de la primera corriente de agua de alimentación (87) y al menos una parte de la segunda corriente de agua de alimentación (85);

(f) introducir el gas de producto de combustión (35) en un condensador (9) después de que el gas de producto de combustión se haya enfriado mediante la primera corriente agua de alimentación (87), enfriar el gas de producto de combustión en el condensador mediante transferencia indirecta de calor con un fluido refrigerante que condensa el agua del gas de producto de combustión para formar una corriente de agua líquida (8), separar la corriente de agua líquida (8) de una corriente de gas de producto de combustión empobrecida agua (14), retirar la corriente de agua líquida (8) del condensador, y retirar la corriente de gas de producto de combustión empobrecida en agua (14) del condensador (9); y

(g) formar el producto que contiene hidrógeno (105) del reformado (25) después de que el reformado (25) ha calentado la segunda corriente de agua de alimentación (85);

(h) en el que el uno o más productos de agua líquida comprenden la corriente de agua líquida (8) retirada del condensador (9).

Aspecto 2. El proceso del aspecto 1 en el que la primera corriente de agua de alimentación (87) se calienta mediante el gas de producto de combustión (35) en la etapa (c) a una temperatura en el intervalo de 65°C a 125°C.

5 Aspecto 3. El proceso del aspecto 1 o aspecto 2 en el que el gas de producto de combustión (35) se enfría a una temperatura en el intervalo de 50°C a 85°C como resultado del calentamiento de la primera corriente de agua de alimentación (87).

Aspecto 4. El proceso de cualquiera de los aspectos 1 a 3, en el que la segunda corriente de agua de alimentación (85) se calienta por el reformado (25) en la etapa (d) a una temperatura en el intervalo de 65°C a 125°C.

10 Aspecto 5. El proceso de cualquiera de los aspectos 1 a 4, en el que el reformado (25) se enfría a una temperatura en el intervalo de 25°C a 150°C como resultado del calentamiento de la segunda corriente de agua de alimentación (85).

15 Aspecto 6. El proceso de cualquiera de los aspectos 1 a 5 en el que al menos uno de la primera corriente de agua de alimentación (87) y la segunda corriente de agua de alimentación (85) comprende al menos una parte de la corriente de agua líquida (8). El agua líquida (8) del gas de producto de combustión se puede usar como agua de reposición dentro del proceso de reformado.

Aspecto 7. El proceso de cualquiera de los aspectos 1 a 6 en el que el reformado (25) se separa en una segunda corriente de agua líquida (97) y una parte de reformado empobrecida en agua (95) después de que se enfrió el reformado por la segunda corriente de agua de alimentación (85), donde el uno o más productos de agua líquida comprenden además la segunda corriente de agua líquida (97).

20 Aspecto 8. El proceso del aspecto 7 en el que al menos una de la primera corriente de agua de alimentación (87) y la segunda corriente de agua de alimentación (85) comprende al menos una parte de la segunda corriente de agua líquida (97).

25 Aspecto 9. El proceso de cualquiera de los aspectos 1 a 8 en el que la etapa de formar el producto que contiene hidrógeno (105) comprende separar al menos una parte del reformado por adsorción de oscilación de presión para producir el producto que contiene hidrógeno (105) y un subproducto de gas (115).

Aspecto 10. El proceso del aspecto 9 en el que el combustible (5) comprende el gas subproducto (115) y un combustible suplementario (118; 119).

30 Aspecto 11. El proceso del aspecto 10 además comprende introducir una materia prima de hidrato de carbono (75; 117) en una unidad de hidrosulfuración (300; 310) para eliminar el azufre de la materia prima de hidrato de carbono, y formar el combustible suplementario (118; 119) de al menos una parte de la materia prima de hidrato de carbono obtenida de la unidad de hidrosulfuración.

Aspecto 12. El proceso de cualquiera de los aspectos 1 a 11 que además comprende:

35 calentar agua sin tratar (53) mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) de la etapa (a) calentando de ese modo el agua sin tratar para la purificación de la misma mediante un proceso de purificación de agua térmica para producir agua purificada (42), y enfriando de este modo el reformado (25), en el que el reformado (25) se enfría para calentar el agua sin tratar (53) antes o después de que el reformado (25) se enfría para calentar la segunda corriente de agua de alimentación (85);

donde el uno o más productos de agua líquida además comprende el agua purificada (42).

40 Aspecto 13. El proceso del aspecto 12 en el que la etapa de calentar agua sin tratar (53) mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) comprende:

calentar un fluido de trabajo mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) de la etapa (a) y calentar el agua sin tratar (53) mediante transferencia indirecta de calor con el fluido de trabajo.

45 Aspecto 14. El proceso del aspecto 13 en el que el fluido de trabajo es agua, en el que el agua de fluido de trabajo se evapora para formar una corriente de vapor (161) que tiene una presión en el intervalo 15,2 kPa a 304 kPa (absoluta) cuando se calienta mediante el reformado (25) de la etapa (a), y en el que al menos una parte de la corriente de vapor (161) se condensa al calentar el agua sin tratar.

Aspecto 15. El proceso de cualquiera de los aspectos 12 a 14 que además comprende:

formar un producto de vapor (150) a partir de al menos una parte de la corriente de agua de alimentación de la caldera (123) extraída del desaireador (110) o no formar un producto de vapor (150);

en el que la etapa de formar el producto que contiene hidrógeno (105) comprende separar al menos una parte del reformado mediante adsorción por oscilación de presión para producir el producto que contiene hidrógeno (105) y un subproducto de gas (115);

5 en donde el producto que contiene hidrógeno (105) tiene un caudal másico, m_{H_2} , el producto de vapor (150) exportado desde el proceso tiene un caudal másico, m_{vapor} , donde $m_{vapor} = 0$ cuando no se forma producto de vapor, la mezcla de gas de alimentación del reformado (15) tiene un caudal másico de mezcla de gas de alimentación del reformado, la primera corriente de agua de alimentación (87) tiene un caudal másico de primera corriente de agua de alimentación, la segunda corriente de agua de alimentación (85) tiene un caudal másico de segunda corriente de agua alimentación, el combustible (5) tiene un caudal másico de combustible, y el gas oxidante (3) tiene un caudal másico de gas oxidante; y

10 donde el caudal másico de la mezcla de gas de alimentación, el caudal másico de la primera corriente de agua de alimentación, el caudal másico de la segunda corriente de agua de alimentación, el caudal másico de combustible y el caudal másico de gas oxidante se seleccionan de tal manera que

$$0 \leq \frac{m_{vapor}}{m_{H_2}} \leq 13.$$

15 donde el producto que contiene hidrógeno es al menos 95 molar % de hidrógeno.

Aspecto 16. El proceso de cualquiera de los aspectos 1 a 15 que además comprende:

20 calentar agua sin tratar (53) mediante transferencia indirecta de calor con el gas de producto de combustión (35) de la etapa (b) calentar de este modo el agua sin tratar para su purificación mediante un proceso de purificación de agua térmica para producir agua purificada (42), y enfriar de ese modo los gases de los productos de combustión, en donde el gas del producto de combustión se enfría para calentar el agua sin tratar antes de que el gas de producto de combustión se enfría para calentar la primera corriente de agua de alimentación (87);

en donde el uno o más productos de agua líquida comprenden además el agua purificada (42).

25 Aspecto 17. El proceso del aspecto 16 en el que la etapa de calentar agua sin tratar (53) mediante transferencia indirecta de calor con el gas de producto de combustión (35) comprende: calentar un fluido de trabajo mediante transferencia indirecta de calor con el gas de producto de combustión de la etapa (b) y calentar el agua sin tratar mediante transferencia indirecta de calor con el fluido de trabajo.

30 Aspecto 18. El proceso del aspecto 17 en el que el fluido de trabajo es agua, en el que el agua del fluido de trabajo se evapora para formar una corriente de vapor (221) que tiene una presión en el intervalo de 15,2 kPa y 304 kPa (absoluta) cuando se calienta por el gas de producto de combustión (35) de la etapa (b), y en el que al menos una parte de la corriente de vapor (221) se condensa cuando se calienta el agua sin tratar (53).

Aspecto 19. El proceso de cualquiera de los aspectos 16 a 18 que además comprende:

formar un producto de vapor (150) a partir de al menos una parte de la corriente de agua de alimentación de la caldera (123) extraída del desaireador (110) o no formar un producto de vapor (150);

35 en el que la etapa de formar el producto que contiene hidrógeno (105) comprende separar al menos una parte del reformado mediante adsorción por oscilación de presión para producir el producto que contiene hidrógeno (105) y un subproducto de gas (115);

40 en donde el producto que contiene hidrógeno (105) tiene un caudal másico, m_{H_2} , el producto de vapor (150) exportado desde el proceso tiene un caudal másico, m_{vapor} , donde $m_{vapor} = 0$ cuando no se forma producto de vapor, la mezcla de gas de alimentación del reformado (15) tiene un caudal másico de mezcla de gas de alimentación del reformado, la primera corriente de agua de alimentación (87) tiene un caudal másico de la primera corriente de agua de alimentación, la segunda corriente de agua de alimentación (85) tiene un caudal másico de la segunda corriente de agua de alimentación, el combustible (5) tiene un caudal másico de combustible, y el gas oxidante (3) tiene un caudal másico de gas oxidante; y

45 donde el reformado alimenta el caudal másico de la mezcla de gases, el caudal másico de la primera corriente de agua de alimentación, el caudal másico de la segunda corriente de agua de alimentación, el caudal másico de combustible y el caudal másico de gas oxidante se seleccionan de forma que

$$0 \leq \frac{m_{vapor}}{m_{H_2}} \leq 7.$$

Aspecto 20. El proceso de cualquiera de los aspectos 12 a 19 en el que el agua sin tratar comprende al menos uno de agua salada, agua de río, agua de arroyo, agua de lago, agua municipal reciclada, agua reciclada industrial y agua subterránea

5 Aspecto 21. El proceso de cualquiera de los aspectos 12 a 20 en el que el proceso de purificación de agua térmica es uno de un proceso de destilación por múltiple efecto o proceso súbito de etapas múltiples.

Breve descripción de varias vistas de los dibujos

10 La figura 1a es un diagrama de flujo del proceso para un proceso de reformado con vapor de hidrato de carbono que muestra una primera parte de agua de reposición calentada por gas de producto de combustión y una segunda parte de agua de reposición calentado por reformado, y también muestra la opción de proporcionar energía térmica a un proceso de purificación de agua térmica a través de un fluido de trabajo tal como agua/vapor para transferir energía térmica del gas de producto de combustión y/o reformado al proceso de purificación de agua térmica.

La figura 1b es un diagrama de flujo de proceso para un proceso súbito de etapas múltiples para integración con el proceso de reformado con vapor de hidrato de carbono de la figura 1a.

15 La figura 1c es un diagrama de flujo de proceso para un proceso de destilación por múltiple efecto para la integración con el proceso de reformado con vapor de hidrato de carbono de la figura 1a.

20 La figura 2a es un diagrama de flujo de proceso para un proceso de reformado con vapor de hidrato de carbono que muestra una primera parte de agua de reposición calentada por gas de combustión y una segunda parte de agua de reposición calentada por reformado y también muestra la opción de proporcionar energía térmica a un proceso de purificación de agua térmica sin utilizar un fluido de trabajo para transferir energía térmica desde el gas de producto de combustión y/o reformado al proceso de purificación de agua térmica.

La figura 2b es un diagrama de flujo del proceso para un proceso súbito de etapas múltiples para integración con el proceso de reformado con vapor de hidrato de carbono de la figura 2a.

25 La figura 3a es un diagrama de flujo de proceso para un proceso de reformado con vapor de hidrato de carbono que muestra una primera parte de agua de reposición calentada por gas de combustión y una segunda parte de agua de reposición calentada por reformado y que también muestra la opción de proporcionar energía térmica a un proceso de purificación de agua térmica sin utilizar un fluido de trabajo para transferir la energía térmica desde el reformado al proceso de purificación de agua térmica.

La figura 3b es un diagrama de flujo de proceso para un proceso súbito de etapas múltiples para integración con el proceso de reformado con vapor de hidrato de carbono de la figura 3a.

30 La figura 3c es un diagrama de flujo de proceso para un proceso de destilación por múltiple efecto para la integración con el proceso de reformado con vapor de hidrato de carbono de la figura 3a.

Descripción detallada.

35 La siguiente descripción detallada proporciona solo ejemplos de realización preferidos, y no está destinada a limitar el alcance, la aplicabilidad o la configuración de la invención. Por el contrario, la siguiente descripción detallada de las realizaciones ejemplares preferidas proporcionará a los expertos en la técnica una descripción capaz de implementar las realizaciones ejemplares preferidas de la invención, entendiéndose que se pueden realizar diversos cambios en la función y la disposición de elementos sin apartarse del alcance de la invención según se define en las reivindicaciones.

40 Los artículos "un" y "uno" como se usan en la presente memoria significan uno o más cuando se aplica a cualquier característica en realizaciones de la presente invención descrita en la memoria y las reivindicaciones. El uso de "un" y "uno" no limita el significado a una sola característica, a menos que dicho límite se especifique de manera específica. El artículo "el" que precede nombres en singular o plural o frases nominales denota una característica especificada particular o características particulares especificadas y puede tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se utiliza.

El adjetivo "cualquiera" significa uno, algunos o todos indiscriminadamente de cualquier cantidad.

45 El término "y/o" colocado entre una primera entidad y una segunda entidad significa uno de (1) la primera entidad, (2) la segunda entidad y (3) la primera entidad y la segunda entidad. El término "y/o" colocado entre las dos últimas entidades de una lista de 3 o más entidades significa al menos una de las entidades en la lista.

El término "pluralidad" significa dos o más a menos que se recite explícitamente para requerir más de dos, por ejemplo, "una pluralidad de tres o más" que significa tres o más.

50 La frase "al menos una parte" significa "una parte o todo". El al menos una parte de una corriente puede tener la misma composición que la corriente de la que deriva. La al menos una parte de una corriente puede tener una composición

diferente de la corriente de la que deriva. La al menos una parte de una corriente puede incluir componentes específicos de la corriente de la que deriva.

Como se usa en el presente documento, una "parte dividida" de una corriente es una parte que tiene la misma composición química que la corriente de la que se tomó.

- 5 Como se usa en este documento, "primero", "segundo", "tercero", etc., se usan para distinguir entre una pluralidad de características y/o etapas y no indica la posición relativa en tiempo o espacio.

Corriente abajo y corriente arriba se refieren a la dirección de flujo que se pretende del fluido de proceso transferido. Si la dirección de flujo prevista del fluido de proceso es desde el primer dispositivo hasta el segundo dispositivo, el segundo dispositivo está en comunicación de flujo de fluido corriente abajo del primer dispositivo.

- 10 El término "empobrecido" significa que tiene una menor concentración en % de moles del componente indicado que la corriente original de la cual se formó. "Empobrecido" no significa que la secuencia carece completamente del componente indicado.

Como se usa en la presente memoria, "calor" y "calentar" pueden incluir calor y calentamiento sensible y latente.

- 15 Como se usa en la presente memoria, las unidades para presión son presión absoluta, no presión manométrica, a menos que se indique específicamente que es presión manométrica.

Como se usa en la presente memoria, "agua sin tratar" es cualquier agua impura, por ejemplo, una o más de agua salada (agua de océano, agua de mar y salobre), agua superficial como un arroyo, río o lago, agua subterránea, reutilizada municipal/industrial o agua reciclada, o agua residual de un proceso industrial. El agua sin tratar generalmente es menos pura que el agua de alimentación industrial convencional, como el agua potable.

- 20 Como se usa en la presente memoria, "agua purificada" significa cualquier agua destilada (es decir, agua destilada o condensada) de un proceso de purificación de agua térmica.

Como se usa en este documento, "reformado" o "una corriente de reformado" es cualquier corriente que comprenda hidrógeno y monóxido de carbono formados a partir de la reacción de reformado de un hidrato de carbono y vapor.

- 25 Como se usa en la presente memoria, "transferencia indirecta de calor" es la transferencia de calor de una corriente a otra corriente en la que las corrientes no se mezclan entre sí. La transferencia indirecta de calor incluye, por ejemplo, la transferencia de calor desde un primer fluido a un segundo fluido en un intercambiador de calor donde los fluidos están separados por placas o tubos. La transferencia indirecta de calor incluye la transferencia de calor desde un primer fluido a un segundo fluido donde se usa un fluido de trabajo intermedio para transportar el calor desde el primer fluido al segundo fluido. El primer fluido puede evaporar un fluido de trabajo, p. ej. agua a vapor, en un evaporador, el fluido de trabajo pasa a otro intercambiador de calor o condensador, donde el fluido de trabajo transfiere calor al segundo fluido. La transferencia indirecta de calor desde el primer fluido a un segundo fluido usando un fluido de trabajo puede acomodarse usando un tubo de calor, termosifón, caldera hirviendo o similar.

- 30 Tal como se usa en la presente memoria, "transferencia directa de calor" es la transferencia de calor de una corriente a otra corriente en la que las corrientes se mezclan íntimamente juntas. La transferencia directa de calor incluye, por ejemplo, humidificación donde el agua se pulveriza directamente en una corriente de aire caliente y el calor del aire evapora el agua.

- 35 En las reivindicaciones, las letras se pueden usar para identificar las etapas del proceso reivindicado (por ejemplo, (a), (b), (c), (d), etc.). Estas letras se usan para ayudar a referirse a las etapas del proceso y no están destinadas a indicar el orden en el que se realizan las etapas reivindicadas, a menos que y solo en la medida en que tal orden se recite específicamente en las reivindicaciones.

- 40 La presente invención se refiere a un proceso para producir un producto que contiene H₂ y uno o más productos de agua líquida. El producto que contiene H₂ puede ser, por ejemplo, un gas de producto H₂ purificado o un producto de gas de síntesis que tiene una relación molar de H₂:CO deseada. El uno o más productos de agua líquida pueden condensarse con agua de un gas producto de combustión y/o agua purificada de un proceso de purificación de agua térmica.

- 45 Un "proceso de purificación térmica" como se usa en la presente memoria es cualquier proceso que utiliza una fuente de calor para evaporar agua bruta y condensa el vapor de agua evaporado en un condensado o destilado (es decir, el agua purificada). El proceso de purificación de agua térmica puede ser, por ejemplo, un proceso de desalinización térmica comercial conocido tal como súbito de etapa múltiple (MSF) o de destilación por múltiple efecto (MED).

- 50 El proceso se describe con referencia a los dibujos, en los que los mismos números de referencia se refieren a elementos similares en todos los dibujos. Además, los números de referencia que se introducen en la especificación en asociación con una figura de dibujo se pueden repetir en uno o más figuras subsiguientes sin una descripción adicional en la especificación para proporcionar contexto para otras características.

El proceso utiliza reformado catalítico con vapor de hidrato de carbono. Reformado catalítico con vapor de hidrato de carbono, también llamado reformado de metano con vapor (SMR), reformado catalítico con vapor o reformado con vapor, se define como cualquier proceso utilizado para convertir la materia prima del reformado en un reformado por reacción con vapor sobre un catalizador. El reformado, también llamado gas de síntesis, o simplemente sintegas, como se usa en la presente memoria es cualquier mezcla que comprende hidrógeno y monóxido de carbono. La reacción de reformado es una reacción endotérmica y se puede describir generalmente como $C_nH_m + n H_2O \rightarrow CO_n CO + (m/2 + n) H_2$. El hidrógeno se genera cuando se genera reformado.

La figura 1a es un diagrama de flujo de proceso para un proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono adecuado para llevar a cabo el presente proceso.

El proceso comprende introducir una mezcla 15 de gas de alimentación reformado en una pluralidad de catalizadores que contienen tubos de reformado 20 en un horno de reformado 10, haciendo reaccionar la mezcla 15 de gas de alimentación del reformado en una reacción de reformado en condiciones de reacción efectivas para formar un reformado 25 que comprende H_2 , CO , CH_4 y H_2O , y retirar el reformado 25 de la pluralidad tubos 20 que contienen catalizador del horno de reformado 10.

La mezcla 15 de gas de alimentación del reformado puede ser cualquier mezcla de gas de alimentación adecuada para introducir en un reformado catalítico con vapor de hidrato de carbono para formar un reformado. La mezcla de gas de alimentación del reformado 15 puede comprender un material de alimentación de hidrato de carbono 75 que ha sido desulfurado y vapor de agua 151, y/o una mezcla de alimentación de hidrato de carbono prerreformada y vapor. La materia prima puede ser gas natural, metano, nafta, propano, efluente gaseoso de refinería, gas de escape de refinería u otra materia prima de reformado adecuada conocida en la técnica.

Como se muestra en la figura 1a, la materia prima de hidrato de carbono 75 se puede calentar mediante transferencia indirecta de calor con reformado 25 en el intercambiador de calor 70 y pasar a la unidad 300 de hidrodesulfuración. Se puede añadir hidrógeno 106 para hidrodesulfuración a la materia prima antes o después de calentar la materia prima hidrocarbonada 75. El producto de hidrógeno 105 se puede usar para proporcionar hidrógeno 106. Al menos una parte 76 de la materia prima desulfurada se puede mezclar con vapor 151 y después calentar adicionalmente por gas de producto de combustión 35 en la sección de convección 45 del reformado 10 antes de ser introducido en los tubos de reformado 20 que contienen catalizador como mezcla de gas de alimentación 15 del reformado.

La reacción de reformado tiene lugar en la pluralidad de tubos de reformado 20 que contienen catalizador en el horno de reformado 10. Un horno de reformado, también llamado reformado catalítico con vapor, reformado de metano con vapor y reformador con vapor de hidrato de carbono, se define en la presente memoria como cualquier horno de cocción utilizado para convertir materia prima que contiene hidrógeno elemental y carbono para reformado mediante una reacción con vapor sobre un catalizador con calor proporcionado por la combustión de un combustible.

Los hornos de reformado con una pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador, es decir, reformados tubulares, son bien conocidos en la técnica. Se puede usar cualquier cantidad adecuada de tubos de reformado que contengan catalizador. Se conocen materiales y métodos de construcción adecuados. El catalizador en los tubos de reformado que contienen catalizador puede ser cualquier catalizador adecuado conocido en la técnica, por ejemplo, un soporte de catalizador que comprende níquel.

Las condiciones de reacción eficaces para formar el reformado 25 en la pluralidad de tubos de reformado 20 que contienen catalizador pueden comprender una temperatura que varía de $500^\circ C$ a $1.000^\circ C$ y una presión que varía de 203 kPa a 5.066 kPa (absoluta). La temperatura del estado de reacción se puede medir por cualquier sensor de temperatura adecuado, por ejemplo un termopar de tipo J. La presión del estado de reacción se puede medir por cualquier sensor de presión adecuado conocido en la técnica, por ejemplo, un manómetro disponible en Mensor.

El proceso comprende quemar un combustible 5 con un gas oxidante 3 en una sección de combustión 30 del horno de reformado 10 externo a la pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador 20 en condiciones eficaces para quemar el combustible 5 para formar un gas de producto de combustión 35 que comprende CO_2 y H_2O . Combustión del combustible 5 con el gas oxidante 3 genera calor para suministrar energía para hacer reaccionar la mezcla 15 de gas de alimentación del reformado dentro de la pluralidad de tubos 20 de reformado que contienen catalizador. El gas 35 de producto de combustión se extrae de la sección 30 de combustión del horno 10 de reformado y se pasa a la sección 45 de convección del horno de reformado para suministrar calor a otras corrientes de proceso. La sección de combustión (también llamada radiante, radiación o sección radiante) del horno de reformado es la parte del horno de reformado que contiene la pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador. La sección de convección del horno de reformado es aquella parte del horno de reformado que contiene intercambiadores de calor distintos de la pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador. Los intercambiadores de calor en la sección de convección pueden ser para calentar fluidos de proceso que no sean de reformado, tales como agua/vapor, aire, gas de subproducto, gas de alimentación de retroalimentación antes de la introducción en los tubos de reformado que contienen catalizador, etc.

Las condiciones eficaces para quemar el combustible pueden comprender una temperatura que varía de $600^\circ C$ a $1.500^\circ C$ y una presión que varía de 99 kPa a 101,4 kPa (absoluta). La temperatura se puede medir mediante un

termopar, un pirómetro óptico o cualquier otro dispositivo de medición de temperatura calibrado, conocido en la técnica para medir las temperaturas del horno. La presión se puede medir por cualquier sensor de presión adecuado conocido en la técnica, por ejemplo, un manómetro disponible en Mensor.

5 El combustible 5 puede comprender un gas subproducto 115 de un adsorbedor de oscilación de presión 100 y un combustible suplementario 118; 119 a menudo denominado combustible de compensación. El gas subproducto 115 se puede calentar antes de ser utilizado como combustible 5. El gas subproducto 115 se puede calentar mediante transferencia indirecta de calor con los productos de combustión gas y/o el reformado.

10 Calentar el subproducto gas 115 por transferencia indirecta de calor con el gas del producto de combustión abarca calentar un fluido de trabajo (por ejemplo, agua) mediante transferencia indirecta de calor con el gas del producto de combustión en un primer intercambiador de calor y calentar el gas de subproducto mediante transferencia indirecta de calor con el fluido de trabajo calentado en un segundo intercambiador de calor. Calentar el subproducto de gas por transferencia indirecta de calor con el reformado incluye calentar un fluido de trabajo (por ejemplo, agua) mediante transferencia indirecta de calor con el reformado en un primer intercambiador de calor y calentar el subproducto gaseoso mediante transferencia de calor indirecta con el fluido de trabajo calentado en un segundo intercambiador de calor. El reformado y/o el gas del producto de combustión se pueden usar para calentar agua que se usa para calentar el gas subproducto. El agua se puede calentar a una temperatura que oscila entre 104°C y 238°C. El agua caliente puede ser agua de alimentación de la caldera extraída de la red de agua de alimentación de la caldera. El agua caliente puede ser agua caliente de un circuito cerrado separado de agua/vapor en circulación.

20 Como se muestra en la figura 1a, el proceso puede comprender introducir un material de alimentación de hidrato de carbono 117 junto con hidrógeno 107 en una unidad de hidrosulfuración 310 para eliminar el azufre del material de alimentación de hidrato de carbono formando de este modo el combustible complementario 118. Alternativamente, o además, el proceso puede comprender la introducción de una materia prima de hidrato de carbono 75 en una unidad de hidrosulfuración 300 para eliminar el azufre de la materia prima de hidrato de carbono para formar la mezcla 15 de gas de alimentación del reformado desde una primera parte y el combustible 119 suplementario desde una segunda parte. La materia prima de hidrato de carbono 117 puede ser de la misma fuente o una fuente diferente a la de materia prima de hidrato de carbono 75.

25 El gas oxidante 3 es un gas que contiene oxígeno y puede ser aire, aire enriquecido con oxígeno, aire empobrecido en oxígeno, oxígeno de grado industrial o cualquier otro gas que contenga oxígeno conocido para su uso en un horno de reformado para combustión. Por ejemplo, como se muestra en la figura 1a, aire 130 se puede comprimir en el compresor 135 y pasar al horno de reformado como gas oxidante 3.

30 Si el combustible y/o el gas oxidante comprenden nitrógeno, el gas del producto de combustión también comprenderá nitrógeno.

35 El proceso comprende además calentar una primera corriente de agua de alimentación 87 mediante transferencia indirecta de calor con el gas 35 de producto de combustión enfriando de este modo el gas 35 de producto de combustión. La primera corriente de agua de alimentación 87 proporciona una parte de lo que típicamente se denomina "agua de reposición" al proceso de reformado. La primera corriente de agua de alimentación es agua que generalmente solo necesita desaireación para ser adecuada como agua de alimentación de la caldera. La primera corriente de agua de alimentación puede ser agua destilada, agua tratada (descalcificada, filtrada, etc.) u otra agua adecuada conocida en la técnica.

40 Como se muestra en la figura 1a, después de calentar varias otras corrientes de proceso, el gas de producto de combustión 35 intercambia calor con la primera corriente de agua de alimentación 87 en el intercambiador de calor 6. La primera corriente de agua de alimentación 87 extrae calor de bajo nivel del gas 35 de producto de combustión. La primera corriente de agua de alimentación 87 se puede calentar mediante el gas de producto de combustión 35 a una temperatura que varía de 65°C a 125°C. La temperatura de la primera corriente de agua de alimentación se puede medir por cualquier sensor de temperatura adecuado, por ejemplo, un termopar de tipo J, donde el agua pasa por el extremo de detección del termopar. El gas del producto de combustión 35 se puede enfriar a una temperatura que varía de 50°C a 85°C como resultado del calentamiento de la primera corriente de agua de alimentación 87. La temperatura del gas del producto de combustión se puede medir por cualquier sensor de temperatura adecuado, por ejemplo un termopar de tipo J donde el gas del producto de combustión pasa por el extremo sensitivo del termopar.

45 Como se muestra en la figura 1a, el gas de producto de combustión 35 puede calentar varias corrientes de proceso diferentes. El gas de producto de combustión 35 puede calentar las corrientes en diversas configuraciones diferentes (orden de calentamiento) antes de calentar la primera corriente de agua de alimentación 87. La figura 1a muestra el gas de producto de combustión 35 que calienta la mezcla de gas de alimentación del reformado 15, seguido de sobrecalentamiento del vapor 125 del tambor con vapor 120. Una parte del vapor sobrecalentado se puede usar para formar la mezcla de gas de alimentación del reformado 15 y otra parte utilizada para formar un producto de vapor 150 (es decir, vapor de exportación). El proceso puede comprender reformado del producto con vapor 150 para exportar desde al menos una parte de la corriente de agua de alimentación de la caldera 123 retirada del desaireador 110. El gas del producto de combustión después calienta una parte del agua de alimentación de la caldera 127 del tambor

con vapor 120 para formar una mezcla bifásica de vapor y agua, de la cual al menos una parte se devuelve al tambor con vapor 120.

5 El proceso comprende introducir el gas de producto de combustión 35 en un condensador 9 después de que el gas de producto de combustión se haya enfriado por la primera corriente de alimentación de agua 87, enfriando el gas de producto de combustión en el condensador por transferencia indirecta de calor con un fluido de refrigeración condensando agua del gas del producto de combustión para formar una corriente de agua líquida 8. La corriente de agua líquida 8 se separa de una corriente de gas de producto de combustión empobrecido en agua 14, la corriente de agua líquida 8 se retira del condensador y se elimina corriente de gas de producto de combustión empobrecido en agua 14 se extrae del condensador 9. El gas de producto de combustión se puede extraer a través de la sección de convección mediante un ventilador de inducción 140.

El uno o más productos de agua líquida comprenden la corriente de agua líquida 8 retirada del condensador 9. Una parte o la totalidad de uno o más productos de agua líquida se pueden exportar para usar fuera del proceso como la corriente de agua 111 o usarse en el proceso, por ejemplo como agua de reposición. La primera corriente de agua de alimentación 87 puede comprender la corriente de agua líquida 8.

15 El gas de producto de combustión 35 contiene vapor de agua como producto de combustión. La cantidad de agua en el gas del producto de combustión puede ser de aproximadamente 60% a aproximadamente 90% del agua total que reacciona para formar el reformado en la pluralidad de tubos que contienen catalizador, dependiendo de las condiciones de reacción y de la producción de vapor de exportación. La recuperación de agua del gas de producto de combustión puede reducir significativamente la demanda de agua externa del proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono.

El combustible de compensación generalmente contiene azufre que se convierte en SO_3 en el gas de producto de combustión después de la combustión. SO_3 condensará y corroerá los equipos de recuperación de calor cuando la temperatura del gas de producto de combustión tiene una temperatura inferior a aproximadamente 121°C.

25 En el presente proceso, el azufre SE puede retirar del combustible de compensación tal como se describió anteriormente usando la unidad 300 de hidrosulfuración y/o la unidad 310 de hidrosulfuración. Alternativamente, el equipo de recuperación de calor se puede reemplazar regularmente (es decir, utilizando intercambiadores de calor de sacrificio) y/o materiales resistentes a la corrosión pueden ser utilizados en la construcción del equipo de intercambio de calor.

30 El fluido de enfriamiento para condensar agua del gas del producto de combustión en el condensador en el presente proceso puede ser agua sin tratar. El agua sin tratar puede comprender al menos uno de agua salada, agua de río, agua de arroyo, agua de lago, agua reciclada municipal, agua reciclada industrial y aguas subterráneas. El fluido de enfriamiento puede ser agua salada.

35 El proceso comprende calentar una segunda corriente de agua de alimentación 85 mediante transferencia indirecta de calor con al menos una parte del reformado 25 extraída de la pluralidad de tubos 20 que contienen catalizador, enfriando así el reformado 25. La segunda corriente de agua de alimentación puede ser agua destilada, agua tratada (descalcificada, filtrada, etc.) u otra agua adecuada conocida en la técnica. Como se muestra en la figura 1a, después de calentar varias otras corrientes de proceso y pasar a través de un reactor de desplazamiento opcional 60, el reformado 25 intercambia calor con la segunda corriente de agua de alimentación 85 en el intercambiador de calor 80. La segunda corriente de agua de alimentación 85 extrae calor de bajo nivel del reformado 25. La segunda corriente de agua de alimentación 85 se puede calentar por el reformado 25 a una temperatura en el intervalo de 65°C a 125°C. La temperatura de la segunda corriente de agua de alimentación 85 se puede medir mediante cualquier sensor de temperatura adecuado, por ejemplo, un termopar de tipo J en el que el agua pasa sobre el extremo de detección del termopar. El reformado 25 se puede enfriar a una temperatura en el intervalo de 25°C a 150°C como resultado de calentar la segunda corriente de agua de alimentación 85. La temperatura del reformado 25 se puede medir con cualquier sensor de temperatura adecuado, por ejemplo un termopar de tipo J donde el reformado pasa sobre el extremo de detección del termopar.

La segunda corriente de agua líquida de alimentación 85 puede comprender la corriente de agua líquida 8 del condensador 9 formado a partir del gas de producto de combustión 35.

50 Como se muestra en la figura 1a, el reformado puede intercambiar calor con varias corrientes y se puede pasar a un reactor de desplazamiento 60 que contiene el catalizador de desplazamiento 61. En la realización ejemplar mostrada en la figura 1a, el reformado 25 retirado de los tubos de reformado 20 que contienen una pluralidad de catalizadores se pasan al intercambiador de calor 40 donde el reformado 25 calienta una parte de la corriente de agua de alimentación de la caldera 127 formando así una corriente de agua y vapor de dos fases que se reintroduce en el tambor 120 de vapor. El vapor 125 se retira del tambor de vapor y el agua pasa a cualquiera de una serie de intercambiadores de calor para calentar aún más el agua de alimentación de la caldera. El reformado 25 pasa desde el intercambiador de calor 40 al intercambiador de calor 50, donde el reformado 25 calienta una corriente de agua de alimentación de la caldera 123 que se retira del desaireador 110.

- En la realización ejemplar mostrada en la figura 1a, el reformado 25 pasa desde el intercambiador de calor 50 al reactor de desplazamiento 60. El proceso puede comprender hacer reaccionar el reformado 25 del intercambiador de calor 50 en presencia de un catalizador de desplazamiento 61 en condiciones de reacción eficaces para formar hidrógeno adicional en el reformado 25. Se puede obtener hidrógeno gaseoso adicional mediante la reacción catalítica de monóxido de carbono y vapor. Esta reacción es exotérmica y se conoce comúnmente como la reacción de desplazamiento agua-gas o reacción de desplazamiento: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$. La reacción se ve afectada pasando el monóxido de carbono y el agua a través de un lecho de un catalizador adecuado. Las condiciones de reacción eficaces para formar hidrógeno adicional en el reformado 25 pueden comprender una segunda temperatura en el intervalo de 190°C a 500°C y una segunda presión en el intervalo de 203 kPa a 5.066 kPa (absoluta).
- Se puede usar cualquier catalizador de desplazamiento adecuado. El reactor de desplazamiento puede ser denominado desplazamiento a alta temperatura (HTS), desplazamiento a baja temperatura (LTS), desplazamiento a temperatura media (MTS) o combinación. Como el artículo "un" significa "uno o más", se pueden usar uno o más reactores de desplazamiento en el proceso.
- Para el desplazamiento a alta temperatura, una temperatura de entrada en el intervalo de 310°C a 370°C, y una temperatura de salida en el intervalo de 400°C a 500°C son típicas. Por lo general, un catalizador de óxido de hierro/cromo se utiliza para el desplazamiento de alta temperatura.
- Para el desplazamiento a baja temperatura, una temperatura de entrada en el intervalo de 190°C a 230°C, y una temperatura de salida en el intervalo de 220°C a 250°C son típicas. Generalmente, un catalizador que comprende cobre metálico, óxido de zinc y uno o más de otros óxidos difícilmente reducibles, como la alúmina o la cromía, se utiliza para el desplazamiento a baja temperatura.
- Para el desplazamiento a temperatura media, una temperatura de entrada en el intervalo de 190°C a 230°C y una temperatura de salida de hasta 350°C son típicas. Se puede usar un catalizador de cobre con soporte adecuado para un desplazamiento a temperatura media. El desplazamiento a temperatura media puede ser preferido para el proceso ejemplar.
- Una combinación puede incluir una secuencia de desplazamiento a alta temperatura, enfriamiento por intercambio indirecto de calor y desplazamiento a baja temperatura. Si se desea, cualquiera de las etapas de desplazamiento se puede subdividir con refrigeración intercalada.
- En la realización ejemplar mostrada en la figura 1a, después de pasar a través del reactor de desplazamiento 60, el reformado 25 pasa al intercambiador de calor 70 donde el material de alimentación de hidrato de carbono 75 se calienta y el reformado 25 se enfría. El reformado 25 pasa luego al intercambiador de calor 78, donde el reformado calienta el agua sin tratar para la purificación del agua sin tratar mediante un proceso de purificación de agua térmica para producir agua purificada, discutido en más detalle a continuación. La transformación se hace pasar luego al intercambiador de calor 80 donde la etapa del proceso de calentamiento de la segunda corriente de agua de alimentación 85 mediante transferencia indirecta de calor con al menos una parte del reformado 25 retirado de la pluralidad de tubos 20 que contienen catalizador, refrigerando así el reformado 25.
- Después de que el reformado 25 se enfría mediante intercambio de calor con la segunda corriente de agua de alimentación 85, el reformado puede pasar a un tambor de extracción 90 y se puede separar en una corriente de agua líquida 97 y una parte de reformado sin agua 95. El uno o más productos de agua líquida pueden comprender la corriente de agua líquida 97. Al menos uno de la primera corriente de agua de alimentación 87 y la segunda corriente de agua de alimentación 85 puede comprender la corriente de agua líquida 97.
- El proceso comprende además formar el producto 105 que contiene hidrógeno del reformado 25 después de que el reformado 25 ha calentado la segunda corriente de alimentación de agua 85. El producto que contiene hidrógeno 105 se puede formar a partir de al menos una parte del reformado 25. El producto 105 que contiene hidrógeno se puede formar a partir de la parte de reformado empobrecida en agua 95.
- La etapa de reformado de producto 105 que contiene hidrógeno se puede realizar por medios criogénicos, por ejemplo, usando una caja fría para producir un oxogas que tiene una relación molar de $\text{H}_2:\text{CO}$ deseada.
- La etapa de formar el producto 105 que contiene hidrógeno puede comprender separar al menos una parte del reformado por adsorción por oscilación de presión para producir el producto que contiene hidrógeno 105 y un gas de subproducto 115. El reformado se puede separar mediante adsorción de oscilación de presión en un adsorbedor de oscilación de presión 100.
- La separación de un reformado para formar un producto que contiene hidrógeno (por ejemplo, hidrógeno) y un subproducto gaseoso mediante adsorción por oscilación de presión es convencional y bien conocido. Adsorbentes adecuados y adsorbente por oscilación de presión de ciclo son conocidos y se pueden seleccionar. Se puede seleccionar y utilizar cualquier cantidad adecuada de recipientes de adsorción por oscilación de presión.

El subproducto de gas 115 se puede calentar por transferencia directa de calor con el gas del producto de combustión. El subproducto de gas 115 se puede calentar con agua caliente de un circuito de circulación de agua de alimentación de la caldera.

5 El presente proceso se caracteriza porque una corriente de agua de alimentación se calienta por el gas 35 de producto de combustión y otra corriente de agua de alimentación que es calentada por el reformado 25. Después de ser calentada, las corrientes de agua de alimentación pasan a un desaireador 110 donde se eliminan los gases disueltos.

10 El proceso comprende pasar la primera corriente de agua de alimentación 87 y la segunda corriente de agua de alimentación 85 a un desaireador 110. La primera corriente de agua de alimentación pasa al desaireador 110 después de ser calentada por el gas de producto de combustión 35. La segunda corriente de agua de alimentación pasa al desaireador 110 después de ser calentada por el reformado 25. Los gases disueltos se eliminan de la primera corriente de agua de alimentación 87 y de la segunda corriente de agua de alimentación 85 en el desaireador 110. Se puede introducir vapor 11 en el desaireador 110 o el vapor se puede formar in situ calentando o por expansión instantánea. El vapor ayuda a eliminar los gases disueltos. Una corriente de ventilación 17 se retira del desaireador 110. La corriente de ventilación 17 comprende vapor y gases formados a partir de los gases disueltos extraídos de la primera corriente de agua de alimentación 87 y de la segunda corriente de agua de alimentación 85. Una corriente de agua de alimentación de caldera 123 se retira del desaireador 110. La corriente de agua de alimentación de la caldera 123 comprende al menos una parte de la primera corriente de alimentación de agua 87 y al menos una parte de la segunda corriente de alimentación de agua 85. La corriente de agua de alimentación de la caldera se puede bombear a una presión más alta, calentado y pasado al tambor de vapor 120.

20 El proceso de formación del reformado se puede integrar de forma conveniente con un proceso de purificación de agua térmica como se muestra en las figuras. El proceso de formación de reformado en la figura 1a se puede integrar con el proceso súbito de etapas múltiples que se muestra en la figura 1b y/o el proceso de destilación por múltiple efecto que se muestra en la figura 1c. La conexión de las corrientes entre la figura 1a y figura 1b se muestra por medio de a, b, a' y b'. La conexión de las corrientes entre la figura 1a y figura 1c también se muestra por medio de a, b, a' y b'.

25 El proceso puede comprender además calentar agua sin procesar 53 mediante transferencia indirecta de calor con el reformado 25 calentando así el agua sin tratar para la purificación de la misma mediante un proceso de purificación de agua térmica para producir agua purificada 42 y enfriando así el reformado 25. El reformado 25 se enfría para calentar el agua sin tratar 53 antes (mostrada) o después (no mostrada), el reformado 25 se enfría para calentar la segunda corriente de agua de alimentación 85.

30 El uno o más productos de agua líquida pueden comprender el agua purificada 42. La primera corriente de agua de alimentación 87 y la segunda corriente de agua de alimentación 85 pueden comprender agua purificada 42.

35 Como se muestra en la realización en la figura 1a, la etapa de calentar agua sin procesar 53 por transferencia indirecta de calor con el reformado 25 puede incluir el uso de un fluido de trabajo, por ejemplo, agua y/o vapor. En caso de que se use un fluido de trabajo, el proceso puede comprender calentar el fluido de trabajo mediante transferencia indirecta de calor con el reformado 25 y calentar el agua sin procesar 53 mediante transferencia de calor indirecta con el fluido de trabajo. En la realización mostrada en la figura 1a combinado con la figura 1b, el fluido de trabajo es agua, y el agua 162 pasa a la caldera de hervido 78 para ser calentada y evaporada por reformado 25 para formar una corriente de vapor 161. El vapor 161 puede tener una presión en el intervalo de 15,2 kPa a 304 kPa (absoluta) cuando es calentado por el reformado 25. La presión de la corriente de vapor 161 se puede medir por cualquier sensor de presión adecuado, por ejemplo, un manómetro disponible de Mensor. El vapor 161 pasa al proceso súbito de etapas múltiples en la figura 1b. Al menos una parte de la corriente de vapor 161 puede condensarse cuando se calienta el agua sin procesar 53.

40 En una alternativa menos preferida, la transferencia de calor entre el reformado 25 y el agua puede acomodarse mediante el uso de una combinación de intercambiador de calor/tambor de vapor en lugar de una caldera de hervido.

45 En la figura 1b, el vapor 161 pasa a la cámara de calentamiento 27 de un proceso súbito de múltiples etapas 2 representativo. Mientras que figura 1b muestra 4 etapas, se puede usar cualquier cantidad adecuada de etapas. El vapor pasa sobre la bobina 21 de transferencia de calor metálica, dispuesta internamente en la cámara de calentamiento 27 a través de la que fluye el agua sin tratar 53 y se calienta y posteriormente entra en el tanque de evaporación instantánea de la primera etapa 12.

50 El agua sin tratar 53 entra en la bobina 14 de transferencia de calor de la cámara 28 del tanque de evaporación. El agua sin tratar dentro de la bobina 14 se calienta mediante transferencia de calor a medida que el vapor de agua se condensa contra la bobina de transferencia de calor 14. La presión se reduce sucesivamente en cada etapa desde el tanque de expansión 12 hasta el tanque de evaporación 28 (es decir, $P_{12} > P_{24} > P_{26} > P_{28}$, donde P_{12} es la presión en el tanque de expansión 12, P_{24} es la presión en el tanque de expansión 24, P_{26} es la presión en el tanque de expansión 26, y P_{28} es la presión en el tanque de flash 28).

El condensado de agua purificada producido por este proceso de condensación se recoge en el colector 18 del tanque de expansión 28 y sale del tanque como una corriente de agua purificada 42. El uno o más productos líquidos pueden comprender agua purificada 42.

5 El agua sin tratar entrante se calienta adicionalmente cuando pasa a través de las bobinas de transferencia de calor 14 de los depósitos de expansión 28, 26, 24 y después 12. El agua sin tratar calentada sale del tanque de evaporación 12 y entra en la bobina de transferencia de calor 21 de la cámara de calentamiento 27. El vapor 161 entra en la cámara de calentamiento 27 y contacta con la bobina de transferencia de calor 21 para efectuar la transferencia de calor y calentar más el agua sin tratar que pasa internamente a través de la bobina de transferencia de calor 21. El vapor 161 se condensa, sale de la cámara de calentamiento 27 como condensado 23 y se devuelve a la caldera de hervido 78.

10 El vapor de agua que se condensa al contacto con la bobina 14 forma un condensado de agua purificada 16 que gotea desde la bobina 14 en el receptáculo 18 de cada tanque de expansión y se recoge como agua purificada 42. La evaporación del agua sin tratar causa el agua de rechazo de baja calidad 22 en el fondo de los tanques de evaporación para concentrarse cada vez más en impurezas. En el caso de la desalinización de agua salada, el agua de rechazo de baja calidad 22 es salmuera y la salmuera en el fondo de los tanques de evaporación se vuelve cada vez más concentrada en sal. El agua de rechazo de baja calidad 22 pasa a los tanques de evaporación 24, 26 y 28, respectivamente, donde el proceso de purificación de agua térmica se repite a presiones progresivamente más bajas. El agua de rechazo de baja calidad 77 que está concentrada en impurezas sale del tanque de evaporación 28 y se descarga típicamente.

20 Alternativamente (no se muestra en las figuras), se retira una parte del rechazo de baja calidad 77 y se une al agua sin tratar 53 como una parte del agua de alimentación al proceso de purificación de agua térmica. Esta agua de rechazo de baja calidad reciclada aumenta la tasa de conversión del agua sin tratar en agua purificada, también conocida como la recuperación del agua sin tratar. Cuanto mayor sea la cantidad de agua rechazada de baja calidad reciclada, mayor será las impurezas en el agua de alimentación para el proceso de purificación de agua térmica. La cantidad de agua reciclada de rechazo de baja calidad depende del nivel de impurezas permisible del agua de alimentación para el proceso de purificación de agua térmica.

25 Alternativamente o además, el proceso puede comprender calentar agua sin tratar 53 mediante transferencia indirecta de calor con el gas de producto de combustión 35 calentando así el agua sin procesar para su purificación mediante un proceso de purificación de agua térmica para producir agua purificada 42, y enfriando de este modo el gas de producto de combustión. El gas de producto de combustión se enfría para calentar el agua bruta antes de que el gas de producto de combustión se enfríe cuando se calienta la primera corriente 87 de alimentación de agua. El uno o más productos líquidos pueden comprender el agua purificada 42.

30 Como se muestra en la realización de la figura 1a, la etapa de calentar agua sin tratar 53 por transferencia de calor indirecta con el gas de producto de combustión 35, puede incluir el uso de un fluido de trabajo, por ejemplo, agua y/o vapor. En caso de que se use un fluido de trabajo, el proceso puede comprender calentar el fluido de trabajo mediante transferencia de calor indirecta con el gas de producto de combustión 35 y calentar el agua sin tratar 53 mediante transferencia de calor indirecta con el fluido de trabajo. En la realización mostrada en la figura 1a combinado con la figura 1b, el agua 47 pasa desde el tambor de vapor 220 al intercambiador de calor 46 para ser calentada por gas de producto de combustión 35. El agua calentada y/o el vapor pasan de nuevo al tambor de vapor 220 donde se expande en el tambor de vapor 220. El vapor 221 se retira del tambor de vapor 220 y pasa al proceso súbito de etapas múltiples en la figura 1b.

35 El agua de fluido de trabajo se puede evaporar para formar una corriente de vapor 221 que tiene una presión en el intervalo de 15,2 kPa y 304 kPa (absoluta) cuando se calienta mediante el gas de producto de combustión 35. La presión de la corriente de vapor 221 se puede medir por cualquier sensor de presión adecuado o medidor conocido en la técnica, por ejemplo, un manómetro de presión disponible de Mentor. Al menos una parte de la corriente de vapor 221 se puede condensar cuando se calienta el agua sin tratar 53.

40 En la figura 1b, el vapor 221 pasa a la cámara de calentamiento 27 de un proceso súbito de etapa múltiple 2 representativo. El vapor pasa sobre la bobina metálica 21 de transferencia de calor, dispuesta internamente en la cámara de calentamiento 27 a través de la que fluye el agua sin procesar 53 y se calienta y posteriormente entra en el depósito de expansión 12 de la primera etapa.

45 El proceso súbito de etapa múltiple en la figura 1b es como se describió anteriormente para formar agua purificada 42 y agua de rechazo de baja calidad 77. El vapor 221 se condensa en la cámara de calentamiento 27, sale de la cámara de calentamiento 27 como condensado 23 y regresa al tambor de vapor como corriente condensada 222.

El proceso de formación de reformado también se puede integrar con un proceso de destilación por múltiple efecto que se describirá con referencia a la figura 1a y figura 1c.

55 En caso de que se use un proceso de destilación por múltiple efecto, también se puede usar un fluido de trabajo. El fluido de trabajo calentado por el reformado se puede usar para calentar el agua sin tratar 53 en el evaporador 50 del proceso de destilación por múltiple efecto mediante transferencia indirecta de calor con el fluido de trabajo. En la realización mostrada en la figura 1a combinada con la figura 1c, el fluido de trabajo es agua, y el agua 162 pasa a la

caldera de caldera 78 para ser calentada por reformado 25. El vapor calentado 161 pasa al proceso de destilación por múltiple efecto en la figura 1c.

La figura 1c ilustra una realización del proceso utilizando un proceso representativo de destilación por múltiple efecto 16. Como se muestra en la figura 1c con 3 evaporadores, se puede usar cualquier cantidad adecuada de evaporadores. La figura 1c muestra el vapor 161 que pasa a la bobina de transferencia de calor 59 del evaporador 50. El vapor 161 se condensa en la bobina de transferencia de calor 59 como resultado de la transferencia de calor con agua sin tratar 53 puesta en contacto con el exterior de la bobina 59, típicamente pulverizando el agua sin tratar a través de la barra de pulverización 55. El condensado se retira de la bobina 59 y se devuelve a la caldera de hervido 78.

El agua sin tratar que se pulveriza a través de la barra de pulverización 55 sobre el exterior de la bobina 59 del evaporador 50 se evapora para formar vapor de agua debido a la transferencia de calor entre la bobina 59 calentada por el vapor y/o agua que pasa internamente a través de ella. El vapor de agua así producido pasa del evaporador 50 a la bobina de transferencia de calor 57 dispuesta internamente en el segundo evaporador 54. El agua sin tratar 53 se pulveriza sobre el exterior de la bobina de transferencia de calor 57 a través de la barra de pulverización 102, y el vapor de agua en el interior la bobina 57 se condensa dentro de la bobina de transferencia de calor 57, sale del segundo evaporador 54 y se recoge como condensado de agua 42. El vapor de agua producido por transferencia de calor en el evaporador 54 pasa al evaporador 56 donde se repite el proceso, y así sucesivamente para tantos evaporadores como están presentes en el sistema. Cualquier número adecuado de evaporadores pueden ser seleccionados y utilizados. El vapor de agua que sale del último evaporador de la serie (56 en la figura 1c) se condensa en el condensador 134 por contacto con la bobina 136 de transferencia de calor a través de la cual pasa la alimentación de agua sin tratar fría. El condensado de agua purificada así producido se combina con la que se produjo en los evaporadores anteriores y se recolectó. El agua 22 de rechazo de baja calidad recogida en la parte inferior del primer evaporador 50 se combina con agua 22 de rechazo de baja calidad procedente de los otros evaporadores 54 y 56, donde el proceso de purificación de agua térmica continúa en condiciones de operación de presión progresivamente más baja, y después se descarga como agua de rechazo de baja calidad 77 que está concentrada en impurezas.

Alternativamente o además, el proceso puede comprender además calentar agua sin tratar 53 mediante transferencia indirecta de calor con el gas del producto de combustión 35, calentando de ese modo el agua sin tratar para la purificación de la misma por destilación por múltiple efecto para producir agua purificada 42, y enfriando de ese modo el gas del producto de combustión. El gas de producto de combustión se enfría para calentar el agua sin tratar antes de que el gas de producto de combustión se enfríe cuando se calienta la primera corriente de agua de alimentación 87.

Como se muestra en la realización de la figura 1a, el paso de calentar agua sin tratar 53 mediante transferencia indirecta de calor con el gas de producto de combustión 35, puede incluir el uso de un fluido de trabajo, por ejemplo, agua y/o vapor. En caso de que se use un fluido de trabajo, el proceso puede comprender calentar el fluido de trabajo mediante transferencia indirecta de calor con el gas de producto de combustión 35 y calentar el agua sin tratar 53 mediante transferencia indirecta de calor con el fluido de trabajo. En la realización mostrada en la figura 1a combinado con la figura 1c, el agua 47 pasa desde el tambor 220 de vapor al intercambiador 46 de calor para que se caliente mediante el gas 35 de producto de combustión. El agua y/o vapor calentados pasan de nuevo al tambor 220 de vapor, donde se expande en el tambor 220 de vapor. El vapor 221 se extrae del tambor 220 de vapor y pasa al proceso de destilación por efecto múltiple en la figura 1c.

El agua de fluido de trabajo se puede evaporar para formar una corriente de vapor 221 que tiene una presión en el intervalo de 15,2 kPa y 304 kPa (absoluta) cuando se calienta mediante el gas de producto de combustión 35. La presión de la corriente de vapor 221 se puede medir por cualquier sensor o medidor de presión adecuado conocido en la técnica para medir vapor, por ejemplo como el disponible de Mensor. Al menos una parte de la corriente de vapor 221 se puede condensar cuando se calienta el agua sin procesar 53.

En la realización mostrada en la figura 1c, el vapor 221 pasa a la bobina de transferencia de calor 59 del evaporador 50 de una destilación por efecto múltiple representativa 16. El vapor 221 se condensa en la bobina de transferencia de calor 59 como resultado de la transferencia de calor con agua sin tratar 53 puesta en contacto con el exterior de la bobina 59, típicamente pulverizando el agua sin tratar a través de la barra de pulverización 55. El condensado 23 se extrae de la bobina 59 y se devuelve al tambor de vapor 220 como la corriente de condensado 222.

La operación del proceso de destilación por múltiple efecto en la figura 1c es como se describió anteriormente, pero donde el gas de producto de combustión se usa para calentar el agua sin tratar mediante transferencia indirecta de calor para formar agua purificada 42 y agua de rechazo de baja calidad 77.

La figura 2a y figura 2b ilustran una integración de un proceso de formación de reformado con un proceso súbito de etapas múltiples en el que la etapa de calentar agua sin tratar no incluye el calentamiento de un fluido de trabajo intermedio. Las realizaciones en las que no se utiliza fluido de trabajo intermedio brindan la ventaja de que no requieren una caldera de vapor de baja presión y/o de vapor de presión media. La eliminación de una etapa de intercambio de calor entre el reformado y el agua sin tratar también aumenta las diferencias de temperatura de intercambio de calor

en los intercambiadores de calor restantes, lo que proporciona ventajas en el costo de capital y una mejor eficiencia térmica.

5 Solamente se describirán las diferencias entre esta realización y la realización descrita anteriormente, ya que la persona experta entenderá fácilmente los diagramas de flujo del proceso de la figura 2a y figura 2b de los dibujos y la descripción de la figura 1a y figura 1b. Los números semejantes designan componentes similares en los dibujos.

En la figura 2b, la cámara de calentamiento 27 se retira y el agua sin tratar pasa al proceso de formación de reformado para calentamiento indirecto por el gas de producto de combustión 35 y/o el reformado sin el uso de un fluido de trabajo.

10 Para el caso en el que el agua sin tratar 53 se calienta por el gas de producto de combustión, el agua sin tratar 53 pasa al intercambiador de calor 49 en la figura 2a para el intercambio indirecto de calor con gas de producto de combustión 35 en la sección de convección 45 del horno de reformado 10.

Para el caso en el que el agua sin tratar 53 se calienta por el reformado, el agua sin tratar 53 pasa al intercambiador de calor 71 en la figura 2a para el intercambio indirecto de calor con el reformado 25.

15 La figura 3a y figura 3b ilustran una integración alternativa de un proceso de formación de reformado con un proceso súbito de etapas múltiples en el que el paso de calentar agua sin tratar mediante intercambio de calor con el reformado no incluye calentamiento de un fluido de trabajo intermedio.

20 Solamente se describirán las diferencias entre esta realización y la realización descrita anteriormente, ya que la persona experta entenderá fácilmente los diagramas de flujo del proceso de la figura 3a y figura 3b de los propios diagramas y la descripción de la figura 1a y figura 1b. Los números semejantes designan componentes similares en los dibujos.

En la realización mostrada en la figura 3a y figura 3b, el reformado 25 pasa a la cámara de calentamiento 27 (en lugar del vapor de fluido de trabajo) para calentar indirectamente el agua sin tratar 53 que pasa a través de la bobina de transferencia de calor 21. El reformado 25 que se ha enfriado en la cámara de calentamiento 27 pasa luego al intercambiador de calor 80.

25 La figura 3a y figura 3c ilustran una integración alternativa de un proceso de formación de reformado con un proceso de destilación por múltiple efecto en el que el paso de calentar el agua sin tratar por intercambio de calor con el reformado no incluye el calentamiento de un fluido de trabajo intermedio.

30 Solamente las diferencias entre esta realización y la realización descrita anteriormente se describirán ya que la persona experta entenderá fácilmente el flujo del proceso de los diagramas de la figura 3a y figura 3c de los propios diagramas y la descripción de la figura 1a y figura 1c. Los números semejantes designan componentes similares en los dibujos.

35 En la realización mostrada en la figura 3a y figura 3c, el reformado 25 pasa a la bobina de transferencia de calor 59 (en lugar del vapor de fluido de trabajo) para calentar indirectamente el agua sin tratar 53 que se pone en contacto con el exterior de la bobina 59 de transferencia de calor. Después, el reformado 25 que se ha enfriado en el evaporador 50 pasa al intercambiador de calor 80.

40 Cuando se desea una alta producción de vapor de exportación, el calor sensible de bajo nivel en el gas de producto de combustión 35 se puede usar para calentar una parte del agua de reposición y mejorar la eficacia del proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono. Una "relación entre vapor e hidrógeno" se puede definir como la relación de la tasa de flujo másico de exportación de vapor 150, vapor, al caudal másico del producto que contiene hidrógeno 105, m_{H_2} , donde el producto que contiene hidrógeno es al menos 95% molar de hidrógeno. La producción de vapor de alta exportación se define en la presente memoria como

$$13 \leq \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{H_2}} \leq 25.$$

45 Los procesos catalíticos convencionales de reformado con vapor de hidrato de carbono calientan todo el agua de reposición al cambiar el calor con el reformado. El agua de reposición se calienta desde temperatura ambiente hasta una temperatura adecuada para introducir el agua de reposición en un desaireador (por ejemplo, 66°C a 121°C). Para el caso de producción de vapor de alta exportación el bajo nivel de calor en el reformado no es suficiente para calentar el agua de reposición a la temperatura requerida para desaireación. Por lo tanto, para el proceso catalítico convencional de reformado con vapor de hidrato de carbono, la eficiencia térmica se deteriora a relaciones entre vapor e hidrógeno mayores que aproximadamente 13, ya que se requiere energía adicional para calentar el agua de reposición a la temperatura requerida para la desaireación.

50

$$7 \leq \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{H}_2}} \leq 13$$

5 Para el caso de la producción de vapor de exportación media, definida aquí como el bajo nivel de calor en el reformado es suficiente para calentar todo el agua de reposición; por lo tanto, el calentamiento del agua de reposición usando el gas de producto de combustión ya no mejora la eficacia de la producción de hidrógeno. Sin embargo, ahorra el bajo nivel de calor en el reformado, que luego se puede usar como fuente de calor para la purificación de agua térmica. El reformado es una mejor fuente de calor que el gas de producto de combustión, ya que está bajo alta presión, se puede conducir fácilmente a las ubicaciones deseadas y se puede usar directamente para calentar agua sin tratar.

$$0 \leq \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{H}_2}} \leq 7$$

10 En el caso de baja producción de vapor de exportación, definido aquí como no todo el calor sensible de bajo nivel en el gas del producto de combustión se puede eliminar al calentar el agua de reposición. El calor sensible adicional se usa como fuente de calor para un proceso de purificación de agua térmica. Esto se realiza mediante un fluido de trabajo (agua/vapor) o conectando el agua sin tratar a la sección de convección para que sea calentada por el gas de producto de combustión. Para relaciones entre vapor e hidrógeno de 0 a 7, la cantidad de calor residual en el gas de producto de combustión y/o reformado es generalmente lo suficientemente grande para una unidad de purificación de agua térmica a escala comercial o cumple los requisitos de producción de agua de reposición para el proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono.

15 En el caso de integración con al menos un proceso de purificación de agua caliente, el proceso puede comprender además formar un producto de vapor 150 para exportar desde al menos una parte de la corriente de agua de alimentación de la caldera 123 extraída del desaireador 110 o sin formar un producto de vapor, el producto 150 de vapor exportado del proceso que tiene un caudal másico, m_{vapor} , donde $m_{\text{vapor}} = 0$ cuando no se forma ningún producto de vapor. La etapa de formar el producto 105 que contiene hidrógeno puede comprender separar al menos una parte del reformado 25 mediante adsorción por oscilación de presión (por ejemplo, en un adsorbedor de oscilación de presión 100) para producir el producto 105 que contiene hidrógeno y un subproducto gas 115, el gas que contiene hidrógeno que comprende al menos 95% en moles de hidrógeno, y el producto que contiene hidrógeno 105 que tiene un caudal másico, m_{H_2} . El proceso se puede caracterizar porque el reformado alimenta el caudal másico de la corriente de agua de alimentación, el primer caudal másico de corriente de agua de alimentación, el segundo caudal másico de corriente de agua de alimentación, el caudal másico de combustible y la masa de gas oxidante

$$0 \leq \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{H}_2}} \leq 7 .$$

El índice de flujo se selecciona de tal manera que

Ejemplos

30 Los siguientes ejemplos se utilizan para ilustrar los beneficios del presente proceso. Aspen Plus® de Aspen Technology, Inc. se usó para simular los procesos descritos en los ejemplos. Se utilizan las condiciones típicas para el reformado comercial catalítico con vapor de hidrato de carbono, como la materia prima de gas natural, una relación entre vapor y carbono de 2,8, y una temperatura de reformado que deja los tubos que contienen catalizador a 870°C. Cada ejemplo incluye un reactor de desplazamiento a alta temperatura y no incluye un prerreformado.

Ejemplo 1.

35 El presente proceso se simula en el ejemplo 1. En el ejemplo 1, la producción de vapor de exportación es alta, con una relación entre vapor e hidrógeno de 17,3. El ejemplo 1 corresponde al diagrama de flujo del proceso en la figura 1a sin integración con un proceso de purificación de agua térmica. El ejemplo 1 no incluye el intercambiador de calor 78, el intercambiador de calor 46 o el tambor de vapor 220.

40 El ejemplo 1 incluye intercambiador de calor 40 para hacer vapor, intercambiador de calor 50 para calentar agua de alimentación del desaireador, reactor de desplazamiento de alta temperatura 60, intercambiador de calor 70 para calentar material de alimentación de hidrato de carbono 75, e intercambiador de calor 80 para calentar la corriente de agua de reposición 85.

El intercambiador de calor 80 se usa para calentar el 59% del agua de reposición que necesita el proceso. El intercambiador de calor 80 calienta el agua de reposición de 16 a 97°C, mientras que enfría el reformado a 38°C.

45 El ejemplo 1 también incluye un intercambiador de calor 36 para precalentar la mezcla de gas de alimentación del reformado 15, el intercambiador de calor 37 para supercalentar el vapor del tambor de vapor 120, calentar el

intercambiador 38 para hacer vapor, y el intercambiador de calor 6 para calentar la corriente de agua de reposición 87.

5 El intercambiador de calor 6 se usa para calentar el 41% del agua de reposición que necesita el proceso. El intercambiador de calor 6 calienta el agua de reposición de 16°C a 97°C, mientras enfría el gas de producto de combustión a 58°C. Todo el calor recuperado en el intercambiador de calor 6 se recicla de nuevo al proceso catalítico de reformado con vapor de hidrato de carbono, ahorrando así el combustible necesario para la combustión en la sección de combustión del horno de reformado. Esto proporciona aproximadamente el 2% de ahorro en el consumo de energía. Este ahorro de energía compensa el costo de capital asociado con el intercambiador de calor 6. En este ejemplo, el gas de combustión que ingresa al condensador 9 se ha enfriado a una baja temperatura (58°C) sin usar un intercambiador de calor dedicado y una herramienta de enfriamiento para expulsar el calor sensible a la atmósfera. Por lo tanto, la recuperación de agua de los gases de combustión se puede realizar a un costo mucho más bajo.

Ejemplo 2 - Caso comparativo.

15 En el ejemplo 2 se simula un caso comparativo. En el ejemplo 2, la producción de vapor de exportación es media, con una relación entre vapor e hidrógeno de 12,5. El ejemplo 2 corresponde al diagrama de flujo del proceso en la figura 1a sin integración con un proceso de purificación de agua térmica. El ejemplo 2 no incluye el intercambiador de calor 78, el intercambiador de calor 46, el tambor de vapor 220 o el intercambiador de calor 6 para calentar el agua de reposición.

20 El ejemplo 2 incluye intercambiador de calor 40 para hacer vapor, intercambiador de calor 50 para calentar agua de alimentación del desaireador, reactor de desplazamiento de alta temperatura 60, intercambiador de calor 70 para calentar el suministro de hidrato de carbono 75, y el intercambiador de calor 80 para calentar el flujo de agua de reposición 85.

25 El intercambiador de calor 80 se usa para calentar el 100% del agua de reposición que necesita el proceso. El intercambiador de calor 80 calienta el agua de reposición de 16°C a 97°C, mientras enfría el reformado a 38°C, lo que indica que el calor de bajo nivel se utiliza para calentar todo el agua de reposición. No hay esencialmente calor residual en el reformado para la purificación de agua térmica.

El ejemplo 2 también incluye un intercambiador de calor 36 para precalentar la mezcla 15 de gas de alimentación del reformado, el intercambiador de calor 37 para supercalentar el vapor del tambor 120 de vapor, y el intercambiador 38 de calor para producir vapor.

El gas de producto de combustión se enfría a una temperatura convencional de tiro de aproximadamente 127°C.

30 Ejemplo 3.

Un proceso según el presente proceso se simula en el ejemplo 3. En el ejemplo 3, la producción de vapor de exportación es media, con una relación entre vapor e hidrógeno de 12,5, la misma que para el ejemplo 2. El ejemplo 3 corresponde al diagrama de flujo del proceso en la figura 1a sin integración con un proceso de purificación de agua térmica. El ejemplo 3 no incluye el intercambiador de calor 78, el intercambiador de calor 46 o el tambor de vapor 220.

35 El ejemplo 3 incluye intercambiador de calor 40 para hacer vapor, intercambiador de calor 50 para calentar agua de alimentación del desaireador, reactor de desplazamiento de temperatura alta 60, intercambiador de calor 70 para calentar material de alimentación de hidrato de carbono 75 e intercambiador de calor 80 para calentar la corriente de agua de reposición 85.

40 El intercambiador de calor 80 se usa para calentar el 34% del agua de reposición que necesita el proceso. El intercambiador de calor 80 calienta el agua de reposición de 16°C a 97°C, mientras enfría el reformado a 102°C.

El ejemplo 3 también incluye el intercambiador de calor 36 para precalentar la mezcla de gas de alimentación del reformado 15, el intercambiador de calor 37 para supercalentar el vapor del tambor de vapor 120, el intercambiador de calor 38 para producir vapor y el intercambiador de calor 6 para calentar la corriente de agua de reposición 87.

45 El intercambiador de calor 6 se usa para calentar el 66% del agua de reposición que necesita el proceso. El intercambiador de calor 6 calienta el agua de reposición de 16 a 97°C, mientras enfría el gas del producto de combustión a 54°C. Para la producción de vapor de exportación dada, esta recuperación de calor no tiene impacto en la eficacia térmica del proceso. Sin embargo, calentar una parte del agua de reposición usando el intercambiador de calor 6 aumenta la temperatura del reformado, dejando el intercambiador de calor 80 desde 38°C en el ejemplo 2 hasta 102°C en el ejemplo 3. El gas del producto de combustión se enfría a 54°C en el ejemplo 3 en comparación con 127°C en el ejemplo 2.

Este cambio de calor de bajo nivel desde el gas del producto de combustión al reformado hace posible usar el calor residual en el reformado para la purificación de agua térmica.

Además, el tamaño del intercambiador de calor 80 se reduce en un 80% ya que solo se requiere calentar el 34% del agua de reposición. Se estima que el costo total del equipo del intercambiador de calor 6 y el intercambiador de calor 80 en el ejemplo 3 es aproximadamente el mismo que el del intercambiador de calor 80 en el ejemplo 2.

- 5 Los ejemplos 2 y 3 muestran que el proceso actual no solo facilita la recuperación de agua del gas de producto de combustión al enfriar el gas del producto de combustión en el intercambiador de calor 6, sino que también cubre el costo del intercambiador de calor 6 reduciendo el tamaño del intercambiador de calor 80 para calentar el agua de reposición por el reformado. El presente proceso proporciona el beneficio adicional de proporcionar disponibilidad de calor de bajo nivel en la corriente de reformado para la purificación del agua térmica.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para producir un producto que contiene hidrógeno y uno o más productos líquidos de agua, el proceso comprende:
- 5 (a) introducir una mezcla de gas de alimentación del reformado (15) en una pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador (20) en un horno de reformado (10), reaccionando la mezcla de gases de alimentación de reformado en una reacción de reformado para formar un reformado (25) que comprende H_2 , CO, CH_4 y H_2O , y retirando el reformado de la pluralidad de tubos que contienen catalizador;
- 10 (b) quemar un combustible (5) con un gas oxidante (3) en una sección de combustión (30) del horno de reformado (10) externo a la pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador (20) para formar un gas de producto de combustión (35) y generar calor para suministrar energía para hacer reaccionar la mezcla de gas de alimentación del reformado (15) dentro de la pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador, y retirar el gas de producto de combustión de la sección de combustión;
- 15 (c) calentar una primera corriente de agua de alimentación (87) por transferencia directa de calor con el gas de producto de combustión (35) enfriando de ese modo el gas de producto de combustión;
- 20 (d) calentar una segunda corriente de agua de alimentación (85) por transferencia indirecta de calor con el reformado (25) retirado de la pluralidad de tubos que contienen catalizador (10), enfriando de este modo el reformado;
- 25 (e) pasar la primera corriente de agua de alimentación (87) y la segunda corriente de agua de alimentación (85) a un desaireador (110), la primera corriente de agua de alimentación que pasa al desaireador después de ser calentada por el gas del producto de combustión (35), la segunda corriente de agua de alimentación que pasa al desaireador después de ser calentada por el reformado (25), separando gases disueltos de la primera corriente de agua de alimentación y de la segunda corriente de agua de alimentación en el desaireador, retirando una corriente de ventilación (17) del desaireador, corriente de ventilación que comprende vapor y gases formados a partir de los gases disueltos extraídos de la primera corriente de agua de alimentación y de la segunda corriente de agua de alimentación, y extracción de una corriente de agua de alimentación de caldera (123) del desaireador, comprendiendo la corriente de agua de alimentación de caldera al menos una parte de la primera corriente de agua de alimentación y al menos una parte de la segunda corriente de agua de alimentación;
- 30 (f) introducir el gas de producto de combustión (35) en un condensador (9) después de que el gas de producto de combustión se haya enfriado mediante la primera corriente de agua de alimentación (87), enfriando el gas de producto de combustión en el condensador mediante transferencia indirecta de calor con un fluido de refrigeración condensando así el agua del gas de producto de combustión para formar una corriente de agua líquida (8), separando la corriente de agua líquida de una corriente de gas de producto de combustión empobrecida en agua (14), retirando la corriente de agua líquida del condensador y retirando la corriente de gas del producto de combustión empobrecida en agua del condensador; y
- 35 (g) formar el producto que contiene hidrógeno (105) a partir del reformado (25) después de que el reformado ha calentado la segunda corriente de agua de alimentación (85);
- (h) en el que el uno o más productos de agua líquida comprenden la corriente de agua líquida (8) extraída del condensador (9).
2. El proceso de la reivindicación 1, en el que al menos una de la primera corriente de agua de alimentación (87) y la segunda corriente de agua de alimentación (85) comprende al menos una parte de la corriente de agua líquida (8).
- 40 3. El proceso de la reivindicación 1 o 2 en el que el reformado (25) se separa en una segunda corriente de agua líquida (97) y una parte de reformado empobrecida en agua (95) después de que el reformado se haya enfriado por la segunda corriente de agua de alimentación (85), donde el uno o más productos de agua líquida comprenden además la segunda corriente de agua líquida.
- 45 4. El proceso de la reivindicación 3, en el que al menos una de la primera corriente de agua de alimentación (87) y la segunda corriente de agua de alimentación (85) comprende al menos una parte de la segunda corriente de agua líquida (97).
5. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que la etapa de formar el producto que contiene hidrógeno (105) comprende separar al menos una parte del reformado (25) por adsorción por oscilación de presión para producir el producto que contiene hidrógeno y un gas de producto (115).
- 50 6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que el combustible (5) comprende el subproducto de gas (115) y un combustible suplementario (118, 119).
7. El proceso de la reivindicación 6, que comprende además introducir un material de alimentación de hidrato de carbono (75, 117) en una unidad de hidrodesulfuración (300, 310) para eliminar el azufre de la materia prima de hidrato

de carbono, y que forma el combustible suplementario (118, 119) a partir de al menos una parte de la carga de hidrato de carbono obtenida de la unidad de hidrodesulfuración.

8. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones precedentes que además comprende:

5 calentar agua sin tratar (53) mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) de la etapa (a) calentando de ese modo el agua sin tratar para la purificación de la misma mediante un proceso de purificación de agua térmica para producir agua purificada (42) y, por lo tanto, enfriar el reformado, en el que el reformado se enfría para calentar el agua sin tratar antes o después de que el reformado se enfríe para calentar la segunda corriente de agua de alimentación (85);

donde el uno o más productos de agua líquida además comprende el agua purificada (42).

10 9. El proceso de la reivindicación 8, en el que el paso de calentar agua sin tratar (53) mediante transferencia indirecta de calor con la reformado (25) comprende:

calentar un fluido de trabajo mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) del paso (a) y calentar el agua sin tratar (53) mediante transferencia indirecta de calor con el fluido de trabajo.

15 10. El proceso de la reivindicación 9, en el que el fluido de trabajo es agua, donde el agua de fluido de trabajo se evapora para formar una corriente de vapor (161) que tiene una presión en el intervalo de 15,2 kPa a 304 kPa (absoluta) cuando se calienta por el reformado (25) del paso (a), y en el que al menos una parte de la corriente de vapor se condensa cuando se calienta el agua sin tratar (53).

11. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10 que además comprende:

20 formar un producto de vapor (150) a partir de al menos una parte de la corriente de agua de alimentación de la caldera (123) extraída del desaireador (110) o sin formar un producto de vapor;

en el que la etapa de formar el producto que contiene hidrógeno (105) comprende separar al menos una parte del reformado (25) mediante adsorción por oscilación de presión para producir el producto que contiene hidrógeno y un gas subproducto (115);

25 en donde el producto que contiene hidrógeno (105) tiene un caudal másico, m_{H_2} , el producto de vapor (150) exportado desde el proceso tiene un caudal másico, m_{vapor} , donde $m_{vapor} = 0$ cuando no se forma ningún producto de vapor, la mezcla de gas de alimentación del reformado (15) tiene un caudal másico de agua de alimentación de reformado, la primera corriente de agua de alimentación (87) tiene un caudal másico de primera corriente de agua de alimentación, la segunda corriente de agua de alimentación (85) tiene un caudal másico de segunda corriente de agua de alimentación, el combustible (5) tiene un caudal másico de combustible, y el gas oxidante (3) tiene un caudal másico de gas oxidante; y

30 donde el caudal másico de la mezcla de gas de alimentación, el caudal másico de la primera corriente de agua alimentación, el caudal másico de la segunda corriente de agua de alimentación, el caudal másico de combustible y el caudal másico de gas oxidante se seleccionan de tal manera que

$$0 \leq \frac{m_{vapor}}{m_{H_2}} \leq 13.$$

35 donde el producto que contiene hidrógeno (105) es al menos 95% en moles de hidrógeno.

12. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones precedentes que además comprende:

40 calentar agua sin tratar (53) mediante transferencia indirecta de calor con el gas de producto de combustión (35) desde la etapa (b) calentar de este modo el agua sin tratar para su purificación mediante un proceso de purificación de agua térmica para producir agua purificada (42) y enfriando de ese modo el gas de los productos de combustión, en donde el gas de producto de combustión se enfría para calentar el agua sin tratar antes de que el gas de producto de combustión se enfríe para calentar la primera corriente de agua de alimentación (87); donde el uno o más productos de agua líquida comprenden el agua purificada (42).

13. El proceso de la reivindicación 12, en el que la etapa de calentar agua sin tratar (53) por transferencia de calor con el gas de producto de combustión (35) comprende:

45 calentar un fluido de trabajo por transferencia indirecta de calor con el gas de producto de combustión (35) de la etapa (b), y calentar el agua sin tratar (53) mediante transferencia indirecta de calor con el fluido de trabajo.

14. El proceso de la reivindicación 13 donde el fluido de trabajo es agua, donde el agua de trabajo se evapora para formar una corriente de vapor (221) que tiene una presión en el intervalo de 15,2 kPa a 304 kPa (absoluta) cuando es

calentada por el gas de combustión (35) de la etapa (b), y en el que al menos una parte de la corriente de vapor se condensa cuando se calienta el agua sin tratar (53).

15. El proceso de la reivindicación 14 que además comprende:

5 formar un producto de vapor (150) a partir de al menos una parte de la corriente de agua de alimentación de la caldera (123) retirado del desaireador (110) o no formar un producto de vapor;

10 en el que la etapa de formar el producto que contiene hidrógeno (105) comprende separar al menos una parte del reformado (25) mediante adsorción por oscilación de presión para producir el producto que contiene hidrógeno y un gas subproducto (115); en donde el producto que contiene hidrógeno (105) tiene un caudal másico, m_{H_2} , el producto de vapor (150) exportado desde el proceso tiene un caudal másico, m_{vapor} , donde $m_{vapor} = 0$ cuando no se forma ningún producto de vapor, la mezcla de gas de alimentación del reformado(15) tiene un caudal másico de agua de alimentación de reformado, la primera corriente de agua de alimentación (87) tiene un caudal másico de primera corriente de agua de alimentación de alimentación, la segunda corriente de agua de alimentación (85) tiene un caudal másico de corriente de segunda de agua de alimentación, el combustible (5) tiene caudal másico de combustible, y el gas oxidante (3) tiene un caudal másico de gas oxidante; y

15 en el que el caudal másico de la mezcla de gases que alimenta el reformado, el caudal másico de la primera corriente de agua de alimentación, el caudal másico de la segunda corriente de agua de alimentación, el caudal másico de combustible y el caudal másico de gas oxidante se seleccionan de tal manera que

$$0 \leq \frac{m_{vapor}}{m_{H_2}} \leq 7 .$$

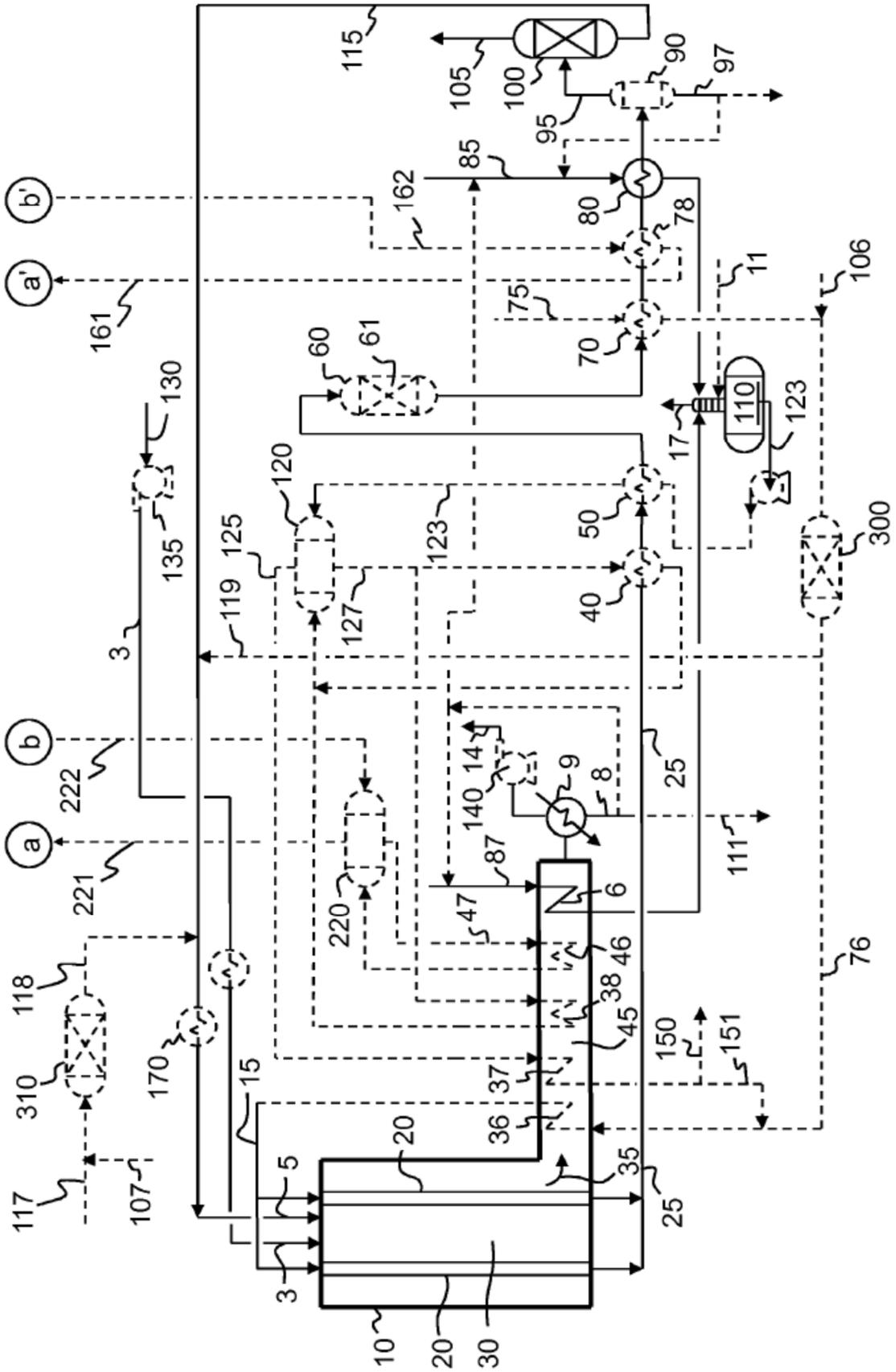


FIG. 1a

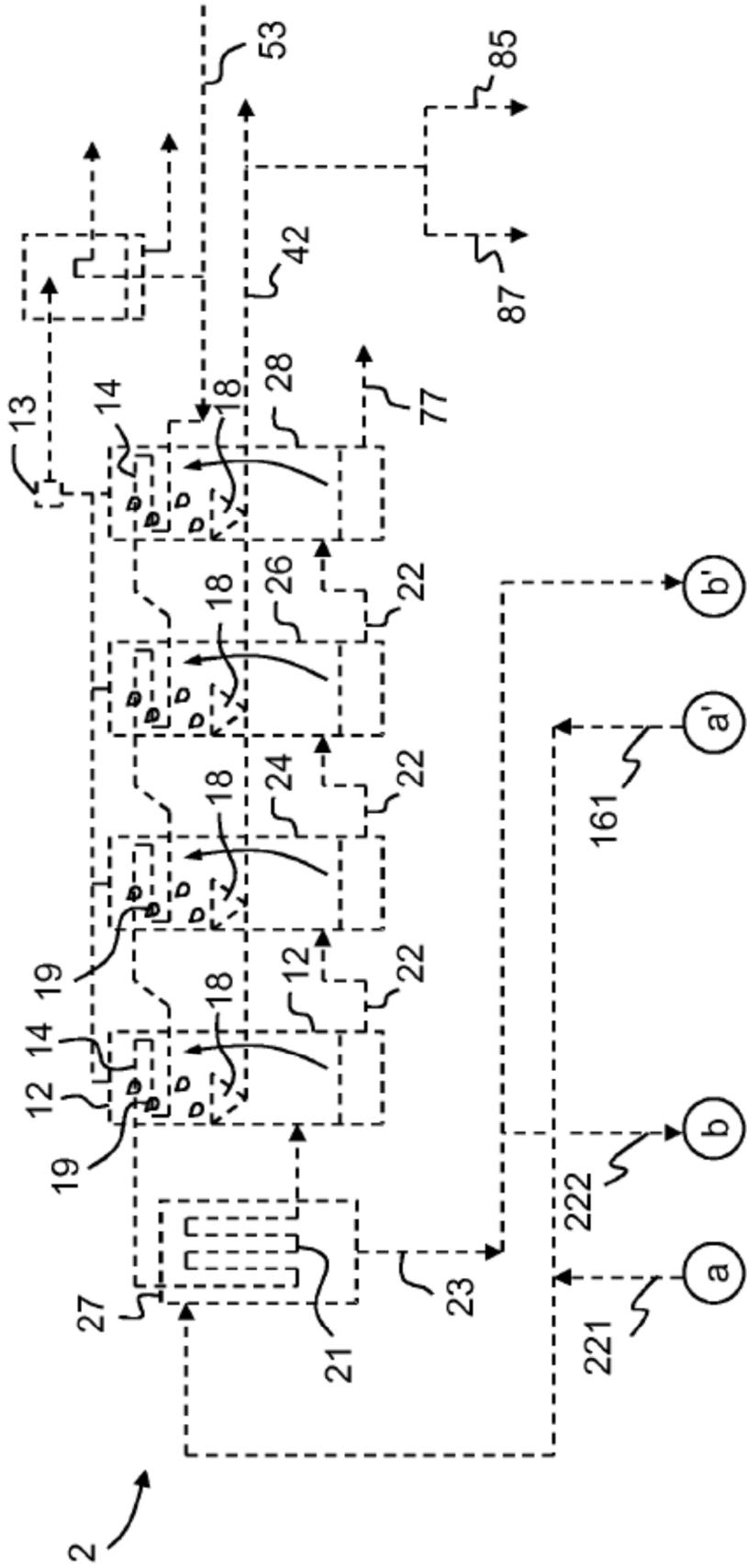


FIG. 16

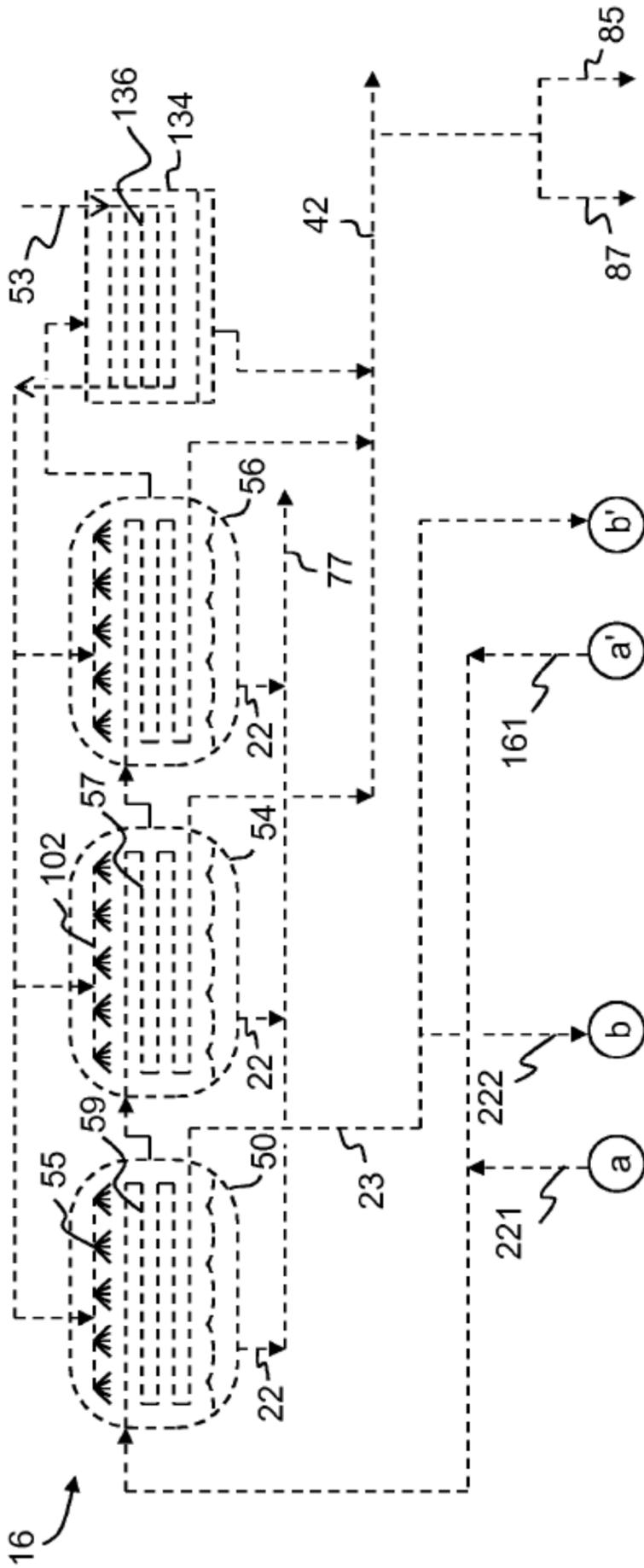


FIG. 1C

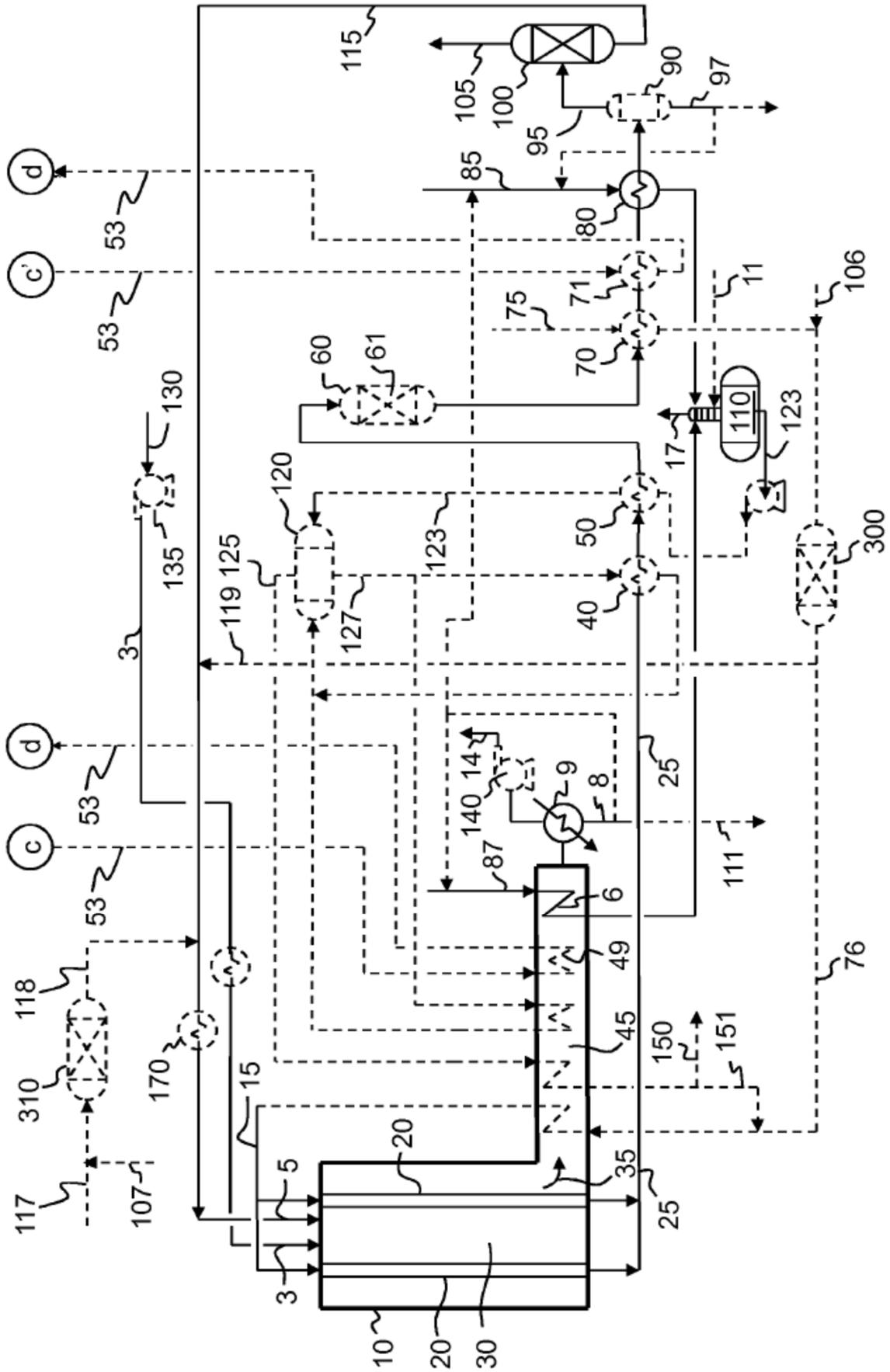


FIG. 2a

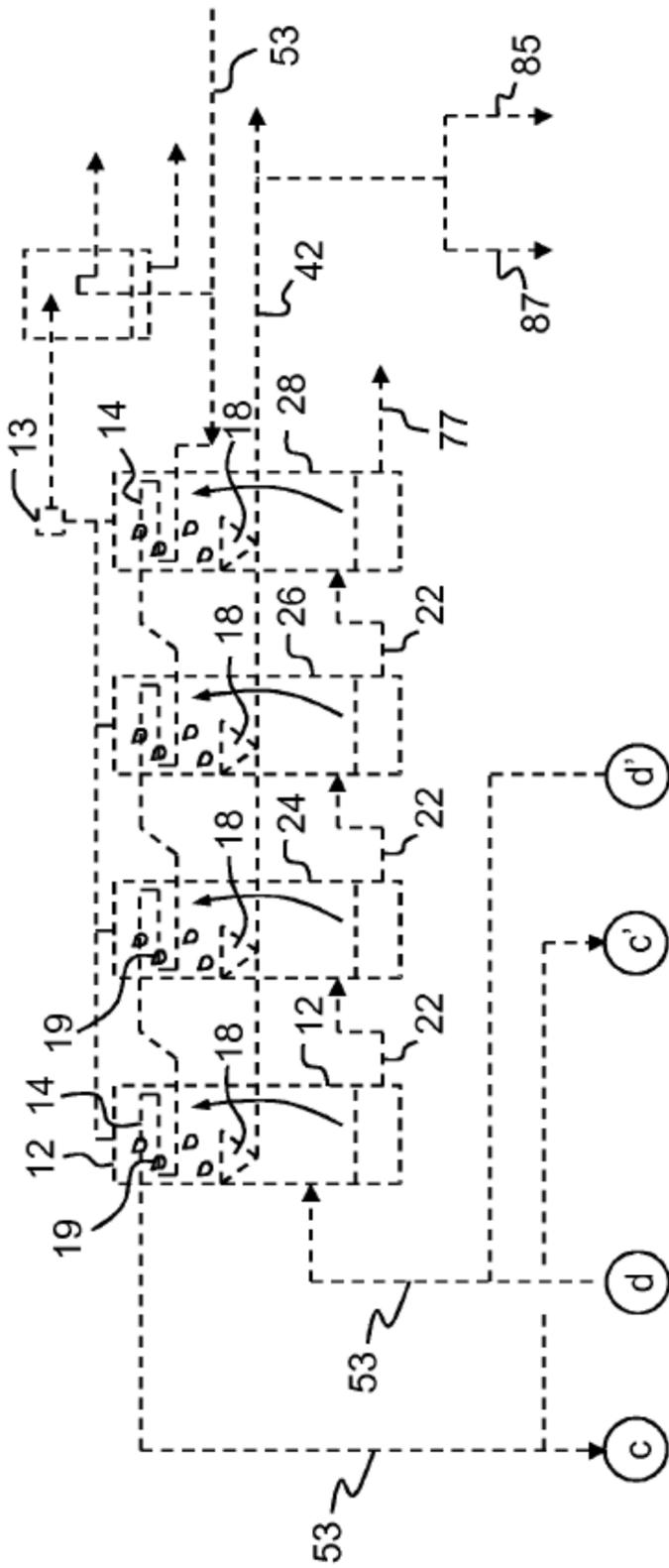


FIG. 26

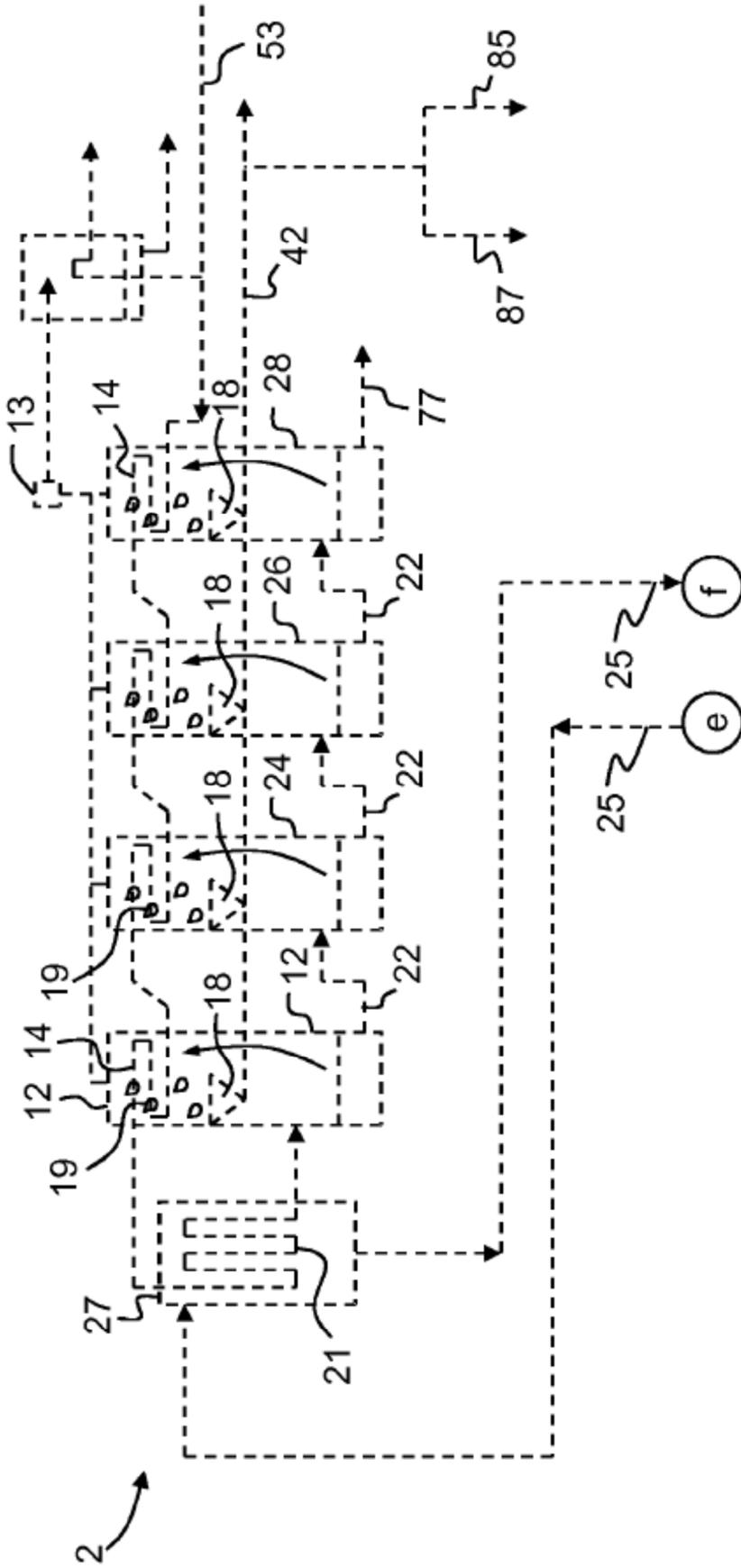


FIG. 36

