

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 698 925**

51 Int. Cl.:

C01B 3/38 (2006.01)

B01D 3/06 (2006.01)

C02F 1/16 (2006.01)

B01D 1/00 (2006.01)

C02F 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2013** **E 13189957 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018** **EP 2865640**

54 Título: **Purificación de agua utilizando energía de un procedimiento de reformación de hidrocarburos por vapor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.02.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

PENG, XIANG-DONG

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 698 925 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

Purificación de agua utilizando energía de un procedimiento de reformación de hidrocarburos por vapor

5 **ANTECEDENTES**

Los procedimientos térmicos de purificación de agua, tales como desalinización térmica de agua salada utilizando destilación instantánea multietapas (MSF) o destilación de efecto múltiple (MED), utilizan calor de una fuente de energía de vapor de alta calidad, de baja presión, para efectuar el procedimiento de purificación de agua. El vapor de baja presión se genera utilizando tecnología de hervidores habitual (consúltense las patentes de EE.UU. Nos. 4.338.199 y 5.441.548).

Se conoce el uso de otras formas de energía para la desalinización. Por ejemplo, la patente de EE.UU. N° 5.421.962 utiliza energía solar para procedimientos de desalinización, la publicación de patente de EE.UU. 2011/0162952 utiliza energía de un procedimiento de gasificación, y la publicación de patente de EE.UU. 2011/0147195 utiliza calor de desecho de una planta de generación de energía para el procedimiento de desalinización.

La industria desea utilizar el calor de desecho de los procedimientos catalíticos de reformación de hidrocarburos por vapor. Los procedimientos catalíticos de reformación de hidrocarburos por vapor liberan una gran cantidad de calor de desecho en diversas circunstancias. Una circunstancia es cuando el coste de la energía es bajo y se gasta menos capital en la recuperación de calor. Otra circunstancia es cuando el procedimiento no produce una gran cantidad de vapor de exportación de alta presión debido a la falta de demanda de vapor de exportación. Una producción de vapor de exportación baja o nula reduce el disipador de calor para el procedimiento, dando como resultado una gran cantidad de calor de desecho.

La industria desea producir agua purificada en regiones con escasez de agua. El agua puede utilizarse como agua de reconstitución en el procedimiento catalítico de reformación de hidrocarburos por vapor, haciendo al procedimiento autosuficiente con respecto al agua. El agua también puede venderse como un producto para uso industrial y municipal.

La industria desea reducir o eliminar el coste del tratamiento del agua en una planta de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor. Actualmente, el agua de reconstitución necesita ser tratada en una planta de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor para que cumpla los requisitos para el agua de alimentación de hervidor. Estos tratamientos incluyen filtración para retirar partículas, desmineralización para retirar minerales disueltos, y desaireación para retirar gases solubles tales como O₂ y CO₂.

La industria desea reducir el coste de capital y de energía del procedimiento catalítico de reformación de hidrocarburos por vapor. La eficacia térmica de los procedimientos catalíticos de reformación de hidrocarburos por vapor depende de la utilización de calor de bajo nivel. Cuando el coste de la energía es alto, más calor de bajo nivel se recupera para una mejor eficacia térmica o un menor coste de energía. Sin embargo, recuperar más calor significa utilizar más intercambiadores de calor y/o más grandes, dando como resultado un coste de capital más alto. En contraste, cuando el coste de la energía es bajo, el coste de capital para los intercambiadores de calor se minimiza con el sacrificio de la eficacia térmica o el coste de la energía.

Existe una necesidad en la técnica de sistemas y procedimientos para producir un gas producto que contiene H₂ y agua purificada que sean rentables y proporcionen una mayor utilización del calor de desecho de procedimientos catalíticos de reformación de hidrocarburos por vapor.

BREVE COMPENDIO

Las realizaciones de la presente invención satisfacen la necesidad en la técnica proporcionando sistemas y procedimientos para producir un gas producto que contiene H₂ y agua purificada a partir de un procedimiento integrado de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor y purificación térmica de agua. Las realizaciones de la presente invención utilizan mejor el calor de desecho de la reformación catalítica de hidrocarburos por vapor utilizando el calor del reformado en cada efecto o etapa del procedimiento de purificación térmica de agua. Las realizaciones de la presente invención pueden reducir o eliminar costes asociados con la disipación del calor de desecho en exceso, y también pueden proporcionar flexibilidad para equilibrar la carga de calor y otras condiciones de operación a través del procedimiento de purificación térmica de agua.

Hay varios aspectos específicos de los sistemas y procedimientos bosquejados a continuación. Los números de referencia y expresiones expuestos entre paréntesis hacen referencia a una realización ilustrativa explicada adicionalmente más adelante con referencia a las figuras. Los números de referencia y expresiones, sin embargo, son solo ilustrativos y para la conveniencia del lector, y no limitan el aspecto a ningún componente o rasgo específico de la realización ilustrativa. Los aspectos pueden formularse como reivindicaciones en las que los números de referencia y expresiones expuestos entre paréntesis son omitidos o reemplazados por otros según sea apropiado.

Aspecto 1. Un procedimiento para producir un gas (200) producto que contiene H₂ y para producir agua (42)

purificada a partir de una corriente (53) de agua bruta que contiene contaminantes, procedimiento que comprende:

- (i) extraer un reformado (60) que comprende H_2 , CO , CH_4 y H_2O de un horno (100) reformador;
- 5 (ii) hacer pasar al menos una porción (62) del reformado (60) de la etapa (i) a un primer evaporador (58) de una pluralidad de evaporadores de un sistema (16) de purificación térmica de agua;
- (iii) hacer pasar al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta al primer evaporador (58);
- (iv) introducir una primera corriente (41) de vapor en el primer evaporador (58), en donde la primera corriente
- 10 (41) de vapor se forma en un segundo evaporador (52) de la pluralidad de evaporadores del sistema (16) de purificación térmica de agua calentando al menos una porción (63) o una segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor con al menos una porción (62) o una segunda porción (68) del reformado (60);
- (v) calentar al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta hecha pasar al primer evaporador (58) en la etapa (iii) en el primer evaporador (58) por transferencia indirecta de calor con al menos una
- 15 porción (62) del reformado (60) de la etapa (ii) e independientemente por transferencia indirecta de calor con la primera corriente (41) de vapor de la etapa (iv) para formar una segunda corriente (43) de vapor evaporando una porción de al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta, enfriando de este modo al menos una porción (62) del reformado (60), formando una primera corriente (71) de condensado a partir de la primera corriente (41) de vapor, y concentrando los contaminantes en al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta;
- (vi) extraer la segunda corriente (43) de vapor del primer evaporador (58);
- (vii) extraer al menos una porción (62) del reformado (60) del primer evaporador (58);
- (viii) extraer la primera corriente (71) de condensado del primer evaporador (58), en donde el agua (42)
- 20 purificada comprende la primera corriente (71) de condensado;
- (ix) extraer al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta del primer evaporador (58), teniendo
- 25 al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta que cuando se introdujo en el primer evaporador (58); y
- (x) hacer pasar al menos una porción (62) del reformado (60) extraída en la etapa (vii) a un separador (210) de gases y separar al menos una porción (62) del reformado (60) en el separador (210) de gases para
- 30 producir al menos una porción de la corriente (200) de gas producto que contiene H_2 y al menos una porción de una corriente (250) de gas subproducto.

Al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta en la que los contaminantes se concentran en la etapa (v), y que se extrae del primer evaporador (58) en la etapa (ix), es el resto de al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta introducida en el evaporador (58) que no se evapora en la etapa (v) para formar la

35 segunda corriente (43) de vapor.

Aspecto 2. El procedimiento del Aspecto 1, en donde al menos una porción (62) del reformado (60) se enfría hasta una temperatura que varía de $25^\circ C$ a $65^\circ C$ en el primer evaporador (58).

40 Aspecto 3. El procedimiento del Aspecto 1 o 2, en donde todo el reformado (60) se hace pasar al primer evaporador (58).

Aspecto 4. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 3, en donde al menos una porción (62) del reformado (60) en la etapa (ii) es todo el reformado (60).

45

Aspecto 5. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 4, que comprende además hacer pasar al menos una porción del agua purificada (42) como agua (95) de reconstitución a un sistema de reformación de hidrocarburos por vapor que comprende el horno (100) reformador.

50 Aspecto 6. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 5, en donde el reformado (60) o porciones del mismo calientan la corriente (53) de agua bruta o porciones de la misma en cada uno de la pluralidad de evaporadores.

Aspecto 7. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 6, en donde el agua bruta comprende al menos una de agua salada, agua de río, agua de corriente, agua de lago, agua reciclada municipal, agua reciclada industrial, agua subterránea, y condensado de proceso de un procedimiento de reformación de metano por vapor.

55

Aspecto 8. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 7, en donde el separador (210) de gases es un adsorbente por inversión de presión y al menos una porción (62) del reformado (60) es separada por adsorción por inversión de presión para producir al menos una porción de la corriente (200) de gas producto que contiene H_2 y al menos una porción de una porción de una corriente (250) de gas subproducto.

60

Aspecto 9. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 8, en donde al menos una porción (62) del reformado (60) transfiere calor a la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor en el segundo evaporador (52):

65

5 haciendo pasar al menos una porción (62) del reformado (60) al segundo evaporador (52);
 haciendo pasar la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta al segundo evaporador (52); y
 calentando la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta en el segundo evaporador (52) por
 transferencia indirecta de calor con al menos una porción (62) del reformado (60), formando de este modo la
 primera corriente (41) de vapor evaporando una porción de la segunda porción (69) de la corriente (53) de
 agua bruta, enfriando de este modo al menos una porción (62) del reformado (60), y concentrando los
 contaminantes en la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta. La segunda porción (69) de la
 corriente (53) de agua bruta en la que los contaminantes están concentrados es el resto de la segunda
 porción (69) de la corriente (53) de agua bruta introducida en el segundo evaporador (52) que no se ha
 10 evaporado para formar la primera corriente (41) de vapor.

Aspecto 10. El procedimiento del Aspecto 9, que comprende además:

15 extraer la primera corriente (41) de vapor del segundo evaporador (52);
 extraer al menos una porción (62) del reformado (60) del segundo evaporador (52); y
 extraer la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta del segundo evaporador (52), teniendo la
 segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta que
 cuando se introdujo en el segundo evaporador (52).

20 Aspecto 11. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 8, en donde la segunda porción (68) del
 reformado (60) transfiere calor a la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia
 indirecta de calor en el segundo evaporador (52):

25 haciendo pasar la segunda porción (68) del reformado (60) al segundo evaporador (52);
 haciendo pasar la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta al segundo evaporador (52); y
 calentando la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta en el segundo evaporador (52) por
 transferencia indirecta de calor con la segunda porción (68) del reformado (60), formando de este modo la
 primera corriente (41) de vapor evaporando una porción de la segunda porción (69) de la corriente (53) de
 agua bruta, enfriando de este modo la segunda porción (68) del reformado (60), y concentrando los
 contaminantes en la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta. La segunda porción (69) de la
 corriente (53) de agua bruta en la que los contaminantes están concentrados es el resto de la segunda
 porción (69) de la corriente (53) de agua bruta introducida en el segundo evaporador (52) que no se ha
 30 evaporado para formar la primera corriente (41) de vapor.

Aspecto 12. El procedimiento del Aspecto 11, que comprende además:

35 extraer la primera corriente (41) de vapor del segundo evaporador (52);
 extraer la segunda porción (68) del reformado (60) del segundo evaporador (52);
 extraer la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta del segundo evaporador (52), teniendo la
 segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta que
 cuando se introdujo en el segundo evaporador (52); y
 40 hacer pasar la segunda porción (68) del reformado (60) extraído del segundo evaporador (52) al separador
 (210) de gases y separar la segunda porción (68) del reformado (60) en el separador (210) de gases para
 producir al menos una porción de la corriente (200) de gas producto que contiene H₂ y al menos una porción
 de una corriente (250) de gas subproducto.

45 Aspecto 13. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 8, en donde al menos una porción (62) de una
 tercera porción (86) del reformado (60) transfiere calor a una tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta
 por transferencia indirecta de calor en un tercer evaporador (83) de la pluralidad de evaporadores.

50 Aspecto 14. El procedimiento del Aspecto 13, en donde al menos una porción (62) del reformado (60) transfiere calor
 a la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor en el tercer
 evaporador (83):

55 haciendo pasar al menos una porción (62) del reformado (60) al tercer evaporador (83);
 haciendo pasar la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta al tercer evaporador (83); y
 calentando la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta en el tercer evaporador (83) por
 transferencia indirecta de calor con al menos una porción (62) del reformado (60), formando de este modo
 una tercera corriente (46) de vapor evaporando una porción de la tercera porción (65) de la corriente (53) de
 agua bruta, enfriando de este modo al menos una porción (62) del reformado (60), y concentrando los
 contaminantes en la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta. La tercera porción (65) de la
 corriente (53) de agua bruta en la que los contaminantes están concentrados es el resto de la tercera porción
 (65) de la corriente (53) de agua bruta introducida en el tercer evaporador (83) que no se ha evaporado para
 60 formar la tercera corriente (46) de vapor.

Aspecto 15. El procedimiento del Aspecto 14, que comprende además:

65 extraer la tercera corriente (46) de vapor del tercer evaporador (83);

extraer al menos una porción (62) del reformado (60) del tercer evaporador (83); y
 extraer la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta del tercer evaporador (83), teniendo la
 tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta que
 cuando se introdujo en el tercer evaporador (83).

5 Aspecto 16. El procedimiento del Aspecto 13, en donde la tercera porción (86) del reformado (60) transfiere calor a
 la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor en el tercer evaporador
 (83):

10 haciendo pasar la tercera porción (86) del reformado (60) al tercer evaporador (83);
 haciendo pasar la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta al tercer evaporador (83); y
 calentando la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta en el tercer evaporador (83) por
 transferencia indirecta de calor con la tercera porción (86) del reformado (60), formando de este modo una
 15 tercera corriente (46) de vapor evaporando una porción de la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua
 bruta, enfriando de este modo la tercera porción (86) del reformado (60), y concentrando los contaminantes
 en la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta. La tercera porción (65) de la corriente (53) de
 agua bruta en la que los contaminantes están concentrados es el resto de la tercera porción (65) de la
 corriente (53) de agua bruta introducida en el tercer evaporador (83) que no se ha evaporado para formar la
 20 tercera corriente (46) de vapor.

Aspecto 17. El procedimiento del Aspecto 16, que comprende además:

extraer la tercera corriente (46) de vapor del tercer evaporador (83);
 extraer la tercera porción (86) del reformado (60) del tercer evaporador (83);
 25 extraer la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta del tercer evaporador (83), teniendo la
 tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta que
 cuando se introdujo en el tercer evaporador (83); y
 hacer pasar la tercera porción (86) del reformado (60) extraída del tercer evaporador (83) al separador (210)
 de gases y separar la tercera porción (86) del reformado (60) en el separador (210) de gases para producir al
 30 menos una porción de la corriente (200) de gas producto que contiene H₂ y al menos una porción de una
 corriente (250) de gas subproducto.

Aspecto 18. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 8, en donde al menos una porción (62) del
 reformado (60) transfiere calor a al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia
 35 indirecta de calor en el segundo evaporador (52):

haciendo pasar al menos una porción (62) del reformado (60) al segundo evaporador (52);
 haciendo pasar al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta al segundo evaporador (52);
 40 calentando al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta en el segundo evaporador (52) por
 transferencia indirecta de calor con al menos una porción (62) del reformado (60), formando de este modo la
 primera corriente (41) de vapor evaporando una porción de al menos una porción (63) de la corriente (53) de
 agua bruta, enfriando de este modo al menos una porción (62) del reformado (60), y concentrando los
 contaminantes en al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta. Al menos una porción (63) de
 45 la corriente (53) de agua bruta en la que los contaminantes están concentrados es el resto de al menos una
 porción (63) de la corriente (53) de agua bruta introducida en el segundo evaporador (52) que no se ha
 evaporado para formar la primera corriente (41) de vapor.

Aspecto 19. El procedimiento del Aspecto 18, que comprende además:

50 extraer la primera corriente (41) de vapor del segundo evaporador (52);
 extraer al menos una porción (62) del reformado (60) del segundo evaporador (52); y
 extraer al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta del segundo evaporador (52), teniendo al
 menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta
 que cuando se introdujo en el segundo evaporador (52).

Aspecto 20. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 8, en donde la segunda porción (68) del
 reformado (60) transfiere calor a al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia
 indirecta de calor en el segundo evaporador (52):

60 haciendo pasar la segunda porción (68) del reformado (60) al segundo evaporador (52);
 haciendo pasar al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta al segundo evaporador (52);
 calentando al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta en el segundo evaporador (52) por
 transferencia indirecta de calor con la segunda porción (68) del reformado (60), formando de este modo la
 primera corriente (41) de vapor evaporando una porción de al menos una porción (63) de la corriente (53) de
 65 agua bruta, enfriando de este modo la segunda porción (68) del reformado (60), y concentrando los
 contaminantes en al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta. Al menos una porción (63) de

la corriente (53) de agua bruta en la que los contaminantes están concentrados es el resto de al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta introducida en el segundo evaporador (52) que no se ha evaporado para formar la primera corriente (41) de vapor.

5 Aspecto 21. El procedimiento del Aspecto 20, que comprende además:

extraer la primera corriente (41) de vapor del segundo evaporador (52);
 extraer la segunda porción (68) del reformado (60) del segundo evaporador (52);
 10 extraer al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta del segundo evaporador (52), teniendo al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta que cuando se introdujo en el segundo evaporador (52); y
 hacer pasar la segunda porción (68) del reformado (60) extraída del segundo evaporador al separador (210) de gases y separar la segunda porción (68) del reformado (60) en el separador (210) de gases para producir
 15 al menos una porción de la corriente (200) de gas producto que contiene H₂ y al menos una porción de una corriente (250) de gas subproducto.

Aspecto 22. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 8, en donde al menos una porción (62) o una tercera porción (86) del reformado (60) transfiere calor a al menos una porción (63) o una segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor en un tercer evaporador (83) de la pluralidad de evaporadores.
 20

Aspecto 23. El procedimiento del Aspecto 22, en donde al menos una porción (62) del reformado (60) transfiere calor a al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor en el tercer evaporador (83):
 25

haciendo pasar al menos una porción (62) del reformado (60) al tercer evaporador (83);
 haciendo pasar al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta al tercer evaporador (83); y
 calentando al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta en el tercer evaporador (83) por
 30 transferencia indirecta de calor con al menos una porción (62) del reformado (60), formando de este modo una tercera corriente (46) de vapor evaporando una porción de al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta, enfriando de este modo al menos una porción (62) del reformado (60) y concentrando los contaminantes en al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta. Al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta en la que los contaminantes están concentrados es el resto de al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta introducida en el tercer evaporador (83) que no se ha
 35 evaporado para formar la tercera corriente (46) de vapor.

Aspecto 24. El procedimiento del Aspecto 23, que comprende además:

extraer la tercera corriente (46) de vapor del segundo evaporador (52);
 40 extraer al menos una porción (62) del reformado (60) del tercer evaporador (83); y
 extraer al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta del tercer evaporador (83), teniendo al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta que cuando se introdujo en el tercer evaporador (83).

45 Aspecto 25. El procedimiento del Aspecto 22, en donde la tercera porción (86) del reformado (60) transfiere calor a al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor en el tercer evaporador (83):

haciendo pasar la tercera porción (86) del reformado (60) al tercer evaporador (83);
 50 haciendo pasar al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta al tercer evaporador (83); y
 calentando al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta en el tercer evaporador (83) por transferencia indirecta de calor con la tercera porción (86) del reformado (60), formando de este modo una tercera corriente (46) de vapor evaporando una porción de al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta, enfriando de este modo la tercera porción (86) del reformado (60), y concentrando los
 55 contaminantes en al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta. Al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta en la que los contaminantes están concentrados es el resto de al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta introducida en el tercer evaporador (83) que no se ha evaporado para formar la tercera corriente (46) de vapor.

60 Aspecto 26. El procedimiento del Aspecto 25, que comprende además:

extraer la tercera corriente (46) de vapor del tercer evaporador (83);
 extraer la tercera porción (86) del reformado (60) del tercer evaporador (83);
 65 extraer al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta del tercer evaporador (83), teniendo al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta que cuando se introdujo en el tercer evaporador (83); y

hacer pasar la tercera porción (86) del reformado (60) extraída del tercer evaporador (83) al separador (210) de gases y separar la tercera porción (86) del reformado (60) en el separador (210) de gases para producir al menos una porción de la corriente (200) de gas producto que contiene H₂ y al menos una porción de una corriente (250) de gas subproducto.

5

Aspecto 27. El procedimiento de uno cualquiera de los Aspectos 1 a 26, que comprende además:

hacer pasar la segunda corriente (43) de vapor a un condensador (134) para la condensación de la misma, formando de este modo una segunda corriente de condensado a partir de la segunda corriente (43) de vapor; y
 extraer la segunda corriente de condensado del condensador (134), en donde el agua (42) purificada también comprende la segunda corriente de condensado.

10

15

Aspecto 28. El procedimiento del Aspecto 27, en donde se transfiere calor por intercambio indirecto de calor de la segunda corriente (43) de vapor a la corriente (53) de agua bruta en el condensador (134).

Aspecto 29. Un sistema para producir un gas (200) producto que contiene H₂ y para producir agua (42) purificada a partir de una corriente (53) de agua bruta que contiene contaminantes, sistema que comprende:

20

un sistema (16) de purificación térmica de agua que comprende una pluralidad de evaporadores (52, 58), en donde al menos un primer evaporador (58) de la pluralidad de evaporadores comprende una primera bobina (81) de transferencia de calor conectada operativamente a una fuente (100) de un reformado que comprende H₂, CO, CH₄ y H₂O para recibir reformado de la fuente del reformado y una segunda bobina (57) de transferencia de calor conectada operativamente a una fuente de vapor para recibir vapor de la fuente de vapor; y

25

un separador (210) de gases conectado operativamente a la primera bobina (81) de transferencia de calor para recibir reformado de la primera bobina de transferencia de calor;

30

en donde la fuente de vapor es un segundo evaporador (52) de la pluralidad de evaporadores y la fuente del reformado es un sistema de reformación de hidrocarburos por vapor que comprende un horno (100) reformador; y

en donde el segundo evaporador (52) de la pluralidad de evaporadores comprende una tercera bobina (59) de transferencia de calor conectada operativamente a la fuente del reformado (100) para recibir reformado de la fuente del reformado.

35

Aspecto 30. El sistema del Aspecto 29, en donde el separador (210) de gases es un adsorbente de inversión de presión.

Aspecto 31. El sistema del Aspecto 29 o 30, en donde la primera bobina (81) de transferencia de calor está conectada operativamente a la tercera bobina (59) de transferencia de calor contenida en el segundo evaporador (52) para recibir el reformado de la tercera bobina (59) de transferencia de calor.

40

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DIVERSAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

La FIGURA 1 es un diagrama de flujo de proceso de un procedimiento integrado de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento instantáneo multietapas donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo.

45

La FIGURA 2 es un diagrama de flujo de proceso de un procedimiento integrado de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento destilación de efecto múltiple donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo.

50

La FIGURA 3 es un diagrama de flujo de proceso de un procedimiento integrado de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento instantáneo multietapas donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo.

La FIGURA 4 es un diagrama de flujo de proceso de un procedimiento integrado de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento destilación de efecto múltiple donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo.

55

La FIGURA 5 es un diagrama de flujo de proceso de un procedimiento integrado de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento destilación de efecto múltiple con dos etapas donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo.

La FIGURA 6 es un diagrama de flujo de proceso de un procedimiento integrado de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento destilación de efecto múltiple con dos etapas donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo.

60

La FIGURA 7 es un diagrama de flujo de proceso de un procedimiento integrado de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento destilación de efecto múltiple con cuatro etapas donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo.

La FIGURA 8 es un diagrama de flujo de proceso de un procedimiento integrado de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento destilación de efecto múltiple con cuatro etapas donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo.

65

La FIGURA 9 es un diagrama de flujo de proceso de un procedimiento integrado de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento destilación de efecto múltiple con dos pares de etapas donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo.

5 DESCRIPCIÓN DETALLADA

Los artículos “un” y “uno”, como se emplean en la presente memoria, significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica en realizaciones de la presente invención descritas en la memoria descriptiva y las reivindicaciones. El uso de “un” y “uno” no limita el significado a una única característica, a menos que tal límite se indique específicamente. El artículo “el” precediendo a nombres singulares o plurales o frases de nombres denota una característica especificada particular o características especificadas particulares, y puede tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se use. El adjetivo “cualquiera” significa uno, algunos o todos indiscriminadamente de cualquier cantidad que sea. 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.

La frase “al menos una porción” significa “una porción o todo”. Al menos una porción de una corriente puede tener la misma composición que la corriente de la que se deriva. Al menos una porción de una corriente puede tener una composición diferente a la de la corriente de la que se deriva. Al menos una porción de una corriente puede incluir componentes específicos de la corriente de la que se deriva.

Como se emplea en la presente memoria, “primera”, “segunda”, “tercera”, etc. se utilizan para distinguir de entre una pluralidad de características y/o etapas, y no indican la posición relativa en el tiempo o el espacio.

25 Como se utiliza en presente memoria, el término “catalizador” se refiere a un soporte, material catalítico, y cualquier otro aditivo que pueda estar presente en el soporte.

Como se emplea en la presente memoria una “porción dividida” de una corriente es una porción que tiene la misma composición química que la corriente de la que se tomó.

30 El término “reducida” significa que tiene una concentración molar en % menor del componente indicado que la corriente original de la que se formó. “Reducida” no significa que la corriente carezca completamente del componente indicado.

35 Como se emplea en la presente memoria, “calor” y “calentamiento” puede incluir calor y calentamiento tanto sensible como latente.

Como se utiliza en la presente memoria, “agua bruta” es cualquier agua impura, por ejemplo, una o más de agua salada (agua del océano, agua de mar, agua salobre), agua superficial tal como una corriente, río o lago, agua subterránea, agua municipal/industrial reutilizada o reciclada, o agua residual de un proceso industrial, tal como agua rechazada de un procedimiento de reformación de metano por vapor tal como el condensado de proceso. El condensado de proceso es el agua condensada a partir de la corriente del reformado del procedimiento SMR. El agua bruta es generalmente menos pura que el agua de alimentación industrial convencional, tal como el agua potable.

45 Como se emplea en la presente memoria, “agua purificada” significa cualquier agua destilada (es decir, destilado o agua condensada) a partir de un procedimiento de purificación térmica de agua.

50 Como se emplea en la presente memoria, “reformado” o “una corriente de reformado” es cualquier corriente que comprende hidrógeno y monóxido de carbono formados a partir de la reacción de reformación de un hidrocarburo y vapor.

Como se emplea en la presente memoria, “transferencia indirecta de calor” es una transferencia de calor de una corriente a otra corriente donde las corrientes no se mezclan entre sí. La transferencia indirecta de calor incluye, por ejemplo, transferencia de calor de un primer fluido a un segundo fluido en un intercambiador de calor donde los fluidos son separados por platos o tubos. La transferencia indirecta de calor incluye una transferencia de calor de un primer fluido a un segundo fluido donde se utiliza un fluido de trabajo intermedio para llevar el calor del primer fluido al segundo fluido. El primer fluido puede evaporar un fluido de trabajo, por ejemplo, vapor, en un evaporador, el fluido de trabajo se hace pasar a otro intercambiador de calor o condensador, donde el fluido de trabajo transfiere calor al segundo fluido. La transferencia indirecta de calor del primer fluido a un segundo fluido utilizando un fluido de trabajo puede ser adaptada utilizando una tubería de calor, termosifón o similares.

65 Como se emplea en la presente memoria, “transferencia directa de calor” es transferencia de calor de una corriente a otra corriente donde las corrientes se mezclan íntimamente entre sí. La transferencia directa de calor incluye, por ejemplo, humidificación, donde se pulveriza agua directamente en una corriente de aire caliente y el calor del aire evapora el agua.

En las figuras, los conductos se representan como líneas con flechas que conectan uno o más de otros componentes del sistema. Cada uno de tales conductos está conectado operativamente a una salida de un componente (es decir, el componente del que se origina la línea) y una entrada de otro componente (es decir, el componente en el que termina la flecha), de tal modo que un gas y/o líquido puede ser llevado entre los mismos. Además, los componentes del sistema pueden estar conectados operativamente unos a otros por medio de otros componentes del sistema que pueden separarlos (por ejemplo, evaporadores, bobinas calentadoras, etc.). Conectar operativamente dos o más componentes de tal modo que un gas y/o líquido pueda ser llevado entre los mismos puede implicar cualquier método adecuado conocido en la técnica, incluyendo el uso de conductos con bridas, juntas y pernos.

En las reivindicaciones, pueden utilizarse letras (por ejemplo, (a), (b), (c), (d), etc.) o números romanos (por ejemplo, (i), (ii), (iii), (iv), etc.) para identificar etapas de proceso reivindicadas. Estas letras o números romanos se utilizan para ayudar a hacer referencia a las etapas de proceso, y no pretenden indicar el orden en el que se realizan las etapas reivindicadas, a menos que y solo hasta el punto en que tal orden sea recitado específicamente en las reivindicaciones.

La presente invención se refiere a un sistema y procedimiento para producir un producto que contiene H₂ y para producir agua purificada. El producto que contiene H₂ puede ser un gas producto que contiene H₂ o un gas de síntesis que tiene una relación molar H₂:CO deseada. El agua purificada puede ser agua desalinizada, es decir, agua purificada de agua salada. Para los fines de la presente descripción, "agua desalinizada" significa agua de la que 99-100% en peso de la sal presente originalmente ha sido retirada.

La presente invención se refiere a la integración de calor entre un procedimiento de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor y un procedimiento de purificación térmica de agua. El procedimiento de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor utiliza una gran cantidad de agua para la reacción (por ejemplo $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$) y la producción de un vapor de alta presión como co-producto. El procedimiento también produce una gran cantidad de calor de bajo nivel. La purificación térmica de agua produce agua purificada a partir de agua bruta, y su fuente de energía es calor de bajo nivel. Estos dos procedimientos se complementan el uno al otro en que la reformación catalítica de hidrocarburos por vapor consume agua y genera calor de bajo nivel, mientras que la purificación térmica de agua consume calor de bajo nivel y genera agua. La presente invención explota esta buena concordancia y consigue una reducción en el coste de capital y de energía total del procedimiento integrado.

Un procedimiento de purificación térmica de agua como el utilizado en la presente memoria es cualquier procedimiento que utiliza una fuente de calor para evaporar agua bruta y condensa el vapor de agua evaporado hasta un condensado o destilado (es decir, el agua purificada). El procedimiento de purificación térmica de agua puede ser, por ejemplo, un procedimiento de desalinización térmica comercial conocido, tal como destilación instantánea multietapas (MSF) o destilación de efecto múltiple (MED).

La reformación catalítica de hidrocarburos por vapor no ha sido integrada hasta ahora con la purificación térmica de agua, aunque la reformación catalítica de hidrocarburos por vapor produce una gran cantidad de calor de bajo nivel. No se han descrito hasta ahora esquemas de integración específicos.

Haciendo referencia ahora a los dibujos, en donde los números de referencia similares se refieren a elementos similares en todas las diversas vistas, las FIGURAS 1 y 3 muestran diagramas de flujo de proceso para diversas disposiciones por las que un procedimiento de reformación de hidrocarburos por vapor está integrado con un procedimiento de purificación térmica de agua instantáneo multietapas (MSF) para producir un producto 200 que contiene H₂ y agua 42 purificada. Las FIGURAS 2 y 4 muestran diagramas de flujo de proceso para diversas disposiciones por las que un procedimiento de reformación de hidrocarburos por vapor está integrado con un procedimiento de purificación térmica por Destilación de Efecto Múltiple (MED) para producir un producto 200 que contiene H₂ y agua 42 purificada. Las FIGURAS 5 y 6 muestran diagramas de flujo de proceso para realizaciones de la presente invención que comprenden un procedimiento de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento MED integrados con dos etapas donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo. Las FIGURAS 7 y 8 muestran diagramas de flujo de proceso para realizaciones de la presente invención que comprenden un procedimiento de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento MED integrados con cuatro etapas donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo. La FIGURA 9 muestra un diagrama de flujo de proceso para una realización de la presente invención que comprenden un procedimiento de reformación de hidrocarburos por vapor y un procedimiento MED híbrido integrados con dos pares de etapas donde el agua bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con el reformado sin utilizar un fluido de trabajo.

Debe apuntarse que las realizaciones de las FIGURAS 1 a 4 se han incluido en esta solicitud para proporcionar un contexto para la presente invención, pero no están dentro del alcance de las reivindicaciones de la presente invención.

- 5 El procedimiento de reformación de hidrocarburos por vapor de las realizaciones de la presente invención utiliza reformación catalítica de hidrocarburos por vapor. La reformación catalítica de hidrocarburos por vapor, llamada también reformación de metano por vapor (SMR), reformación catalítica por vapor o reformación por vapor, se define como cualquier procedimiento utilizado para convertir la materia prima del reformador en gas de síntesis por reacción con vapor sobre un catalizador. El gas de síntesis, llamado habitualmente syngas, es cualquier mezcla que comprende hidrógeno y monóxido de carbono. La reacción de reformación es una reacción endotérmica, y puede describirse generalmente como $C_nH_m + n H_2O \rightarrow n CO + (m/2 + n) H_2$. El hidrógeno se genera cuando se genera el gas de síntesis.
- 10 El procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple de las realizaciones de las FIGURAS 5-9 utiliza un reformado 60 que se extrae del procedimiento de reformación de hidrocarburos por vapor. El reformado 60 puede producirse introduciendo una mezcla 15 gaseosa de alimentación al reformador en una pluralidad de tubos 20 reformadores que contienen catalizador en el horno 100 reformador, haciendo reaccionar la mezcla 15 gaseosa de alimentación al reformador en una reacción de reformación en condiciones de reacción eficaces para formar un reformado 60 que
- 15 comprende H_2 , CO , CH_4 y H_2O . El reformado 60 puede extraerse después de los tubos 20 reformadores que contienen catalizador del horno 100 reformador.
- La mezcla 15 gaseosa de alimentación del reformador puede comprender una materia prima hidrocarbonada y vapor, o una mezcla de materia prima hidrocarbonada pre-reformada y vapor. La materia prima puede ser gas
- 20 natural, metano, nafta, propano, gas combustible de refinería, gas efluente de refinería, u otra materia prima de reformador adecuada conocida en la técnica.
- La reacción de reformación puede tener lugar en la pluralidad de tubos 20 reformadores que contienen catalizador en el horno 100 reformador. Un horno reformador, llamado también reformador por vapor catalítico, reformador de
- 25 metano por vapor y reformador de hidrocarburos por vapor, se define en la presente memoria como cualquier horno quemador utilizado para convertir una materia prima que contiene hidrógeno elemental y carbono en gas de síntesis por una reacción con vapor sobre un catalizador, con el calor proporcionado por la combustión de un combustible.
- Los hornos reformadores con una pluralidad de tubos reformadores que contienen catalizador, es decir, reformadores tubulares, son bien conocidos en la técnica. Puede utilizarse cualquier número adecuado de tubos reformadores que contienen catalizador. Los materiales y métodos de construcción adecuados son conocidos. El catalizador en los tubos reformadores que contienen catalizador puede ser cualquier catalizador adecuado conocido en la técnica, por ejemplo, un catalizador soportado que comprende níquel.
- 30 Las condiciones de reacción eficaces para formar el reformado 60 en la pluralidad de tubos reformadores que contienen catalizador pueden comprender una primera temperatura que varía de $500^\circ C$ a $1.000^\circ C$ y una primera presión que varía de 203 kPa a 5.066 kPa (absoluta).
- El agua 106 saturada de alimentación de hervidor del tambor 160 de vapor puede ser calentada por transferencia
- 40 indirecta de calor con el reformado 60 extraído de la pluralidad de tubos 20 reformadores que contienen catalizador en un primer intercambiador 110 de calor, formando de este modo el vapor 165 de alta presión que tiene una presión que varía de 1,5 a 12,5 MPa (absoluta). La mezcla 15 gaseosa de alimentación al reformador puede incluir el vapor 165 de alta presión.
- 45 Como se muestra en las figuras, el agua 106 saturada de alimentación de hervidor puede extraerse del tambor 160 de vapor y hacerse pasar al intercambiador 110 de calor, donde el agua 106 saturada de alimentación de hervidor puede ser calentada por intercambio indirecto de calor con el reformado 60 en el intercambiador 110 de calor. El agua de alimentación de hervidor calentada puede ser devuelta al tambor 160 de vapor, donde el vapor y el agua son separados. El vapor 165 de alta presión puede extraerse del tambor de vapor, y el agua de alimentación de hervidor saturada puede hacerse pasar a varios intercambiadores de calor para ser calentada.
- 50 El agua 105 de alimentación de hervidor puede ser calentada en un segundo intercambiador 170 de calor por transferencia indirecta de calor con el reformado 60 del primer intercambiador 110 de calor. Como se muestra en las figuras, el agua 105 de alimentación de hervidor puede ser calentada en el segundo intercambiador de calor 170 antes de ser calentada en el primer intercambiador 110 de calor.
- 55 El agua de alimentación de hervidor es agua que cumple ciertos requisitos de pureza para el uso en hervidores y tambores de corriente.
- 60 Como se muestra en las figuras, el reformado 60 puede hacerse pasar desde el segundo intercambiador 170 de calor al reactor 70 de conversión. El procedimiento puede comprender hacer reaccionar el reformado 60 del segundo intercambiador 170 de calor en presencia de un catalizador 75 de conversión en condiciones de reacción eficaces para formar hidrógeno adicional en el reformado 60. Puede obtenerse hidrógeno gas adicional por la reacción catalítica de monóxido de carbono y vapor. Esta reacción es exotérmica, y se denomina habitualmente reacción de conversión agua-gas o reacción de conversión: $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$. La reacción se efectúa haciendo pasar monóxido de carbono y agua a través de un lecho de un catalizador adecuado. Las condiciones de reacción eficaces
- 65

para formar hidrógeno adicional en el reformado 60 pueden comprender una segunda temperatura que varía de 190° C a 500° C y una segunda presión que varía de 203 kPa a 5.066 kPa (absoluta).

5 Puede utilizarse cualquier catalizador de conversión adecuado. El reactor de conversión puede ser un llamado conversión de alta temperatura (HTS), conversión de baja temperatura (LTS), conversión de temperatura media (MTS), o combinación. Dado que el artículo "un" significa "uno o más", pueden utilizarse uno o más reactores de conversión en el procedimiento.

10 Para la conversión de alta temperatura, son típicas una temperatura de entrada en el intervalo 310° C a 370° C, y una temperatura de salida en el intervalo 400° C a 500° C. Habitualmente se utiliza un catalizador de óxido de hierro/cromia para la conversión de alta temperatura.

15 Para la conversión de baja temperatura, son típicas una temperatura de entrada en el intervalo 190° C a 230° C, y una temperatura de salida en el intervalo 220° C a 250° C. Habitualmente se utiliza un catalizador que comprende cobre metálico, óxido de cinc, y se utiliza uno o más de otros óxidos difícilmente reducibles tales como alúmina o cromia para la conversión de baja temperatura.

20 Para la conversión de temperatura media, son típicas una temperatura de entrada en el intervalo 190° C a 230° C y una temperatura de salida de hasta 350° C. Puede utilizarse un catalizador de cobre soportado formulado adecuadamente para la conversión de temperatura media. Puede preferirse la conversión de temperatura media para el presente procedimiento.

25 Una combinación puede incluir una secuencia de conversión de alta temperatura, enfriamiento por intercambio indirecto de calor, y conversión de baja temperatura. Si se desea, cualquier etapa de conversión puede subdividirse con un enfriamiento de interlecho.

30 Como se muestra en las figuras, el procedimiento puede comprender además calentar el agua 105 de alimentación de hervidor por transferencia indirecta de calor con el reformado 60 del reactor 70 de conversión en un intercambiador 180 de calor opcional antes de calentar el agua 53 bruta por transferencia indirecta de calor con el reformado 60 del reactor 70 de conversión, en donde el agua 105 de alimentación de hervidor es calentada por el reformado del reactor 70 de conversión antes de ser calentada en el intercambiador 170 de calor.

35 En diversas realizaciones, el agua 105 de alimentación de hervidor no es calentada por el reformado 60 que sale del reactor 70 de conversión, y antes de que el reformado 60 se use para calentar el agua bruta 53. En procedimientos de reformación catalítica de hidrocarburos convencionales, la omisión del intercambiador 180 de calor dará como resultado una pérdida aumentada de calor de bajo nivel al medio ambiente (calor de desecho) y una eficacia energética deficiente para el sistema. En el presente caso, en las realizaciones de las FIGURAS 1 a 4, la omisión del intercambiador 180 de calor da como resultado que se transfiere más calor de bajo nivel del reformado 60 al agua 53 bruta mediante la bobina 21 de transferencia de calor, el evaporador 51, o el intercambiador 190 de calor. En las realizaciones de las FIGURAS 5 a 9, la omisión del intercambiador 180 de calor da como resultado que se transfiere más calor de bajo nivel del reformado 60 al agua 53 bruta mediante uno o más evaporadores del procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple (por ejemplo, los evaporadores 52, 83, 51 y 58) y no da como resultado pérdidas de calor de desecho aumentadas. Como resultado, en las realizaciones de las FIGURAS 1 a 4, la temperatura del reformado 60 que sale del sistema de recuperación de calor (por ejemplo el intercambiador 90 de calor) varía de aproximadamente 25° C a 65° C, que es similar a la temperatura que sale de un sistema de recuperación de calor profundo en un procedimiento de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor convencional que incluye el intercambiador 180 de calor. De manera similar, en las realizaciones de las FIGURAS 5 a 9, el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple puede hacerse funcionar de tal modo que la temperatura del reformado 60 devuelto desde el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple varíe de aproximadamente 25° C a 65° C. Estas realizaciones son ventajosas cuando el valor del agua es mucho mayor que el valor de la energía y/o cuando la demanda de vapor de exportación de alta presión es baja o cero.

55 Como se muestra en las FIGURAS 1 a 9, el agua 53 bruta se calienta por transferencia indirecta de calor con una primera corriente 196 de vapor o el reformado 60 (después de que el reformado 60 sufre la reacción de conversión opcional), calentando de este modo el agua 53 bruta para la purificación del agua bruta en un procedimiento 2 instantáneo multietapas mostrado en las FIGURAS 1 y 3, o un procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple mostrado en las FIGURAS 2 y 4 a 9, para producir agua 42 purificada. Según proporciona calor la primera corriente 196 de vapor o el reformado 60 al agua 53 bruta, la primera corriente 196 de vapor o el reformado 60 se enfría. La cantidad de calor transferida de la primera corriente 196 de vapor o el reformado 60 al agua 53 bruta puede variar entre 115 y 2.784 kJ por kg de agua 95 de reconstitución.

60 El agua 95 de reconstitución puede ser calentada además por transferencia indirecta de calor con el reformado 60 en el intercambiador 90 de calor antes de separar el reformado 60. En las realizaciones de las FIGURAS 1 a 4, la temperatura del reformado 60 que sale del intercambiador 90 de calor varía de aproximadamente 25° C a aproximadamente 65° C o de aproximadamente 35° C a aproximadamente 55° C.

“Agua de reconstitución” es agua introducida en el procedimiento de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor como corriente de materia prima. El agua de reconstitución puede ser de calidad agua de alimentación de hervidor o puede necesitar ser tratada adicionalmente para llegar a ser de calidad agua de alimentación de hervidor. La cantidad de agua de reconstitución añadida al sistema es la cantidad requerida para la reacción en el procedimiento de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor más la cantidad requerida para la producción de vapor de exportación. En caso de que el exceso de vapor en el reformado 60, que se condensa en el tambor 220 de eliminación como condensado 224 de proceso, no se recicle al procedimiento de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor, la cantidad de agua de reconstitución requerida es aumentada por la cantidad de condensado de proceso.

El agua 95 de reconstitución puede comprender agua 42 purificada. El agua 95 de reconstitución puede consistir en agua 42 purificada. Una porción o toda el agua 42 purificada producida puede utilizarse como agua de reconstitución para el procedimiento de reformación.

El agua purificada a partir de procedimientos de purificación térmica de agua puede ser de calidad agua de alimentación de hervidor. El uso directo del agua purificada ahorrará costes de tratamiento de agua en la planta de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor. El uso de agua 42 purificada como agua 105 de alimentación de hervidor puede pagarse por sí mismo si el coste total del agua 42 purificada es menor que la suma del coste del agua 53 bruta más el coste de capital y de operación del tratamiento de agua y la desaireación en la planta de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor.

En caso de que el agua 42 purificada no sea de calidad agua de alimentación de hervidor, el agua 42 purificada puede tratarse por métodos utilizados para el tratamiento de agua de reconstitución convencional.

La FIGURA 1 muestra el reformado 60 hecho pasar a la cámara 10 de calentamiento de un procedimiento 2 instantáneo multietapas representativo. El reformado 60 pasa sobre la bobina 21 metálica de transferencia de calor, dispuesta internamente de la cámara 10 de calentamiento a través de la que fluye el agua 53 bruta, y es calentado, y entra posteriormente en el primer tanque 12 instantáneo de la primera etapa.

El agua bruta entra en la bobina 14 de transferencia de calor del tanque 28 instantáneo. El agua bruta dentro de la bobina 14 es calentada por transferencia de calor mientras se condensa vapor de agua contra la bobina 14 de transferencia de calor. Opcionalmente, para que la destilación ocurra a temperaturas más bajas, se conecta una bomba de vacío o bien un eyector 130 de vapor a cualquiera o todos los tanques instantáneos 12, 24, 26 o 28, disminuyendo la presión interna de los tanques hasta por debajo de la presión atmosférica. La presión es reducida sucesivamente en cada etapa del tanque 12 instantáneo al tanque 28 instantáneo.

El condensado de agua purificada producido por este proceso de condensación se recoge en el colector 18 del tanque 28 instantáneo y sale del tanque como corriente de agua 42 purificada.

El agua 53 bruta entrante es calentada adicionalmente mientras pasa a través de las bobinas 14 de transferencia de calor de los tanques instantáneos 28, 26, 24 y después 12. El agua bruta calentada sale del tanque 12 instantáneo y entra en la bobina 21 de la cámara 10 de calentamiento. El reformado 60 entra en la cámara 10 de calentamiento y contacta con la bobina 21 de transferencia de calor para efectuar una transferencia de calor para calentar adicionalmente el agua 53 bruta que pasa internamente a través de la bobina 21 de transferencia de calor. El reformado 60 enfriado producido como resultado de esta transferencia de calor sale de la cámara 10 de calentamiento.

El vapor de agua que se condensa tras el contacto con la bobina 14 forma un condensado 17 de agua purificada que gotea de la bobina 14 al colector 18 de cada tanque instantáneo y es recogido como agua 42 purificada. La evaporación del agua bruta cautiliza que el agua 22 de rechazo de baja calidad en el fondo de los tanques instantáneos se haga cada vez más concentrada en impurezas. En el caso de desalinización de agua salada, el agua 22 de rechazo de baja calidad es salmuera, y la salmuera en el fondo de los tanques instantáneos se hace cada vez más concentrada con sal. El agua 22 de rechazo de baja calidad pasa a los tanques instantáneos 24, 26 y 28, respectivamente, donde el procedimiento de purificación térmica de agua se repite a presiones progresivamente más bajas. El agua de rechazo de baja calidad que está concentrada en impurezas sale del tanque 28 instantáneo en agua 77 de rechazo de baja calidad y es descargada típicamente.

Alternativamente (no mostrado en las figuras), una porción del rechazo de baja calidad se extrae y se une al agua 53 bruta como porción del agua de alimentación al procedimiento de purificación térmica de agua. Este reciclado del agua de rechazo de baja calidad aumenta la velocidad de conversión del agua bruta en el agua purificada, conocido también como recuperación del agua bruta. Cuanto más alta sea la cantidad de agua de rechazo de baja calidad reciclada, más alta es la impureza en el agua de alimentación al procedimiento de purificación térmica de agua. La cantidad de agua de rechazo de baja calidad reciclada depende del nivel de impureza permisible del agua de alimentación al procedimiento de purificación térmica de agua.

En las realizaciones mostradas en las FIGURAS 1 y 2 el reformado 60 enfriado puede ser enfriado más opcionalmente haciéndolo pasar a través de un intercambiador 80 de calor opcional para calentar la materia 85 prima hidrocarbonada por transferencia indirecta de calor con el reformado 60 enfriado. En las realizaciones de las FIGURAS 3 y 4, la materia 85 prima hidrocarbonada no es calentada por intercambio de calor con el reformado del reactor 70 de conversión o por intercambio de calor con el reformado enfriado después de que el reformado ha calentado el agua 53 bruta. En procedimientos de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor convencionales, la omisión del intercambiador 80 de calor opcional da como resultado una pérdida aumentada de calor de bajo nivel al medio ambiente (calor de desecho) y una eficacia energética deficiente. En el presente caso, la omisión del intercambiador 80 de calor opcional da como resultado que se transfiere más calor de bajo nivel del reformado 60 al agua 53 bruta, y no da como resultado un calor de desecho aumentado. Incluso con la omisión del intercambiador 80 de calor opcional, la temperatura del reformado 60 que sale del intercambiador 60 de calor varía de 25° C a 65° C, similar a la de un procedimiento de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor convencional con un sistema de recuperación de calor profundo que contiene normalmente el intercambiador 80 de calor opcional.

En la realización mostrada en la FIGURA 1, el reformado 60 enfriado producido por el procedimiento 2 instantáneo multietapas es enfriado adicionalmente haciéndolo pasar a través del intercambiador 90 de calor donde el agua 95 de reconstitución es calentada. El agua 95 de reconstitución es calentada en el intercambiador 90 de calor antes de ser calentada en cualquiera del intercambiador 180 de calor opcional o el intercambiador 170 de calor.

La FIGURA 2 ilustra una realización que utiliza un procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple representativo. La FIGURA 2 muestra el reformado 60 hecho pasar a la bobina 59 de transferencia de calor del evaporador 51. El reformado 60 es enfriado en la bobina 59 de transferencia de calor como resultado de una transferencia de calor con el agua 53 bruta llevada al contacto con el exterior de la bobina 59, típicamente pulverizando el agua bruta mediante la barra 55 de pulverización. El reformado enfriado es extraído de la bobina 59 y opcionalmente puede ser enfriado adicionalmente haciéndolo pasar a través del intercambiador 80 de calor para calentar la materia 85 prima hidrocarbonada.

En la realización mostrada en la FIGURA 2, el reformado producido por el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple es enfriado adicionalmente haciéndolo pasar a través del intercambiador 90 de calor donde el agua 95 de reconstitución es calentada. El agua 95 de reconstitución es calentada en el intercambiador 90 de calor para uso como agua 105 de alimentación de hervidor, que es calentada después en cualquiera del intercambiador 180 de calor opcional por el reformado del reactor de conversión o el intercambiador 170 de calor.

El agua 53 bruta que es pulverizada mediante la barra 55 de pulverización sobre el exterior de la bobina 59 del evaporador 51 sufre una evaporación para formar vapor de agua debido a una transferencia de calor entre la bobina 59 calentada por el reformado 60 que pasa internamente a través de la misma. El vapor de agua así producido pasa del evaporador 51 a la bobina 57 de transferencia de calor dispuesta internamente de otro evaporador 54. El agua 53 bruta es pulverizada sobre el exterior de la bobina 57 de transferencia de calor mediante la barra 102 de pulverización, y el vapor de agua dentro de la bobina 57 se condensa dentro de la bobina 57 de transferencia de calor, sale del evaporador 54 y es recogido como agua condensada en el agua 42 purificada. El vapor de agua producido por transferencia de calor en el evaporador 54 se hace pasar al evaporador 56, donde el proceso se repite, y así sucesivamente para tantos evaporadores como estén presentes en el sistema. El vapor de agua que sale del último evaporador en la serie (evaporador 56 en la FIGURA 2) es condensado en el condensador 134 por contacto con la bobina 136 de transferencia de calor, a través de la que se hace pasar agua 53 bruta fría. El condensado de agua purificada así producido es combinado con el producido en evaporadores previos y recogido como agua 42 purificada. El agua 22 de rechazo de baja calidad recogida en el fondo del evaporador 51 es combinada con agua 22 de rechazo de baja calidad de los otros evaporadores 54 y 56 en agua 77 de rechazo de baja calidad, donde el procedimiento de purificación térmica de agua continúa opcionalmente en condiciones de operación de presión progresivamente más baja, y es descargada más tarde.

El reformado 60 enfriado, después de enfriarse en el intercambiador 90 de calor, se hace pasar al tambor 220 de eliminación para retirar el agua formada por condensación de vapor, llamado típicamente condensado de proceso. El condensado 224 de proceso puede ser purificado y reutilizado, o alternativamente descargado. El condensado de proceso purificado puede ser combinado con el agua 95 de reconstitución y calentado en el intercambiador 90 de calor, el intercambiador 180 de calor opcional y/o el intercambiador 170 de calor.

El condensado 224 de proceso, junto con el agua 53 bruta, puede ser alimentado a la unidad de purificación térmica de agua para purificar el condensado de proceso para reutilización.

El reformado 60 enfriado es separado después de que el reformado 60 calienta el agua 53 bruta para producir el producto 200 que contiene H₂ y un gas 250 subproducto. El reformado 60 puede ser separado por cualquier medio conocido para separar reformado. Como se muestra en las figuras, el reformado 60 puede ser separado por adsorción por inversión de presión en el separador 210 de gases para producir el producto 200 que contiene H₂ y el gas 250 subproducto. El gas 250 subproducto de un adsorbente por inversión de presión se llama habitualmente gas de cola. Alternativamente, el reformado 60 puede ser separado criogénicamente en productos de gas de síntesis en una caja fría (no mostrado).

ES 2 698 925 T3

- 5 Como se muestra en las figuras, un combustible 35 puede ser quemado con un gas 120 oxidante en el horno 100 reformador externo a la pluralidad de tubos 20 reformadores que contienen catalizador en condiciones eficaces para quemar el combustible 35 para formar un gas 40 producto de combustión y generar calor para suministrar energía para hacer reaccionar la mezcla 15 de gas de alimentación del reformador dentro de la pluralidad de tubos 20 reformadores que contienen catalizador. El gas 40 producto de combustión puede ser extraído del horno 100 reformador. Las condiciones eficaces para quemar el combustible pueden comprender una temperatura que varía de 600° C a 1.500° C y una presión que varía de 99 kPa a 101,3 kPa (absoluta).
- 10 El combustible 35 puede comprender gas 250 subproducto del medio para separar el reformado 60, es decir, el separador 210 de gases. El combustible 35 puede comprender combustible 150 suplementario. El combustible suplementario se llama a menudo combustible de ajuste. El combustible suplementario puede ser gas natural u otro combustible adecuado.
- 15 El combustible 35 y el gas 120 oxidante se queman externamente a la pluralidad de tubos 20 reformadores que contienen catalizador en la sección 30 de combustión (llamada también sección radiante) del horno 100 reformador. El gas 40 producto de combustión se hace pasar de la sección 30 de combustión a la sección 50 de convección del horno 100 reformador. En la sección 50 de convección del horno 100 reformador, diversas corrientes son calentadas por el gas 40 producto de combustión. El gas 40 producto de combustión puede ser extraído de la sección de convección mediante el ventilador 140 de escape.
- 20 Como se muestra en las figuras, el gas 120 oxidante puede ser comprimido en el compresor 135 y puede ser calentado en un intercambiador de calor en la sección 50 de convección antes de ser introducido para la combustión. El agua de alimentación de hervidor puede ser extraída del tambor 160 de vapor, calentada en un intercambiador de calor en la sección 50 de convección del horno 100 reformador, y hecha pasar de vuelta al tambor 160 de vapor para hacer vapor. El gas de cola del adsorbente por inversión de presión puede ser calentado en un intercambiador de calor (no mostrado) en la sección 50 de convección antes de ser introducido para la combustión.
- 25 El vapor 165 de alta presión del tambor 160 de vapor puede ser supercalentado en un intercambiador de calor en la sección 50 de convección del horno 100 reformador. Al menos una porción del vapor supercalentado (llamado habitualmente vapor de proceso) se mezcla con una materia 85 prima hidrocarbonada para formar la mezcla 15 de gas de alimentación del reformador. Una porción del vapor supercalentado puede ser exportada como vapor 230 de exportación.
- 30 La mezcla 15 de gas de alimentación del reformador puede ser calentada adicionalmente en un intercambiador de calor en la sección 50 de convección del horno 100 reformador antes de ser hecha pasar a la pluralidad de tubos 20 reformadores que contienen catalizador.
- 35 El vapor supercalentado puede ser mezclado con una alimentación de hidrocarburos, ser calentado y hecho pasar a un pre-reformador para reformar una porción de la mezcla. El pre-reformador puede ser un pre-reformador adiabático. La mezcla del pre-reformador puede ser calentada en la sección 50 de convección del horno 100 reformador antes de hacerse pasar a la pluralidad de tubos reformadores que contienen catalizador como mezcla 15 de gas de alimentación del reformador.
- 40 Las FIGURAS 1 y 2, así como las FIGURAS 5 A 9, ilustran procedimientos en donde la etapa de calentar el agua 53 bruta no incluye el calentamiento de un fluido de trabajo intermedio. Las realizaciones donde no se utiliza fluido de trabajo intermedio proporcionan la ventaja de no requerir un hervidor de vapor de baja presión y/o vapor de presión media. Eliminar una etapa de intercambio de calor entre el reformado 60 y el agua 53 bruta aumenta también las diferencias de temperatura de intercambio de calor en los intercambiadores de calor restantes, proporcionando de este modo ventajas en coste de capital y una eficacia térmica mejorada.
- 45 La FIGURA 3 es una realización alternativa de la FIGURA 1 donde los números iguales designan componentes iguales. La FIGURA 3 es una realización en donde la etapa de calentar el agua bruta incluye el calentamiento de un fluido de trabajo intermedio. La realización mostrada en la FIGURA 3 opera de manera similar a la realización mostrada en la FIGURA 1. Las diferencias se describen más adelante.
- 50 La FIGURA 4 es una realización alternativa de la FIGURA 2 donde los números iguales designan componentes iguales. La FIGURA 4 es una realización en donde la etapa de calentar el agua bruta incluye el calentamiento de un fluido de trabajo intermedio. La realización mostrada en la FIGURA 4 opera de manera similar a la realización mostrada en la FIGURA 2. Las diferencias se describen más adelante.
- 55 En las realizaciones mostradas en las FIGURAS 3 y 4, la etapa de calentar el agua 53 bruta por transferencia indirecta de calor puede comprender calentar un fluido 185 de trabajo por transferencia indirecta de calor con el reformado 60 en el intercambiador 190 de calor, y calentar el agua 53 bruta por transferencia indirecta de calor con el fluido 185 de trabajo. El fluido de trabajo puede ser agua. El agua puede ser evaporada para formar una primera corriente 196 de vapor que tiene una presión que varía de 15,2 kPa a 304 kPa (absoluta) o que varía de 20,3 kPa a
- 60
- 65

132 kPa, cuando es calentada por el reformado 60 en el intercambiador 190 de calor. La primera corriente 196 de vapor es condensada para formar el condensado 23 cuando se calienta el agua 53 bruta y devuelta al intercambiador 190 de calor para ser reevaporada.

- 5 La relación del caudal de masa de la primera corriente 196 de vapor al caudal de masa del agua 95 de reconstitución puede ser mayor que 0,05 y menor que 1,2. Esta es una nueva condición de operación que un reformador de metano por vapor convencional no ha utilizado y no utilizaría.

10 En las realizaciones de las FIGURAS 3 y 4, puede generarse y expandirse opcionalmente vapor en una turbina de vapor para generar trabajo de eje. En una opción, el agua del fluido de trabajo se evapora para formar una segunda corriente 197 de vapor que tiene una presión que varía de 280 kPa a 608 kPa o que varía de 304 kPa a 405 kPa. El reformado 60 del reactor 70 de conversión calienta la segunda corriente 197 de vapor antes de calentar la primera corriente 196 de vapor. La segunda corriente 197 de vapor se expande para generar trabajo de eje en la turbina 205 de vapor antes de calentar el agua 53 bruta. El trabajo de eje puede utilizarse en cualquiera o ambos de los procedimientos de reformación y el procedimiento de purificación térmica de agua. El vapor expandido se condensa para formar el condensado 23 cuando se calienta el agua 53 bruta. En esta opción, la relación de la suma de caudales de masa de la primera corriente 196 y la segunda corriente 197 de vapor al caudal de masa del agua 95 de reconstitución puede ser mayor que 0,05 y menor que 1,2. Estas realizaciones son ventajosas cuando el valor del agua es mucho mayor que el valor de la energía y/o cuando la demanda de vapor de exportación de alta presión es baja o cero.

25 En las realizaciones de las FIGURAS 3 y 4, otra opción para generar trabajo de eje comprende expandir una porción del vapor 165 de alta presión para generar trabajo de eje en la turbina 215 de vapor. El trabajo de eje puede utilizarse en el procedimiento de reformación para bombeo y compresión y/o para generar energía eléctrica. El agua bruta puede ser calentada por transferencia indirecta de calor con el vapor expandido, calentando de este modo el agua 53 bruta para la purificación de la misma en el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple o el procedimiento 2 instantáneo multietapas. Generar trabajo de eje a partir del vapor de alta presión no se practica habitualmente en los procedimientos de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor convencionales, porque a menudo no hay un uso final para el vapor expandido. Captar el valor del vapor expandido requiere utilizar una turbina de condensación, a costa de un gran gasto de capital. En el procedimiento integrado, el valor del vapor expandido es captado como fuente de energía para la purificación térmica de agua sin incurrir en un gasto de capital adicional. La sinergia de la integración la hace una práctica atractiva para generar energía en el procedimiento de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor cuando el valor de la electricidad es alto.

35 Las FIGURAS 5 a 9 ilustran diagramas de flujo de proceso para cuatro realizaciones de un procedimiento de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor integrado con un procedimiento de purificación térmica de agua MED para producir un producto 200 que contiene H₂ y agua 42 purificada. En cada una de estas realizaciones, el reformado 60 se utiliza como fuente de calor en evaporadores múltiples, lo que puede proporcionar una mayor utilización del calor del reformado 60, disminuir o eliminar la liberación de calor de desecho del horno 100 reformador, y reducir o eliminar el coste asociado con el equipo y utilidades que de lo contrario puede necesitarse para disipar el calor de desecho del reformado 60 a la atmósfera. Muchos componentes del procedimiento de reformación catalítica de hidrocarburos por vapor mostrado en las FIGURAS 5 a 9 son los mismos que los de las realizaciones mostradas en las FIGURAS 1 a 4 y, por lo tanto, se identifican con los mismos números de referencia que los utilizados en las FIGURAS 1 a 4, y no se discutirán en detalle a continuación.

45 En la realización ilustrativa mostrada en la FIGURA 5, todo el reformado 60 se hace pasar a la bobina 59 de transferencia de calor del evaporador 52. El reformado 60 es enfriado en la bobina 59 de transferencia de calor como resultado de la transferencia de calor con una porción 69 de la corriente 53 de agua bruta llevada al contacto con el exterior de la bobina 59, típicamente pulverizando el agua bruta mediante la barra 55 de pulverización. El reformado enfriado es extraído de la bobina 59 y hecho pasar a una bobina 81 de transferencia de calor en otro evaporador 58.

55 El agua bruta que se pulveriza mediante la barra 55 de pulverización sobre el exterior de la bobina 59 del evaporador 52 sufre una evaporación para formar vapor de agua debido a una transferencia de calor entre la bobina 59 calentada por el reformado 60 que pasa internamente a través de la misma. La corriente 41 de vapor producida por la evaporación pasa del evaporador 52 a la bobina 57 de transferencia de calor, que está situada dentro del evaporador 58. Una porción 63 de la corriente 53 de agua bruta es pulverizada sobre el exterior de la bobina 57 de transferencia de calor y la bobina 81 de transferencia de calor mediante la barra 102 de pulverización, y la corriente de vapor dentro de la bobina 57 se condensa dentro de la bobina 57 de transferencia de calor, sale del evaporador 58 y es recogida como corriente 71 de agua condensada. La corriente 43 de vapor producida por transferencia de calor en el evaporador 58 por contacto con las bobinas 57 y 81 de transferencia de calor es extraída del evaporador 58 y condensada en el condensador 134 por contacto con la bobina 136 de transferencia de calor, a través de la cual se hace pasar agua 53 bruta fría.

65 El agua condensada purificada producida se combina con el condensado producido en los evaporadores y se recoge en el agua 42 purificada. El agua 22 de rechazo de baja calidad recogida en el fondo del evaporador 52 se combina

con agua 22 de rechazo de baja calidad del evaporador 58 en el agua 77 de rechazo de baja calidad, donde puede ser utilizada más tarde en otro procedimiento o puede ser descargada. Además, las válvulas 91 a 93 pueden abrirse y cerrarse de tal modo que el agua 22 de rechazo de baja calidad se proporciona a cada evaporador en serie. Más específicamente, con las válvulas 91 y 93 abiertas y la válvula 92 cerrada, el agua 53 bruta y el agua 22 de rechazo de baja calidad fluirán como se discutió anteriormente. Sin embargo, con las válvulas 91 y 93 cerradas y la válvula 92 abierta, el agua 22 de rechazo de baja calidad del evaporador 58 será proporcionada a la barra 55 de pulverización del evaporador 52 en lugar de, o además de, una porción del agua 53 bruta.

Como se muestra en la FIGURA 5, a diferencia de las realizaciones de las FIGURAS 1 a 4, el reformado 60 devuelto del procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple no se hace pasar a través de intercambiadores de calor (por ejemplo, el intercambiador 80 de calor opcional y el intercambiador 90 de calor) antes de hacerse pasar al tambor 220 de eliminación (conocido también como frasco de eliminación). El tambor 220 de eliminación separa el condensado 224 de proceso de la corriente 226 de reformado. Como se discutió anteriormente, el condensado 224 de proceso puede ser purificado y reutilizado, o alternativamente descargado del proceso. La corriente 226 de reformado se hace pasar a un separador 210 de gases (por ejemplo un adsorbente por inversión de presión) para producir una corriente 200 de gas producto que contiene hidrógeno y un gas 250 subproducto (por ejemplo, que comprende monóxido de carbono), el último de los cuales se recical horno 100 reformador como porción del combustible 35.

Volviendo ahora a la FIGURA 6, en esta realización ilustrativa, el reformado 60 se divide en corrientes independientes antes de ser introducido en cada uno de los evaporadores. Una porción 62 del reformado 60 se hace pasar al evaporador 58. Otra porción 68 del reformado 60 se hace pasar al evaporador 52. Como se discutió previamente con respecto a la FIGURA 5, la porción 68 del reformado 60 es enfriada en la bobina 59 de transferencia de calor como resultado de la transferencia de calor con una porción 69 de la corriente 53 de agua bruta llevada al contacto con el exterior de la bobina 59 pulverizando el agua bruta mediante la barra 55 de pulverización. Sin embargo, en esta realización, la porción 68 enfriada del reformado 60 extraída de la bobina 59 no se hace pasar al evaporador 25; por el contrario, la porción 68 enfriada del reformado 60 se recoge y se combina con la porción 62 enfriada del reformado 60 del evaporador 58, como se discute más adelante.

El agua bruta que se pulveriza mediante la barra 55 de pulverización sobre el exterior de la bobina 59 del evaporador 52 produce la corriente 41 de vapor, que se hace pasar del evaporador 52 a la bobina 57 de transferencia de calor dispuesta internamente del evaporador 58. Una porción 63 de la corriente 53 de agua bruta se pulveriza sobre el exterior de la bobina 57 de transferencia de calor y la bobina 81 de transferencia de calor mediante la barra 102 de pulverización, y la corriente de vapor dentro de la bobina 57 se condensa dentro de la bobina 57 de transferencia de calor, sale del evaporador 58 y es recogida como corriente 71 de agua condensada. La corriente 43 de vapor producida por transferencia de calor en el evaporador 58 por contacto con las bobinas 57 y 81 de transferencia de calor se condensa en el condensador 134 por contacto con la bobina 136 de transferencia de calor, mediante la cual se hace pasar la corriente 53 de agua bruta fría. El agua condensada purificada del condensador 134 se combina con la corriente 71 de agua condensada producida en el evaporador 58 y es recogida como agua 42 purificada. El agua 22 de rechazo de baja calidad recogida en el fondo del evaporador 52 se combina con el agua 22 de rechazo de baja calidad del evaporador 58 como agua 77 de rechazo de baja calidad, donde puede ser utilizada más tarde en otro proceso o puede ser descargada. Además, como la realización de la FIGURA 5, las válvulas 91 a 93 pueden abrirse y cerrarse de tal modo que el de agua 22 de rechazo de baja calidad sea proporcionada a cada evaporador en serie. Más específicamente, con las válvulas 91 y 93 abiertas y la válvula 92 cerrada, el agua 53 bruta y el agua 22 de rechazo de baja calidad fluirán como se discutió anteriormente. Sin embargo, con las válvulas 91 a 93 cerradas y la válvula 92 abierta, el agua 22 de rechazo de baja calidad del evaporador 58 será proporcionada a la barra 55 de pulverización del evaporador 52 en lugar de, o además de, una porción del agua 53 bruta.

La porción 62 enfriada del reformado 60 de la bobina 81 de transferencia de calor se combina con la porción 68 enfriada del reformado 60 de la bobina 59 de transferencia de calor. De nuevo, el reformado 60 producido por el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple no se hace pasar a través de intercambiadores de calor (por ejemplo, el intercambiador 80 de calor opcional y el intercambiador 90 de calor) antes de hacerse pasar al tambor 220 de eliminación. El tambor 220 de eliminación separa el condensado 224 de proceso de la corriente 226 de reformado. Como se discutió anteriormente, el condensado 224 de proceso puede ser purificado y reutilizado, o alternativamente descargado del proceso. La corriente 226 de reformado se hace pasar al separador 210 de gases (por ejemplo, un adsorbente por inversión de presión) para producir una corriente 200 de gas producto que contiene hidrógeno y un gas 250 producto (por ejemplo, que comprende monóxido de carbono), el último de los cuales se recical horno 100 reformador.

Volviendo ahora a la FIGURA 7, se muestra una realización en la que todo el reformado 60 se hace pasar a través de cada uno de los evaporadores 51, 83, 52 y 58, empezando con el evaporador 51. El reformado 60 se enfría en la bobina 59 de transferencia de calor del evaporador 51 como resultado de la transferencia de calor con una porción 64 de la corriente 53 de agua bruta llevada al contacto con el exterior de la bobina 59 pulverizando el agua bruta mediante la barra 55 de pulverización. El reformado 60 enfriado es extraído de la bobina 59 y hecho pasar a una bobina 82 de transferencia de calor en otro evaporador 83.

El agua bruta que se pulveriza mediante la barra 55 de pulverización sobre el exterior de la bobina 59 del evaporador 51 sufre una evaporación para formar vapor de agua debido a una transferencia de calor entre la bobina 59 calentada por el reformado que pasa internamente a través de la misma. La corriente 45 de vapor producida por la evaporación pasa del evaporador 51 a la bobina 84 de transferencia de calor, que está situada dentro del evaporador 83. Una porción 65 de la corriente 53 de agua bruta se pulveriza sobre el exterior de la bobina 84 de transferencia de calor y la bobina 82 de transferencia de calor mediante la barra 103 de pulverización, y la corriente de vapor dentro de la bobina 84 de transferencia de calor se condensa dentro de la bobina 84 de transferencia de calor, sale del evaporador 83 y es recogida en el agua 42 purificada. La corriente 46 de vapor producida por transferencia de calor en el evaporador 83 se hace pasar al evaporador 52, donde el procedimiento se repite, y así sucesivamente para tantos evaporadores como estén presentes en el sistema. La corriente de vapor que sale del último evaporador en la serie (en la FIGURA 7, corriente 43 de vapor del evaporador 58) se condensa en el condensador 134 por contacto con la bobina 136 de transferencia de calor a través de la cual se hace pasar la corriente 53 de agua bruta fría, como se discutió anteriormente. El agua condensada purificada del condensador 134 se combina con el condensado producido en los evaporadores y es recogida en el agua 42 purificada.

El reformado 60 en la bobina 82 de transferencia de calor es enfriado adicionalmente tras la transferencia de calor con la porción 65 de la corriente 53 de agua bruta para producir la corriente 46 de vapor. El reformado 60 se hace pasar después al evaporador 52, donde el proceso se repite, y así sucesivamente para tantos evaporadores como estén presentes en el sistema. El reformado 60 que sale del último evaporador en la serie (en la FIGURA 7, corriente 43 de vapor del evaporador 58) se devuelve al tambor 220 de eliminación. El agua 22 de rechazo de baja calidad recogida en el fondo del evaporador 51 se combina con el agua 22 de rechazo de baja calidad de los evaporadores 83, 52 y 58, donde puede ser utilizada más tarde en otro procedimiento o puede ser descargada.

De nuevo, el reformado 60 devuelto del procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple no se hace pasar a través de intercambiadores de calor (por ejemplo, el intercambiador 80 de calor opcional y el intercambiador 90 de calor) antes de ser hecho pasar al tambor 220 de eliminación. El tambor 220 de eliminación separa el condensado 224 de proceso de la corriente 226 de reformado. El condensado 224 de proceso puede ser purificado y reutilizado, o alternativamente descargado del proceso. La corriente 226 de reformado se hace pasar a un separador 210 de gases (por ejemplo, un adsorbente por inversión de presión) para producir una corriente 200 de gas producto que contiene hidrógeno y un gas 250 subproducto (por ejemplo que comprende monóxido de carbono), el último de los cuales se recical horno 100 reformador.

Volviendo ahora a la FIGURA 8, en esta realización ilustrativa, el reformado 60 se divide en corrientes independientes antes de ser introducido en cada uno de los evaporadores. Específicamente, en esta realización, una porción 62 del reformado 60 se hace pasar al evaporador 58; otra porción 68 del reformado 60 se hace pasar al evaporador 52; otra porción 86 del reformado 60 se hace pasar al evaporador 83; y otra porción 87 del reformado 60 se hace pasar al evaporador 51. Alternativamente, las bobinas de transferencia de calor que reciben porciones del reformado 60 podrían ser omitidas de uno o más evaporadores. Por ejemplo, las bobinas de transferencia de calor de los evaporadores 52 y 83, que reciben las porciones 68 y 86 del reformado 60 podrían ser omitidas, lo que se representa en la FIGURA 8 mostrando estos rasgos en líneas discontinuas.

La porción 87 del reformado 60 es enfriada en la bobina 59 de transferencia de calor del evaporador 51 como resultado de la transferencia de calor con una porción 64 de la corriente 53 de agua bruta llevada al contacto con el exterior de la bobina 59 pulverizando el agua bruta mediante la barra 55 de pulverización. La porción 87 enfriada del reformado 60 es extraída de la bobina 59 pero no se hace pasar al evaporador 83; por el contrario, la porción 87 enfriada del reformado 60 se combina con las porciones 62, 68 y 86 enfriadas del reformado 60 de los evaporadores 58, 52 y 83, respectivamente, como se discute a continuación.

El agua bruta que se pulveriza mediante la barra 55 de pulverización sobre el exterior de la bobina 59 del evaporador 51 sufre una evaporación para formar vapor de agua debido a una transferencia de calor entre la bobina 59 calentada por el reformado que pasa internamente a través de la misma. La corriente 45 de vapor producida por evaporación pasa del evaporador 51 a la bobina 84 de transferencia de calor, que está situada dentro del evaporador 83. Una porción 65 de la corriente 53 de agua bruta se pulveriza sobre el exterior de la bobina 84 de transferencia de calor y la bobina 82 de transferencia de calor mediante la barra 103 de pulverización, y la corriente de vapor dentro de la bobina 84 de transferencia de calor se condensa dentro de la bobina 84 de transferencia de calor, sale del evaporador 83 y es recogida en el agua 42 purificada. La corriente 46 de vapor producida por transferencia de calor en el evaporador 83 se hace pasar al evaporador 52, donde el procedimiento se repite, y así sucesivamente para tantos evaporadores como estén presentes en el sistema. La corriente de vapor que sale del último evaporador en la serie (en la FIGURA 8, corriente 43 de vapor del evaporador 58) se condensa en el condensador 134 por contacto con la bobina 136 de transferencia de calor a través de la cual se hace pasar la corriente 53 de agua bruta fría, como se discutió anteriormente. El agua condensada purificada del condensador 134 se combina con el condensado producido en los evaporadores y es recogida en el agua 42 purificada. El agua 22 de rechazo de baja calidad recogida en el fondo del evaporador 51 se combina con el agua 22 de rechazo de baja calidad de los evaporadores 83, 52 y 58 en el agua 77 de rechazo de baja calidad, donde puede ser utilizada más tarde en otro procedimiento o puede ser descargada.

La porción 86 del reformado 60 en la bobina 82 de transferencia de calor del evaporador 83 es enfriada adicionalmente tras una transferencia de calor con una porción 65 de la corriente 53 de agua bruta para producir la corriente 46 de vapor, la porción 68 del reformado 60 en la bobina de transferencia de calor en el siguiente evaporador (evaporador 52) es enfriada adicionalmente tras una transferencia de calor con una porción 69 de la corriente 53 de agua bruta para producir la corriente 41 de vapor, y así sucesivamente para tantos evaporadores como estén presentes en el sistema. La porción del reformado 60 que sale del último evaporador en la serie (en la FIGURA 8, porción 62 que sale del evaporador 58) se combina con el reformado 60 enfriado de las otras bobinas de transferencia de calor en el sistema. De nuevo, el reformado 60 se devuelve después desde el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple pero no se hace pasar a través de intercambiadores de calor (por ejemplo, el intercambiador 80 de calor opcional y el intercambiador 90 de calor) antes de hacerse pasar al tambor 220 de eliminación. El tambor 220 de eliminación separa el condensado 224 de proceso de la corriente 226 de reformado. El condensado 224 de proceso puede ser purificado y reutilizado, o alternativamente descargado del proceso. La corriente 226 de reformado se hace pasar a un separador 210 de gases (por ejemplo un adsorbente por inversión de presión) para producir una corriente 200 de gas producto que contiene hidrógeno y un gas 250 subproducto (por ejemplo, que comprende monóxido de carbono), el último de los cuales se recical horno 100 reformador.

Volviendo ahora a la FIGURA 9, se muestra una realización ilustrativa que es un híbrido de las realizaciones de las FIGURAS 7 y 8. En esta realización, el reformado 60 se divide en corrientes independientes antes de ser introducido en cada uno de dos pares de evaporadores. Una porción 62 del reformado 60 se hace pasar al evaporador 52, y otra porción 87 del reformado 60 se hace pasar al evaporador 51.

La porción 87 del reformado 60 se enfría en la bobina 59 de transferencia de calor del evaporador 51 como resultado de una transferencia de calor con una porción 64 del agua 53 bruta llevada al contacto con el exterior de la bobina 59 pulverizando el agua bruta mediante la barra 55 de pulverización. La porción 87 enfriada del reformado 60 se extrae de la bobina 59 y se hace pasar a una bobina 82 de transferencia de calor en otro evaporador 83 (es decir, el evaporador 51 y el evaporador 83 son un par).

El agua bruta que se pulveriza mediante la barra 55 de pulverización sobre el exterior de la bobina 59 del evaporador 51 sufre una evaporación para formar vapor de agua debido a una transferencia de calor entre la bobina 59 calentada por el reformado que pasa internamente a través de la misma. La corriente 45 de vapor producida por evaporación pasa del evaporador 51 a la bobina 84 de transferencia de calor, que está situada dentro del evaporador 83. Una porción 65 de la corriente 53 de agua bruta se pulveriza sobre el exterior de la bobina 84 de transferencia de calor y la bobina 82 de transferencia de calor mediante la barra 103 de pulverización, y la corriente de vapor dentro de la bobina 84 de transferencia de calor se condensa dentro de la bobina 84 de transferencia de calor, sale del evaporador 83 y es recogida en el agua 42 purificada. La corriente 46 de vapor producida por transferencia de calor en el evaporador 83 se hace pasar al evaporador 52, donde el procedimiento se repite, y así sucesivamente para tantos evaporadores como estén presentes en el sistema. La corriente de vapor que sale del último evaporador en la serie (en la FIGURA 7, corriente 43 de vapor del evaporador 58) se condensa en el condensador 134 por contacto con la bobina 136 de transferencia de calor a través de la cual se hace pasar la corriente 53 de agua bruta fría, como se discutió anteriormente. El agua condensada purificada del condensador 134 se combina con el condensado producido en los evaporadores y es recogida en el agua 42 purificada.

La porción 87 enfriada del reformado 60 en la bobina 82 de transferencia de calor es enfriada adicionalmente tras una transferencia de calor con la porción 65 del agua 53 bruta para producir la corriente de vapor 46, sin embargo la porción 87 enfriada del reformado 60 no se hace pasar después a otro evaporador; por el contrario, la porción 87 enfriada del reformado 60 se recoge y se combina con la porción 62 enfriada del reformado 60 del evaporador 58 del otro par de evaporadores, donde el proceso se repite para tantos pares de evaporadores (o grupos más grandes de evaporadores) como estén presentes en el sistema. La porción enfriada del reformado 60 que sale del último evaporador de la serie (en la FIGURA 9, porción 62 enfriada que sale del evaporador 58 del par de evaporadores 52 y 58) se combina con la porción 87 enfriada y porciones enfriadas de cualesquiera otros pares de evaporadores en el sistema.

De nuevo, el reformado 60 se devuelve después desde el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple pero no se hace pasar a través de intercambiadores de calor (por ejemplo, el intercambiador 80 de calor opcional y el intercambiador 90 de calor) antes de hacerse pasar al tambor 220 de eliminación. El tambor 220 de eliminación separa el condensado 224 de proceso de la corriente 226 de reformado. El condensado 224 de proceso puede ser purificado y reutilizado, o alternativamente descargado del proceso. La corriente 226 de reformado se hace pasar a un separador 210 de gases (por ejemplo un adsorbente por inversión de presión) para producir una corriente 200 de gas producto que contiene hidrógeno y un gas 250 subproducto (por ejemplo, que comprende monóxido de carbono), el último de los cuales se recical horno 100 reformador.

Otras realizaciones del procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple incluyen diferentes híbridos de las realizaciones discutidas en las FIGURAS 1 a 9. Por ejemplo, otra realización implica un híbrido entre las realizaciones de las FIGURAS 2 y 7, donde la pluralidad de evaporadores (por ejemplo, seis evaporadores) en el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple se alternan entre los que incluyen una única bobina para

transferencia de calor con vapor de un evaporador precedente (por ejemplo, el evaporador 54 en la FIGURA 2), y los que incluyen tanto una bobina para transferencia de calor con vapor de un evaporador precedente como una bobina para transferencia de calor con el reformado (por ejemplo, el evaporador 83 en la FIGURA 7).

5 Por consiguiente, en las realizaciones de las FIGURAS 5 a 9, se utilizan uno o más evaporadores adicionales para enfriar el reformado 60. Indicado de manera diferente, uno o más evaporadores adicionales tienen dos bobinas de intercambio de calor: una bobina para el reformado 60, y otra para una corriente de vapor generada en un evaporador precedente. Preferiblemente, todos los evaporadores en el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple incluyen una bobina de transferencia de calor para la transferencia de calor con vapor de un evaporador precedente excepto por un evaporador que no es precedido por otro evaporador en una serie de evaporadores (por ejemplo, el evaporador 52 en las FIGURAS 5 y 6, y el evaporador 51 en las FIGURAS 7 a 9), y al menos un evaporador en la serie de evaporadores incluye tanto una bobina para transferencia de calor con vapor de un evaporador precedente como una bobina para transferencia de calor con el reformado (por ejemplo, el evaporador 58). Más preferiblemente, todos los evaporadores en el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple, excepto por un evaporador que no es precedido por otro evaporador en una serie de evaporadores, incluyen tanto una bobina para transferencia de calor con vapor de un evaporador precedente como una bobina para transferencia de calor con el reformado. Utilizando tanto el calor del reformado 60 como el calor de la corriente de vapor de cada evaporador precedente, el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple de estas realizaciones proporciona una mayor utilización del calor del reformado 60, disminuye o elimina la liberación de calor de desecho del horno 100 reformador, y disminuye o elimina costes asociados con el equipo y utilidades que de lo contrario pueden necesitarse para disipar el calor de desecho del reformado 60 a la atmósfera o enfriar adicionalmente el reformado 60 antes de ser hecho pasar a un tambor 220 de eliminación o el separador 210 de gases.

Además, las realizaciones de las FIGURAS 5 a 9 proporcionan la flexibilidad para equilibrar la carga de calor y otras condiciones de operación a través de los evaporadores del procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple durante el diseño y la operación. Por ejemplo, el procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple puede ser configurado con una combinación de controladores de temperatura (no mostrado) dentro de cada evaporador y válvulas (no mostrado) en cada conducto que lleva el reformado 60. Una lógica de control puede monitorizar temperaturas de operación de cada evaporador con los controladores de temperatura y ajustar esas temperaturas controlando las válvulas para modificar la cantidad de reformado 60 que se hace pasar a cada evaporador para una transferencia de calor. Haciendo eso, la lógica de control puede mitigar gradientes de temperatura indeseados a través de los evaporadores del procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple y controlar también con mayor precisión la temperatura de la corriente del reformado 60 que es devuelta finalmente para el procesamiento en un separador de gases u otra pieza del equipo que tenga requisitos de temperatura específicos. A este respecto, las realizaciones de las FIGURAS 6, 8 y 9 proporcionan más control en equilibrar la carga de calor a través del procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple proporcionando la flexibilidad para regular individualmente cuánto del reformado 60 se proporciona a cada evaporador. Una desventaja de tales realizaciones, sin embargo, es que la temperatura de las porciones combinadas del reformado 60 devuelto del procedimiento 16 de destilación de efecto múltiple será mayor que la de realizaciones en las que todo el reformado 60 se hace pasar a través de cada evaporador en serie (por ejemplo, FIGURAS 5 y 7).

EJEMPLO:

El siguiente es un ejemplo que muestra la utilización de calor de la realización de la FIGURA 2 en comparación con la realización de la FIGURA 7. Ciertos parámetros de simulación y datos simulados se han excluido de la siguiente discusión por claridad.

El ejemplo comparativo 1 se basa en la realización mostrada en la FIGURA 2. El reformado se extrae de la unidad SMR corriente arriba de un intercambiador de calor (por ejemplo, el intercambiador 90 de calor) para precalentar agua de reconstitución SMR con el reformado, y opcionalmente, otro intercambiador de calor (por ejemplo, el intercambiador 80 de calor opcional) para precalentar alimentación de hidrocarburos con el reformado. El reformado se alimenta a un primer evaporador de una serie de evaporadores de la unidad MED a 159 C y vuelve a la unidad SMR a 144 C después de proporcionar el calor para la evaporación de agua en el primer evaporador de la unidad MED. La cantidad del calor del reformado utilizada en la unidad MED para producir agua purificada es 47,9 GJ/h. El reformado devuelto se utiliza en la unidad SMR para calentar el agua de reconstitución. Después el reformado se enfría en un enfriador de aire hasta 37,8 C y se alimenta a una unidad PSA de hidrógeno para separar hidrógeno del reformado y producir el hidrógeno producto. El calor disipado del reformado a la atmósfera por medio del enfriador de aire es 19,5 GJ/h.

Tabla 1

	Temperatura del reformado de alimentación (° C)	Temperatura del reformado devuelto (° C)	Carga de calor del reformado (GJ/h)	Carga de enfriamiento del reformado en la unidad SMR (GJ/h)
Ejemplo comparativo 1	159	144	47,9	19,5
Ejemplo 2	106	38	67,5	0

5 El ejemplo 2 se basa en la realización mostrada en la FIGURA 7. El reformado se extrae de la unidad SMR después de que su calor ha sido recuperado totalmente por las fuentes de calor en la unidad SMR (por ejemplo, corriente abajo del intercambiador 90 de calor). El reformado se alimenta a un primer evaporador de una serie de evaporadores de la unidad MED a una temperatura más baja, 106 C. Después de proporcionar calor para la evaporación de agua en el primer evaporador, el reformado se alimenta a tres evaporadores más para evaporar agua y ser enfriado hasta una temperatura deseada. El reformado vuelve a la unidad SMR a 37,8 C y se alimenta a una unidad PSA de hidrógeno para separar hidrógeno del reformado y producir el hidrógeno producto. El calor del reformado utilizado en la unidad MED es 67,5 GJ/h, que es 19,6 GJ/h mayor que en el ejemplo comparativo 1. Además de utilizar mejor el calor del reformado, esta integración no libera tampoco ningún calor de desecho a la atmósfera y no necesita ningún equipo de enfriamiento en la unidad SMR.

10

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir un gas (200) producto que contiene H₂ y para producir agua (42) purificada a partir de una corriente (53) de agua bruta que contiene contaminantes, procedimiento que comprende:

- (i) extraer un reformado (60) que comprende H₂, CO, CH₄ y H₂O de un horno (100) reformador;
- (ii) hacer pasar al menos una porción (62) del reformado (60) de la etapa (i) a un primer evaporador (58) de una pluralidad de evaporadores de un sistema (16) de purificación térmica de agua;
- (iii) hacer pasar al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta al primer evaporador (58);
- (iv) introducir una primera corriente (41) de vapor en el primer evaporador (58), en donde la primera corriente (41) de vapor se forma en un segundo evaporador (52) de la pluralidad de evaporadores del sistema (16) de purificación térmica de agua calentando al menos una porción (63) o una segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor con al menos una porción (62) o una segunda porción (68) del reformado (60);
- (v) calentar al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta hecha pasar al primer evaporador (58) en la etapa (iii) en el primer evaporador (58) por transferencia indirecta de calor con al menos una porción (62) del reformado (60) de la etapa (ii) e independientemente por transferencia indirecta de calor con la primera corriente (41) de vapor de la etapa (iv) para formar una segunda corriente (43) de vapor evaporando una porción de al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta, enfriando de este modo al menos una porción (62) del reformado (60), formando una primera corriente (71) de condensado a partir de la primera corriente (41) de vapor, y concentrando los contaminantes en al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta;
- (vi) extraer la segunda corriente (43) de vapor del primer evaporador (58);
- (vii) extraer al menos una porción (62) del reformado (60) del primer evaporador (58);
- (viii) extraer la primera corriente (71) de condensado del primer evaporador (58), en donde el agua (42) purificada comprende la primera corriente (71) de condensado;
- (ix) extraer al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta del primer evaporador (58), teniendo al menos una porción (63) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta que cuando se introdujo en el primer evaporador (58); y
- (x) hacer pasar al menos una porción (62) del reformado (60) extraída en la etapa (vii) a un separador (210) de gases y separar al menos una porción (62) del reformado (60) en el separador (210) de gases para producir al menos una porción de la corriente (200) de gas producto que contiene H₂ y al menos una porción de una corriente (250) de gas subproducto.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde al menos una porción (62) del reformado (60) se enfría a una temperatura que varía de 25° C a 65° C en el primer evaporador (58).

3. El procedimiento de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende además hacer pasar al menos una porción del agua (42) purificada como agua (95) de reconstitución a un sistema de reformación de hidrocarburos por vapor que comprende el horno (100) reformador.

4. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde al menos una porción (62) del reformado (60) transfiere calor a la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor en el segundo evaporador (52):

- haciendo pasar al menos una porción (62) del reformado (60) al segundo evaporador (52);
- haciendo pasar la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta al segundo evaporador (52); y
- calentando la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta en el segundo evaporador (52) por transferencia indirecta de calor con al menos una porción (62) del reformado (60), formando de este modo la primera corriente (41) de vapor evaporando una porción de la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta, enfriando de este modo al menos una porción (62) del reformado (60), y concentrando los contaminantes en la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta.

5. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la segunda porción (68) del reformado (60) transfiere calor a la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor en el segundo evaporador (52):

- haciendo pasar la segunda porción (68) del reformado (60) al segundo evaporador (52);
- haciendo pasar la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta al segundo evaporador (52); y
- calentando la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta en el segundo evaporador (52) por transferencia indirecta de calor con la segunda porción (68) del reformado (60), formando de este modo la primera corriente (41) de vapor evaporando una porción de la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta, enfriando de este modo la segunda porción (68) del reformado (60), y concentrando los contaminantes en la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta.

6. El procedimiento de la reivindicación 5, que comprende además:

extraer la primera corriente (41) de vapor del segundo evaporador (52);
 extraer la segunda porción (68) del reformado (60) del segundo evaporador (52);
 extraer la segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta del segundo evaporador (52), teniendo la
 5 segunda porción (69) de la corriente (53) de agua bruta una concentración de los contaminantes más alta que
 cuando se introdujo en el segundo evaporador (52); y
 hacer pasar la segunda porción (68) del reformado (60) extraído del segundo evaporador (52) al separador
 (210) de gases y separar la segunda porción (68) del reformado (60) en el separador (210) de gases para
 10 producir al menos una porción de la corriente (200) de gas producto que contiene H₂ y al menos una porción
 de una corriente (250) de gas subproducto.

7. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde al menos una porción (62) o una
 15 tercera porción (86) del reformado (60) transfiere calor a una tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta
 por transferencia indirecta de calor en un tercer evaporador (83) de la pluralidad de evaporadores.

8. El procedimiento de la reivindicación 7, en donde al menos una porción (62) del reformado (60) transfiere calor a
 la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor en el tercer evaporador
 (83):

20 haciendo pasar al menos una porción (62) del reformado (60) al tercer evaporador (83);
 haciendo pasar la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta al tercer evaporador (83); y
 calentando tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta en el tercer evaporador (83) por
 transferencia indirecta de calor con al menos una porción (62) del reformado (60), formando de este modo
 25 una tercera corriente (46) de vapor evaporando una porción de la tercera porción (65) de la corriente (53) de
 agua bruta, enfriando de este modo al menos una porción (62) del reformado (60), y concentrando los
 contaminantes en la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta.

9. El procedimiento de la reivindicación 7, en donde la tercera porción (86) del reformado (60) transfiere calor a la
 30 tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta por transferencia indirecta de calor en el tercer evaporador
 (83):

35 haciendo pasar la tercera porción (86) del reformado (60) al tercer evaporador (83);
 haciendo pasar la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta al tercer evaporador (83); y
 calentando la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta en el tercer evaporador (83) por
 transferencia indirecta de calor con la tercera porción (86) del reformado (60), formando de este modo una
 40 tercera corriente (46) de vapor evaporando una porción de la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua
 bruta, enfriando de este modo la tercera porción (86) del reformado (60), y concentrando los contaminantes
 en la tercera porción (65) de la corriente (53) de agua bruta.

10. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde el separador (210) de gases es un
 adsorbente por inversión de presión y al menos una porción (62) del reformado (60) es separada por adsorción por
 inversión de presión para producir al menos una porción de la corriente (200) de gas producto que contiene H₂ y al
 menos una porción de una corriente (250) de gas subproducto.

11. Un sistema para producir un gas (200) producto que contiene H₂ y para producir agua (42) purificada a partir de
 una corriente (53) de agua bruta que contiene contaminantes, sistema que comprende:

45 un sistema (16) de purificación térmica de agua que comprende una pluralidad de evaporadores (52, 58), en
 donde al menos un primer evaporador (58) de la pluralidad de evaporadores comprende una primera bobina
 50 (81) de transferencia de calor conectada operativamente a una fuente (100) de un reformado que comprende
 H₂, CO, CH₄ y H₂O para recibir reformado de la fuente del reformado y una segunda bobina (57) de
 transferencia de calor conectada operativamente a una fuente de vapor para recibir vapor de la fuente de
 vapor; y

55 un separador (210) de gases conectado operativamente a la primera bobina (81) de transferencia de calor
 para recibir reformado de la primera bobina de transferencia de calor;
 en donde la fuente de vapor es un segundo evaporador (52) de la pluralidad de evaporadores y la fuente del
 reformado es un sistema de reformación de hidrocarburos por vapor que comprende un horno (100)
 reformador; y
 60 en donde el segundo evaporador (52) de la pluralidad de evaporadores comprende una tercera bobina (59) de
 transferencia de calor conectada operativamente a la fuente del reformado (100) para recibir reformado de la
 fuente del reformado.

12. El sistema de la reivindicación 11, en donde el separador (210) de gases es un adsorbente por inversión de
 presión.

13. El sistema de la reivindicación 11 o 12, en donde la primera bobina (81) de transferencia de calor está conectada operativamente a la tercera bobina (59) de transferencia de calor contenida en el segundo evaporador (52) para recibir el reformado de la tercera bobina (59) de transferencia de calor.

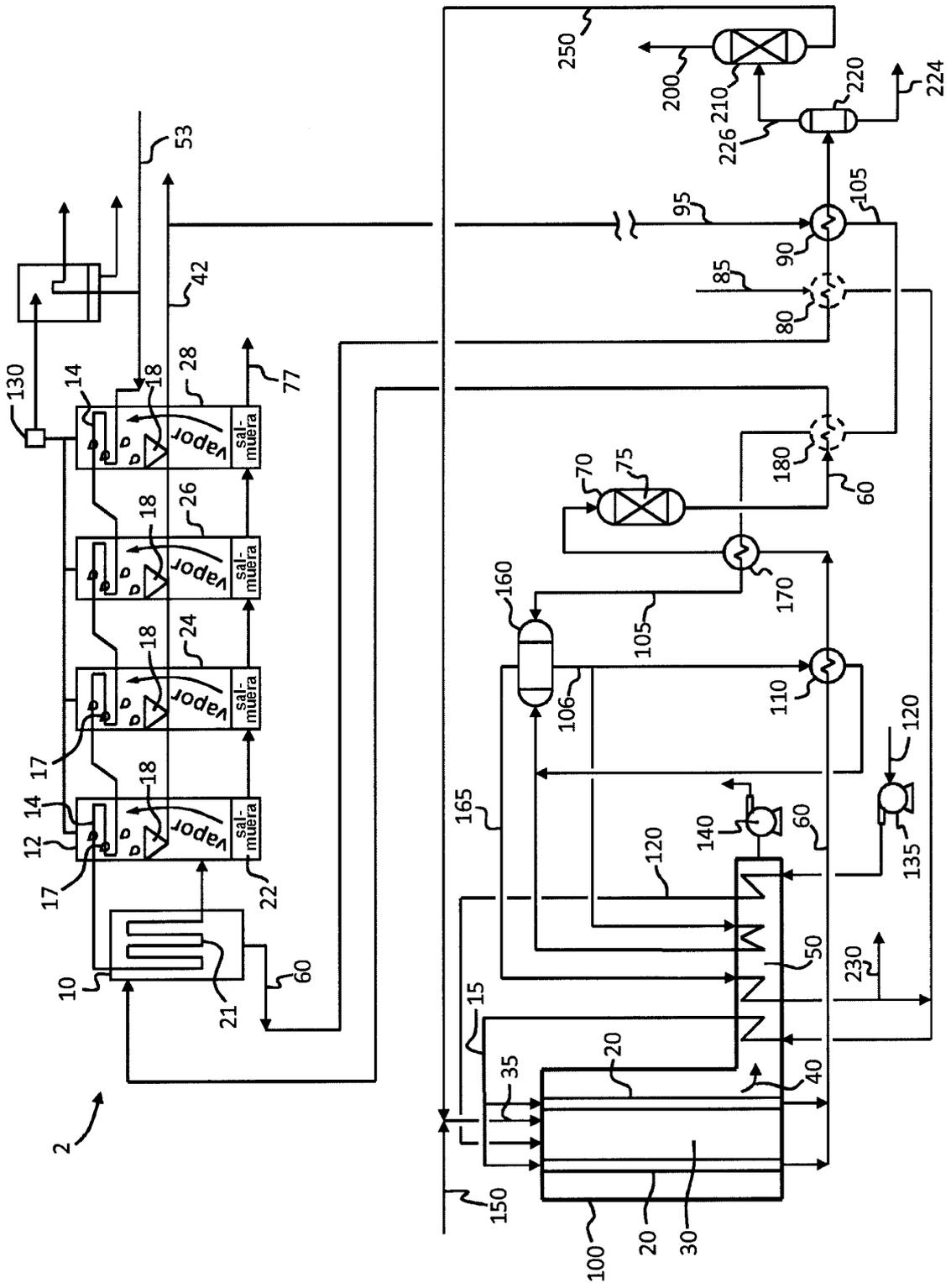


FIG. 1

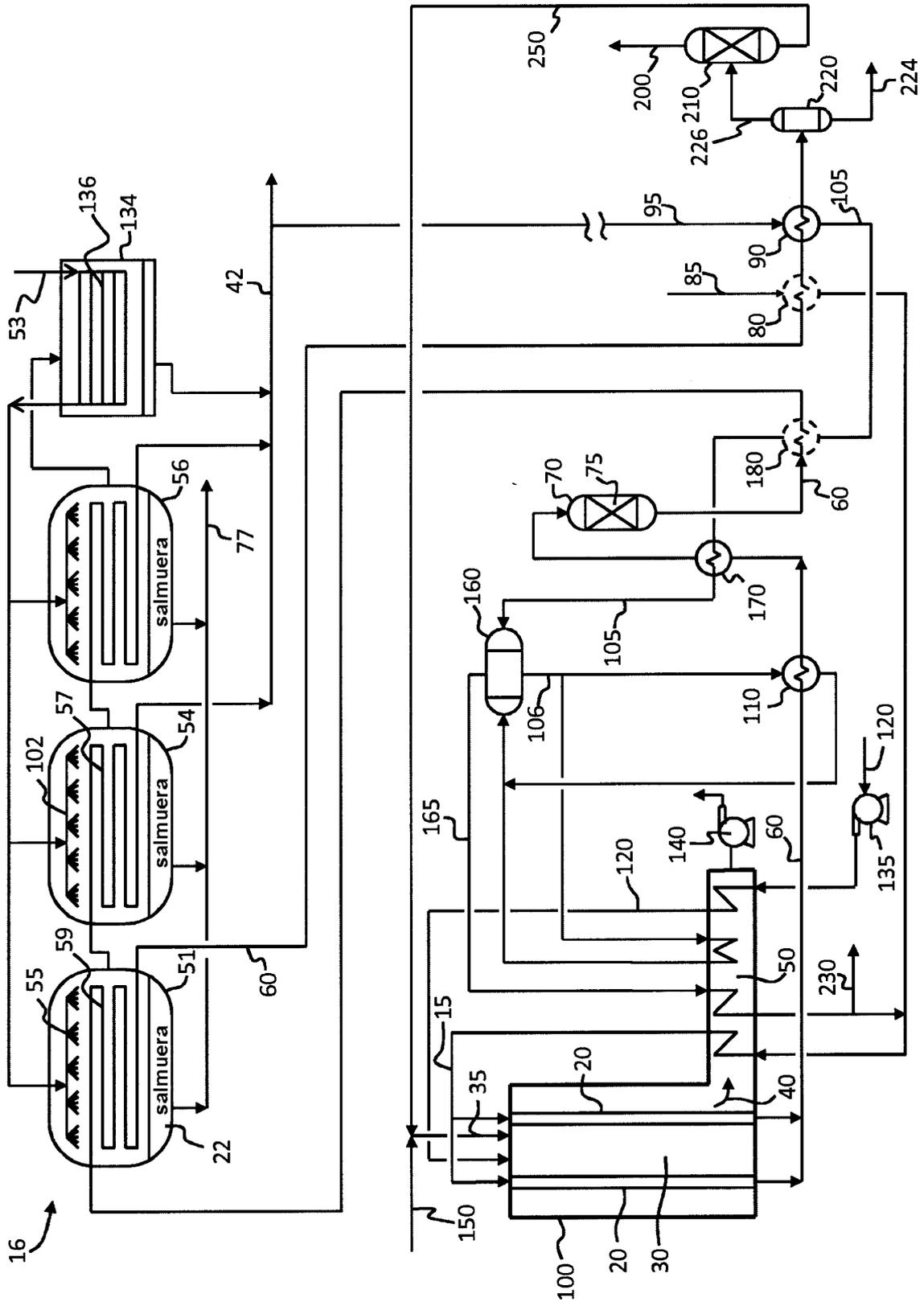


FIG. 2

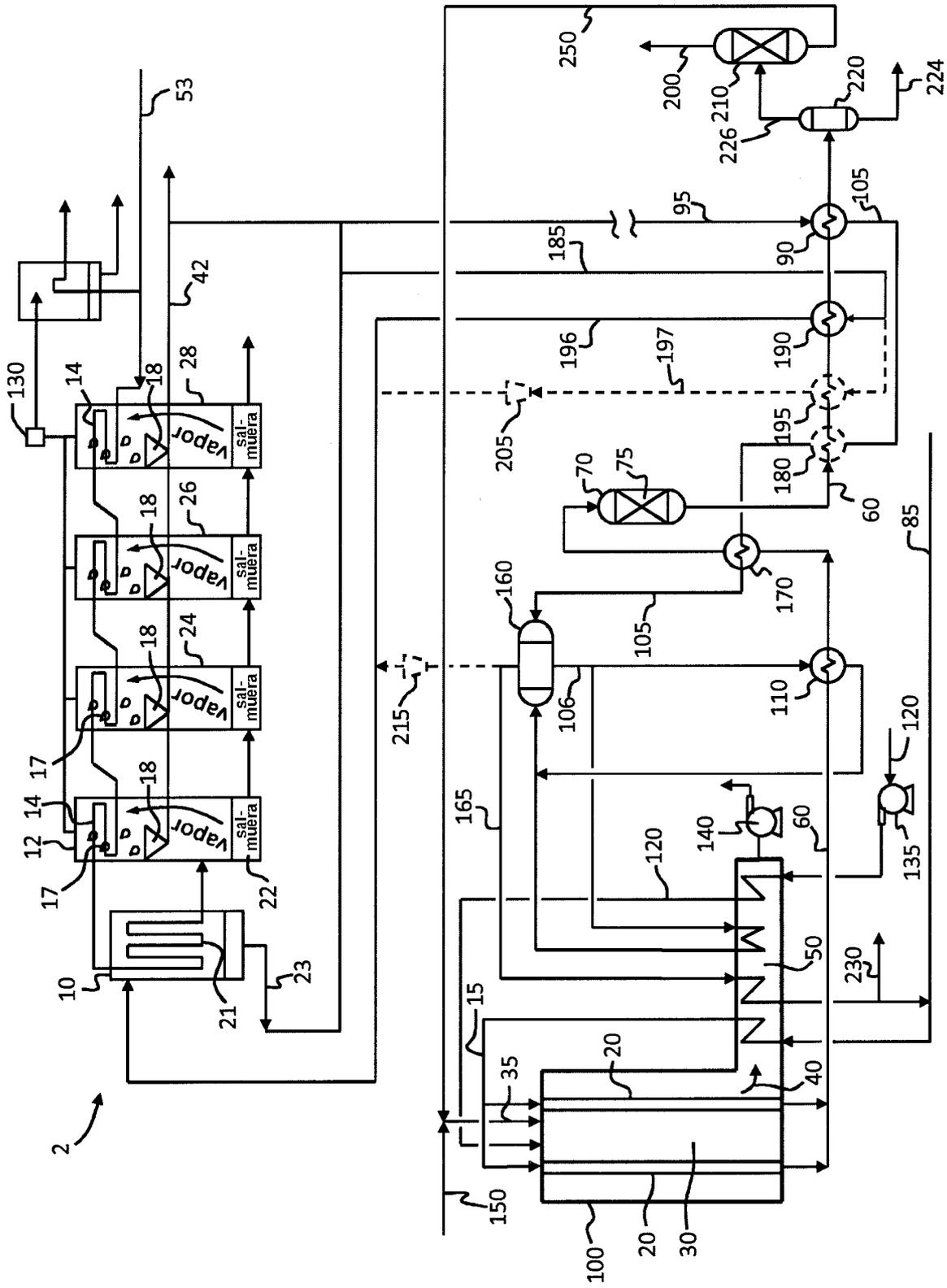


FIG. 3

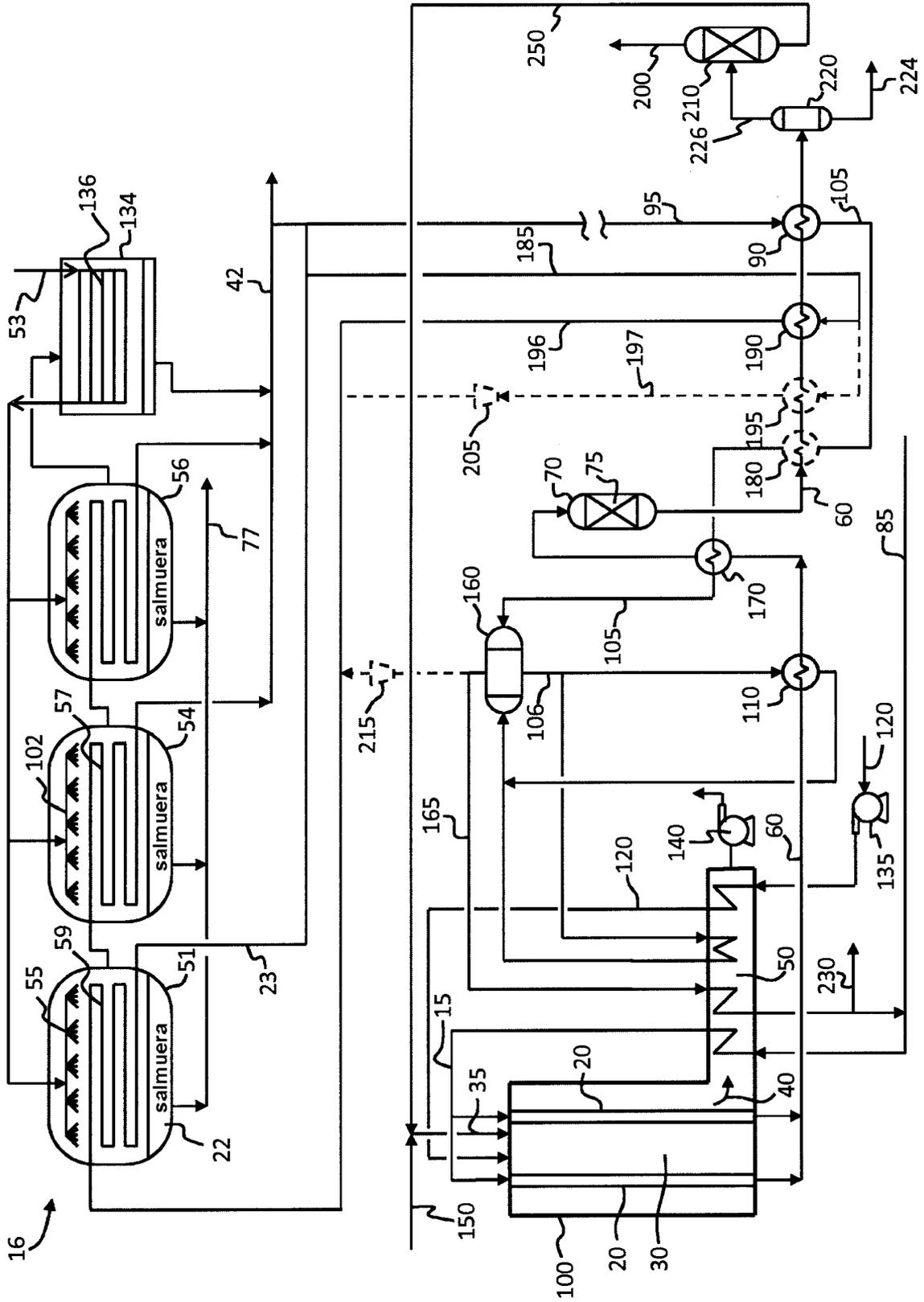


FIG. 4

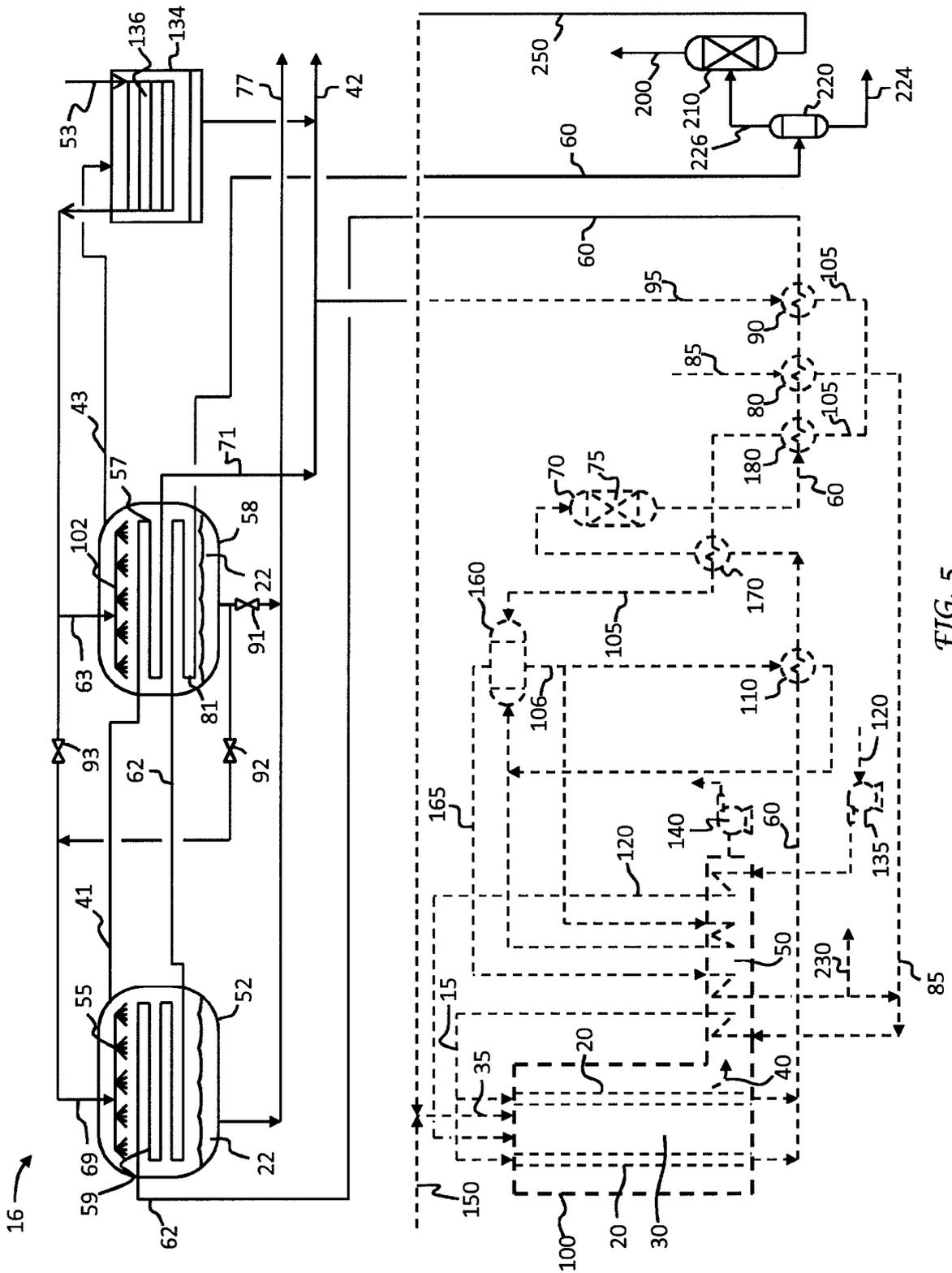


FIG. 5

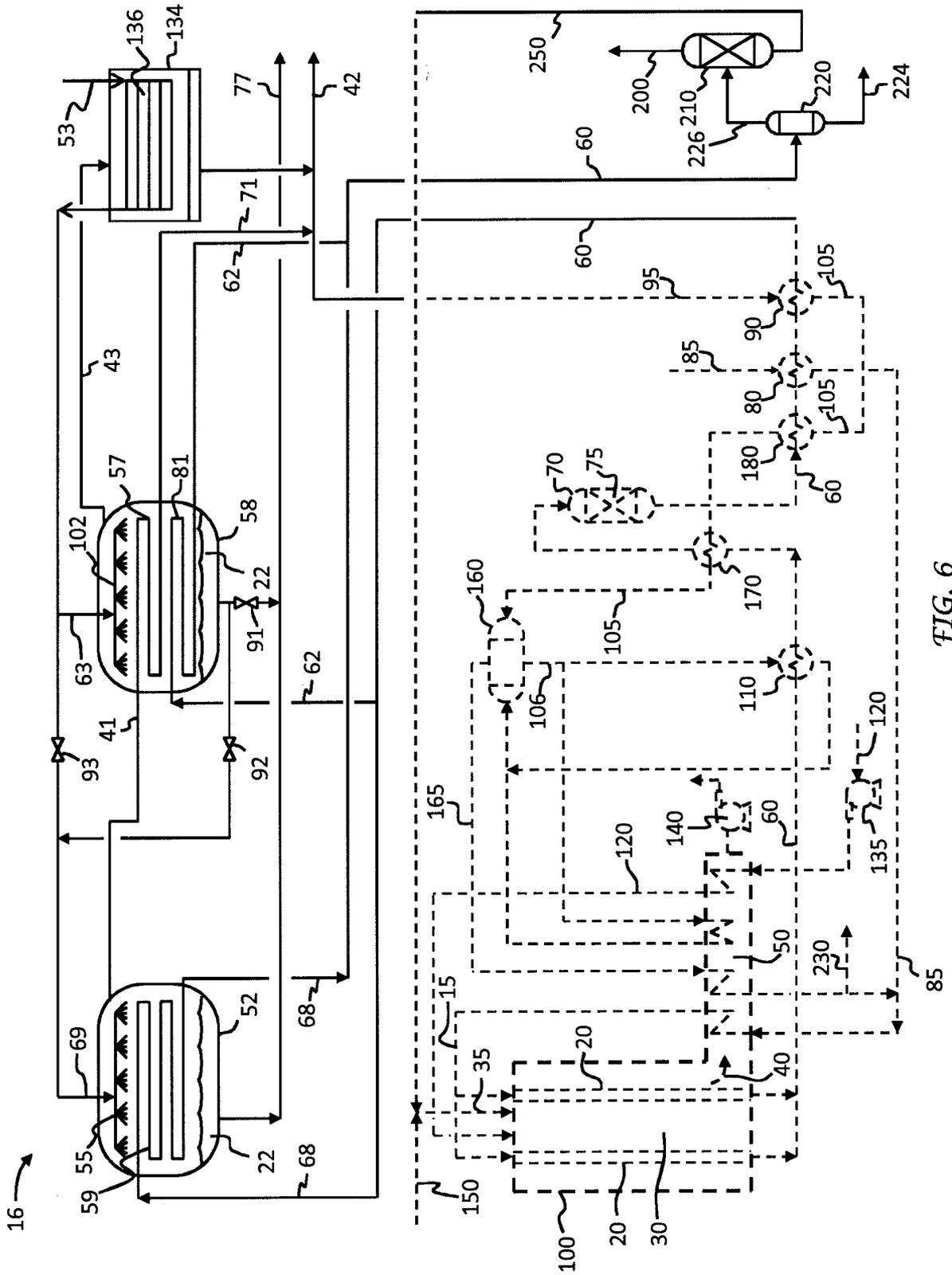


FIG. 6

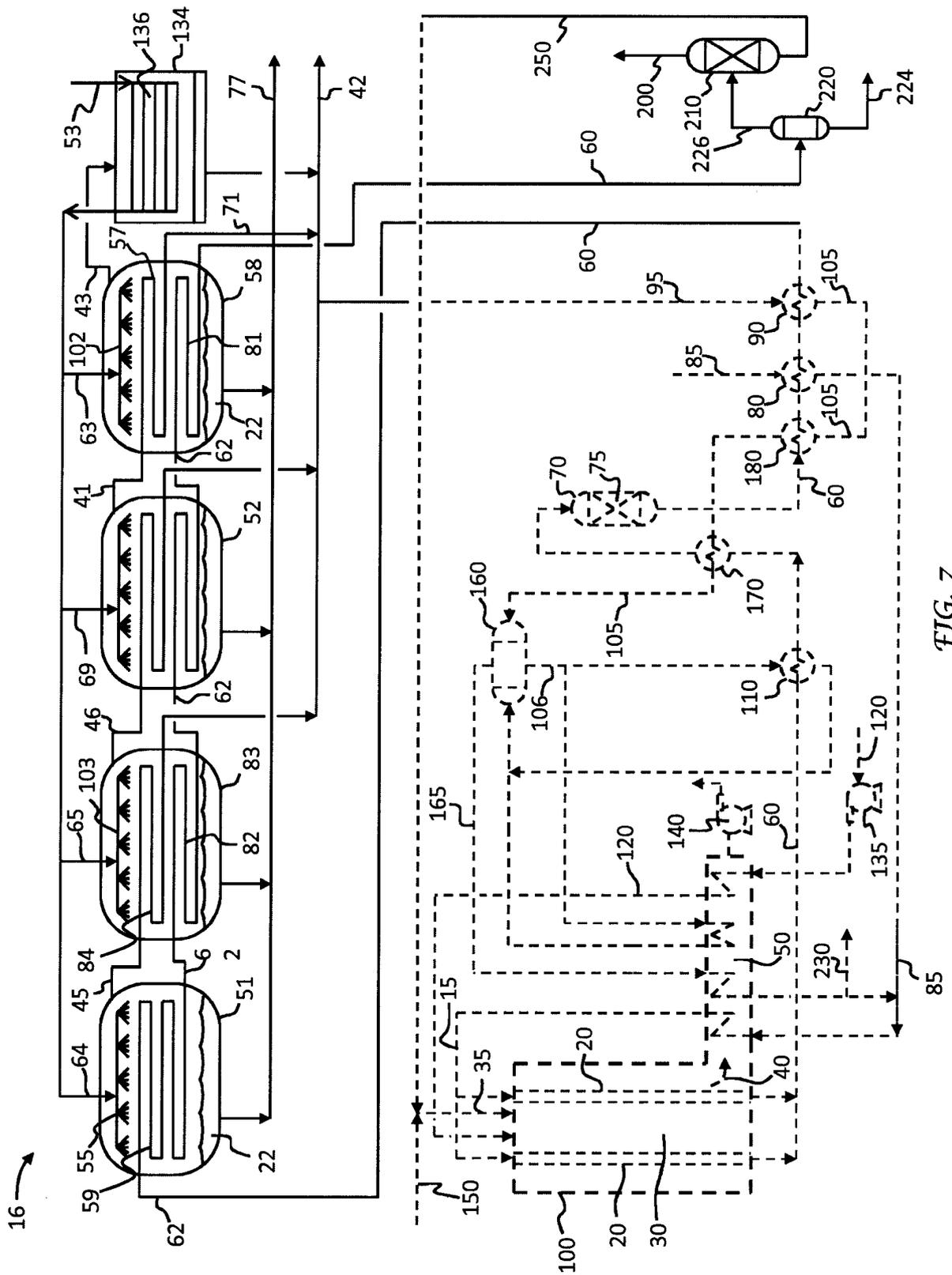


FIG. 7

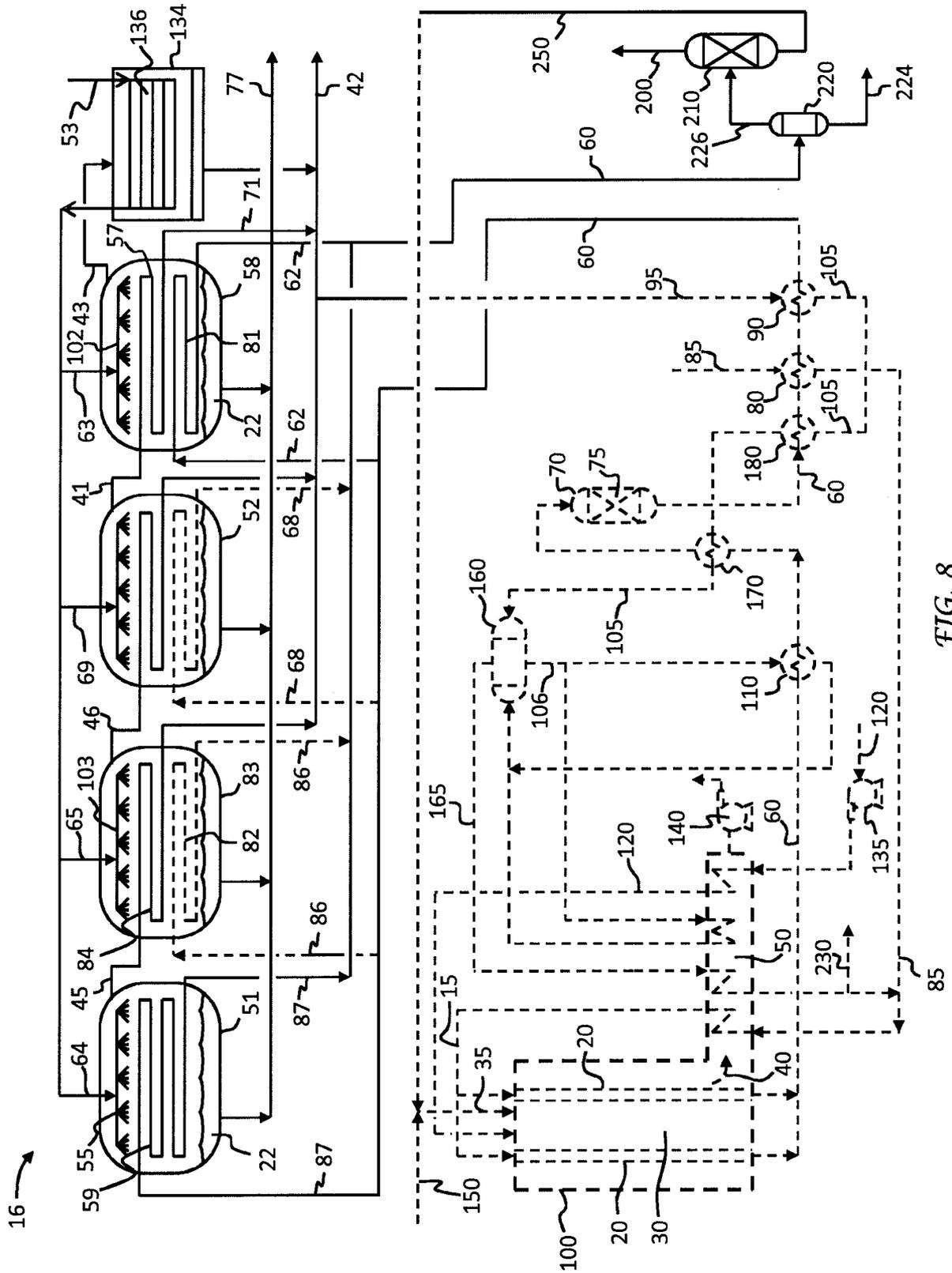


FIG. 8

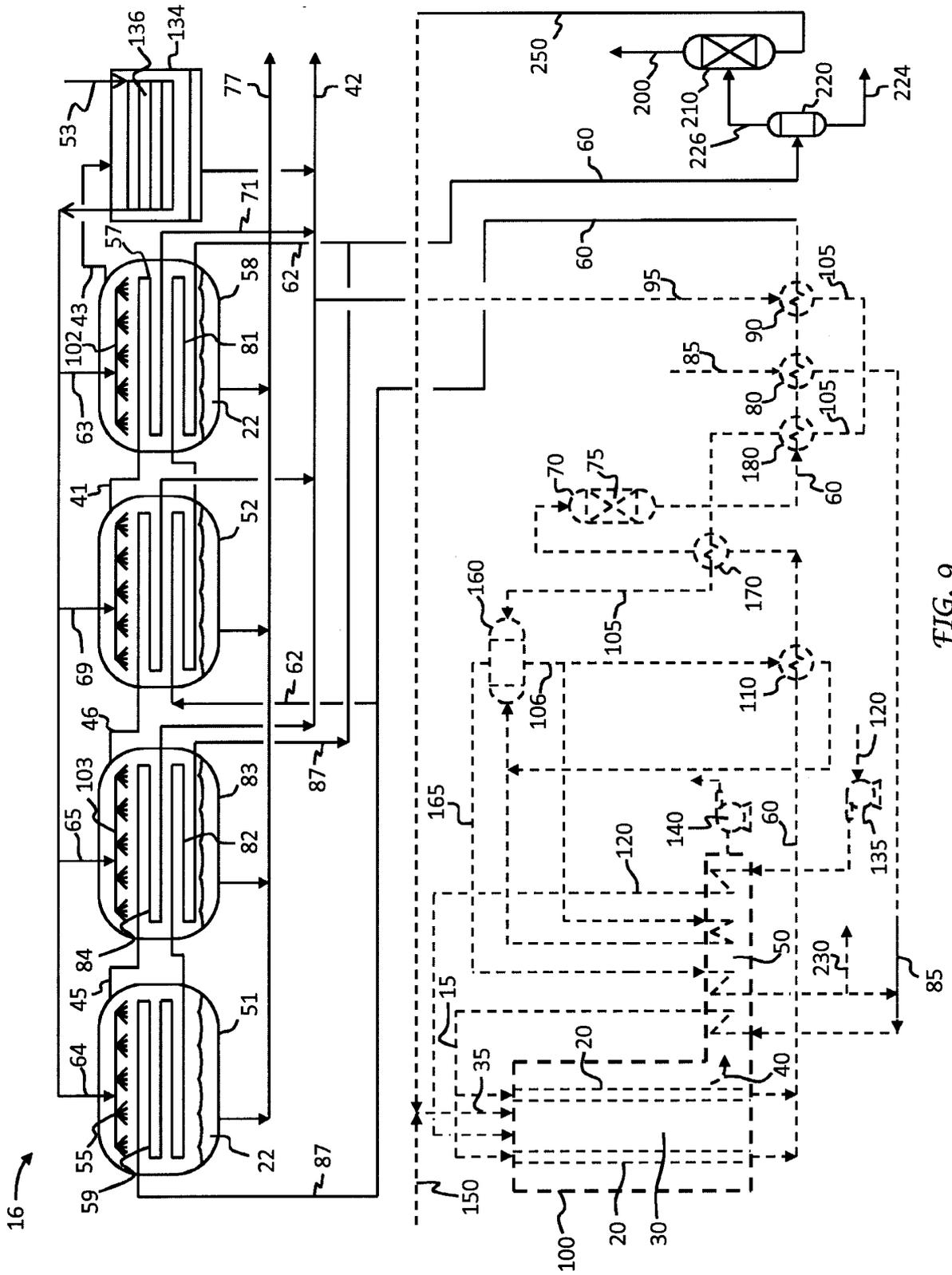


FIG. 9