

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 573 652**

51 Int. Cl.:

**C01B 3/38** (2006.01)

**B01D 3/06** (2006.01)

**B01D 5/00** (2006.01)

**C02F 1/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2013 E 13189958 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.03.2016 EP 2865641**

54 Título: **Sistema y proceso para producir un gas que contiene H<sub>2</sub> y agua purificada**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**09.06.2016**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**PENG, XIANG-DONG;  
LI, XIANMING JIMMY y  
TARI, KALMAN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 573 652 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Sistema y proceso para producir un gas que contiene H<sub>2</sub> y agua purificada

5 ANTECEDENTES

Los procesos de purificación de agua térmicos, tales como desalinización térmica de agua salada utilizando desalinización de múltiples efectos (MED), utilizan calor procedente de una fuente de energía de vapor de baja presión para realizar el proceso de purificación de agua. El vapor a baja presión se genera utilizando una tecnología de caldera común (véase la Patente Estados Unidos N° 4.338.199 y 5.441.548).

10 Se conoce la utilización de otras formas de energía para la desalinización. Por ejemplo, la Patente de Estados Unidos N° 5.421.962 utiliza energía solar para los procesos de desalinización, la Publicación de Patente de Estados Unidos 2011/0162952 utiliza energía procedente de un proceso de gasificación, y la Publicación de Patente de Estados Unidos 2011/0147195 utiliza calor de desecho procedente de una planta de generación de energía para los procesos de desalinización.

15 Los procesos de producción de hidrógeno, tales como la reformación de vapor-hidrocarburo catalítica, la reformación de oxidación parcial, la reformación de oxidación parcial catalítica, y la reformación autotérmica necesitan expulsar calor al ambiente. El calor de desecho puede necesitar ser retirado a una corriente de gas de síntesis intermedia antes de separar el gas de síntesis en un separador de gas para formar hidrógeno u otro gas producto que contiene hidrógeno. El calor de desecho es típicamente expulsado al ambiente a través de un refrigerador de aire accionado por un ventilador de refrigeración y/o un refrigerador de ajuste en el que el enfriamiento se proporciona mediante agua de refrigeración.

20 La industria desea utilizar calor de desecho procedente de procesos de reformación. Por ejemplo, los procesos de reformación catalítica de vapor-hidrocarburo liberan una gran cantidad de calor de desecho bajo diversas circunstancias. Una circunstancia se produce cuando el coste de energía es bajo y se gasta menos capital en la recuperación del calor. Otra circunstancia se produce cuando el proceso no produce una gran cantidad de vapor de exportación a alta presión debido a la falta de demanda para el vapor de exportación. La producción de vapor de exportación baja o nula reduce el disipador de calor para los procesos, dando lugar a una gran cantidad de calor de desecho.

25 La industria desea producir agua purificada en regiones con estrés hídrico. El agua se puede utilizar como agua de reposición en la reformación catalítica de vapor-hidrocarburo, haciendo el proceso autosuficiente con respecto al agua. El agua también se puede vender como un producto para uso industrial y municipal.

30 La industria desea reducir o eliminar el coste de tratamiento de agua en una planta de reformación catalítica de vapor-hidrocarburo. Actualmente, el agua de reposición necesita ser tratada en una planta de reformación catalítica de vapor-hidrocarburo para que cumpla los requisitos del agua de alimentación de caldera. Estos tratamientos incluyen filtración para retirar las partículas, desmineralización para retirar los minerales, y desaireación para eliminar los gases solubles tales como O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

35 La industria desea reducir el capital y el coste de energía de los procesos de reformación. La eficiencia térmica de los procesos de reformación depende de la utilización del calor de nivel bajo. Cuando el coste de la energía es elevado, se recupera calor de nivel más bajo para una mejor eficiencia térmica o coste de energía menor. Sin embargo, recuperar más calor significa utilizar más y/o más grades intercambiadores de calor, dando lugar a un coste de capital más elevado. Por el contrario, cuando el coste de energía es bajo, el coste de capital para los intercambiadores de calor se minimiza con el sacrificio de la eficiencia térmica o el coste de energía.

40 Existe una necesidad en la técnica de sistemas y procesos para producir un gas producto que contiene H<sub>2</sub> y agua purificada que sean rentables y proporcionen una mayor utilización de calor de desecho procedente de procesos de reformación de vapor-hidrocarburo.

45 BREVE SUMARIO

50 La presente invención se refiere a un proceso para producir un producto que contiene H<sub>2</sub> y para producir agua purificada.

55 Las realizaciones de la presente invención satisfacen las necesidades de la técnica proporcionando sistemas y procesos para producir un gas de producto que contiene H<sub>2</sub> y agua purificada procedente de procesos de reformación integrada y de purificación térmica de agua. Las realizaciones de la presente invención pueden reducir o eliminar los costes asociados con la disipación del exceso de calor de desecho y también pueden proporcionar flexibilidad para equilibrar la carga de calor y otras condiciones de funcionamiento en los procesos térmicos de purificación de agua.

60 Hay diversos aspectos específicos de los sistemas y procesos explicados más adelante. Los números de referencia

y las expresiones mostrados entre paréntesis se refieren a una realización a modo de ejemplo explicada más adelante con referencia a las figuras y se proporcionan para la comodidad del lector. Los números de referencia y las expresiones son, sin embargo, sólo ilustrativos y no limitan el aspecto a cualquier componente específico o característica de la realización a modo de ejemplo. Los aspectos pueden ser formulados como reivindicaciones en las que los números de referencia y las expresiones entre paréntesis están omitidos o sustituidos por otras cuando sea apropiado.

Aspecto 1. Un proceso para producir un gas de producto que contiene H<sub>2</sub> (200) y para producir agua purificada (42) a partir de una corriente de agua sin tratar (53) que contiene contaminantes, comprendiendo el proceso:

- (a) retirar un reformato (60) de un reformador (100);
- (b) calentar al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53) mediante la transferencia de calor indirecta con el reformato (60) con lo que se enfría en reformato (60), y con lo que se evapora una parte de la al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53) en un primer evaporador (51) de una pluralidad de evaporadores de un sistema de purificación de agua térmico (16) para formar una primera corriente de vapor (41) y una primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64), retirar la primera corriente de vapor (41) del primer evaporador (51), y retirar la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64) del primer evaporador (51), teniendo la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64) una concentración más elevada de contaminantes que la al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53) introducida en el primer evaporador (51);
- (c) calentar la corriente de agua sin tratar (53) mediante transferencia de calor indirecta con el reformato (60) después de que el reformato ya haya sido caso enfriado en la etapa (b), con lo que se enfría más el reformato a una temperatura comprendida entre 20°C y 60°C, en donde la al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53) es calentada en la etapa (c) antes de ser calentada en la etapa (b);
- (d) introducir la primera corriente de vapor (41) en un segundo evaporador (54) de la pluralidad de evaporadores del sistema de purificación de agua térmico (16), calentar una de la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64) retirada del primer evaporador (51) o una segunda parte (65) de la corriente de agua sin tratar (53) mediante transferencia de calor indirecta con la primera corriente de vapor (41) para formar una segunda corriente de vapor (43) mediante la evaporación de una parte de la una de la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64) o la segunda parte (65) de la corriente de agua sin tratar (53), con lo que se enfría la primera corriente de vapor (41) y formar una primera corriente de condensato (71) procedente de la primera corriente de vapor (41), retirar la segunda corriente de vapor (43) del segundo evaporador (54), retirar la primera corriente de condensato (71) del segundo evaporador (54) en donde el agua purificada (42) comprende la primera corriente de condensato (71), y retirar una segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (66) del segundo evaporador (54), teniendo la segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (66) una concentración más elevada de contaminantes que la una de la primer corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64) retirada del primer evaporador (51) o la segunda parte (65) de la corriente de agua sin tratar (53); y
- (e) formar el gas de producto que contiene H<sub>2</sub> procedente del reformato (60) después de enfriar el reformato en la etapa (c).

Aspecto 2. El proceso del aspecto 1, en el que la etapa (d) comprende introducir la primera corriente de vapor (41) en un segundo evaporador (54) de la pluralidad de evaporadores del sistema de purificación térmico de agua (16) calentar la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64) retirada del primer evaporador (51) mediante transferencia de calor indirecta con la primera corriente de vapor (41) para formar una segunda corriente de vapor (43) mediante evaporación de una parte de la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64), con lo que se enfría la primera corriente de vapor (41) y se forma una primera corriente de condensato (71) procedente de la primera corriente de vapor (41), retirar la segunda corriente de vapor (43) del segundo evaporador (54), retirar la primera corriente de condensato (71) del segundo evaporador (54), en donde el agua purificada (42) comprende la primera corriente de condensado (71), y retirar una segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (66) del segundo evaporador (54), teniendo la segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (66) una concentración más elevada de contaminantes que la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64) retirada del primer evaporador (51).

Aspecto 3. El proceso del aspecto 1 en el que la etapa (d) comprende introducir la primera corriente de vapor (41) en un segundo evaporador (54) de la pluralidad de evaporadores del sistema térmico de purificación de agua (16), calentar una segunda parte (65) de la corriente de agua sin tratar (53) mediante transferencia de calor indirecta con la primera corriente de vapor (41) para formar una segunda corriente de vapor (43) mediante la evaporación de una primera parte de la segunda parte (65) de la corriente de agua sin tratar (53), con lo que se enfría la primera corriente de vapor (41) y se forma una segunda corriente de condensato (71) a partir de la primera corriente de vapor (41), retirar la segunda corriente de vapor (43) del segundo evaporador (54), retirar la primera corriente de condensato (71) del segundo evaporador (54), en donde el agua purificada (42) comprende la primera corriente de condensato (71), y retirar una segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (66) del segundo evaporador (54), teniendo la segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (66) una concentración más elevada de contaminantes que la segunda parte (65) de la corriente de agua sin tratar (53), en

donde la segunda parte (65) de la corriente de agua sin tratar (53) es calentada en la etapa (c) antes de ser calentada en la etapa (d).

5 Aspecto 4. El proceso de cualquiera de los aspectos 1 a 3, en el que el calentamiento de al menos una parte (63) de una corriente de agua sin tratar (53) mediante transferencia de calor indirecta con el reformato (60) en la etapa (b) comprende:

10           calentar un fluido de trabajo (185) mediante transferencia de calor indirecta con el reformato (60) para formar un fluido de trabajo calentado (196), y  
10           calentar al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53) mediante transferencia de calor indirecta con el fluido de trabajo calentado (196) en el evaporador (51).

Aspecto 5. El proceso del aspecto 4, en el que el fluido de trabajo es agua y el fluido de trabajo calentado es vapor.

15 Aspecto 6. El proceso de uno de los aspectos 1 a 3, en el que el calentamiento de al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53) mediante transferencia de calor indirecta con el reformato (60) en la etapa (b) comprende:

20           calentar el agua de fluido de trabajo (185) mediante transferencia de calor indirecta con el reformato (60) en donde el agua de fluido de trabajo es evaporada para formar una corriente de fluido de trabajo (196) que tiene una presión comprendida entre 15,2 KPa y 304 kPa (absoluta) cuando es calentada por el reformato (60), y  
20           calentar la al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53) mediante transferencia de calor indirecta con el vapor de fluido de trabajo (196) en el evaporador (51), en donde el vapor de fluido de trabajo es condensado cuando se calienta la al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53).

25 Aspecto 7. El proceso de un cualquiera de los aspectos 1 a 3, en el que la etapa (b) no incluye el calentamiento de un fluido de trabajo intermedio.

30 Aspecto 8. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 7, que comprende además:

30           (f) calentar una primera corriente de agua (95) mediante transferencia de calor indirecta con el reformato (60) con lo que se enfría el reformato (60), en donde la primera corriente de agua (95) comprende al menos una parte del agua purificada (42);  
35           en donde el reformato (60) es enfriado en la etapa (f) antes de ser enfriado en la etapa (b), o el reformato (60) es enfriado en la etapa (b) antes de ser enfriado en la etapa (f).

Aspecto 9. El proceso del aspecto 8, en el que el reformato (60) es enfriado en la etapa (f) antes de ser enfriado en la etapa (b).

40 Aspecto 10. El proceso del aspecto 8, en el que el reformato (60) es enfriado en la etapa (b) antes de ser enfriado en la etapa (f) y en enfriado en la etapa (f) antes de ser enfriado en la etapa (c).

45 Aspecto 11. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 8 a 10, que comprende además hacer pasar la primera corriente de agua (95) a un desaireador (130) después de calentar la primera corriente de agua en la etapa (f).

Aspecto 12. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 8 a 10, que comprende además:

50           hacer pasar la primera corriente de agua (95) a un tambor de vapor (160) después de calentar la primera corriente de agua en la etapa (f) sin pasar la primera corriente de agua (95) a un desaireador.

Aspecto 13. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 8 a 10, que comprende además:

55           hacer pasar la primera corriente de agua (95) a al menos una de una unidad de intercambio de iones y una unidad de electrodesionización antes de calentar la primera corriente de agua (95) en la etapa (f); y  
55           hacer pasar la primera corriente de agua (95) a un tambor de vapor (160) después de calentar la primera corriente de agua en la etapa (f) sin hacer pasar la primera corriente de agua (95) a un desaireador.

60 Aspecto 14. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 8 a 13, en el que la primera corriente de agua comprende el agua purificada (42).

Aspecto 15. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 8 a 13, en el que la primera corriente de agua comprende el agua purificada (42).

65 Aspecto 16. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 8 a 13, en el que la primera corriente de agua consta del agua purificada sin tratar por filtración, o desmineralización.

Aspecto 17. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 16, en el que la etapa de formación del gas producto que contiene H<sub>2</sub> (200) a partir del reformato comprende:

5 hacer pasar el reformato (60) después de ser enfriado en la etapa (c) a un tambor de separación (220), separar el reformato (60) en una corriente de condensato (224) y un reformato reducido en agua (226); e introducir al menos una parte del reformato reducido en agua (226) en un separador (210) y separar la al menos una parte del reformato reducido en agua (226) en el separador para producir el gas de producto que contiene H<sub>2</sub> (200) y un gas subproducto (250).

10

Aspecto 18. El proceso del aspecto 17, en el que el separador es un absorbedor de oscilación de presión.

Aspecto 19. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 18, en el que el agua sin tratar comprende al menos una de agua salda, agua de río, agua de escorrentía, agua de lago, agua reciclada municipal, agua reciclada industrial, agua subterránea, y condensato de proceso procedente del proceso de reformación de metano vapor.

15

Aspecto 20. Un sistema para producir un gas que contiene H<sub>2</sub> (200) y para producir agua purificada (42) a partir de una corriente de agua sin tratar (53) que contiene contaminantes, comprendiendo el sistema:

20

un reformador (100) que tiene una salida para la extracción del reformato (60);  
un sistema térmico de purificación de agua (16) que comprende una pluralidad de evaporadores, comprendiendo la pluralidad de evaporadores:

25

un primer evaporador (51) configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53) y uno del reformato (60) o el vapor (196) en donde el vapor (196) es formado a partir del agua mediante intercambio de calor indirecto con el reformato (60) en un primer intercambiador de calor (190), estando el primer evaporador operativamente dispuesto para recibir el uno del reformato (60) procedente del reformador o el vapor (196) procedente del intercambiador de calor (190), estando el primer evaporador (51) operativamente dispuesto para recibir la al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53), teniendo el primer evaporador una primera salida para extraer una corriente de vapor (41) formada a partir de la al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53) y una segunda salida para extraer una corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64) formada a partir de la al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53), y

30

35

un segundo evaporador (54) configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre la corriente de vapor (41) y uno de la corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64) o la segunda parte (65) de la corriente de agua (53), estando en segundo evaporador (54) operativamente dispuesto para recibir o bien una de la corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (64) o bien la segunda parte (65) de la corriente de agua sin tratar (53), estando el segundo evaporador (54) dispuesto operativamente para recibir la corriente de vapor (41) procedente del primer evaporador, teniendo el segundo evaporador (54) una primera salida para extraer una corriente de vapor (43) formada a partir de o bien una del agua sin tratar enriquecida en contaminantes o bien la segunda parte de la corriente de agua sin tratar, una segunda salida para extraer una corriente de condensato (71) formada a partir de una corriente de vapor (41) y una tercera salida para extraer una segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (66) formada a partir de o bien la corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes (66) o bien la segunda parte (65) de la corriente de agua sin tratar (53) en donde la corriente de agua purificada comprende la corriente condensato (71);

40

45

50

un segundo intercambiador de calor (180) configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre el reformato (60) y la corriente de agua sin tratar (53), estando el segundo intercambiador de calor (180) dispuesto operativamente para recibir el reformato (60) procedente del uno del primer evaporador (51) y el primer intercambiador de calor (190), en donde del primer evaporador (51) está operativamente dispuesto para recibir la al menos una parte (63) de la corriente de agua (53) procedente del segundo intercambiador de calor (180);

55

un tambor de separación (220) dispuesto operativamente para recibir el reformato (60) procedente del segundo intercambiador de calor (180), tendiendo el tambor de separación una primera salida para extraer un reformato rebajado con agua (226) y una segunda salida para extraer el agua (224); y

60

un separador operativamente dispuesto para recibir el reformato rebajado con agua (226) procedente del tambor de separación (220), el separador para producir el gas que contiene H<sub>2</sub> procedente del reformato rebajado con agua (226).

Aspecto 21. El sistema del aspecto 20, en el que el primer evaporador (51) está configurado para proporcionar un intercambio de calor indirecto entre la al menos una parte (63) de la corriente de agua sin tratar (53) y el reformato (60), en donde el primer evaporador (51) está operativamente dispuesto para recibir el reformato (60) procedente del reformador, y en el que el segundo intercambiador de calor (180) está operativamente dispuesto para recibir el

65

reformato (60) procedente del primer evaporador (51).

Aspecto 22. El sistema del aspecto 20 en el que el primer evaporador (51) está configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar (53) y el vapor, en donde el vapor es formado a partir de agua mediante intercambio de calor indirecto con el reformato en el primer intercambiador de calor (190), el primer evaporador (51) está operativamente dispuesto para recibir el vapor (196) procedente del primer intercambiador de calor (190) y en donde el segundo intercambiador de calor está operativamente dispuesto para recibir el reformato (60) procedente del primer intercambiador de calor (190).

Aspecto 23. El sistema de uno cualquiera de los aspectos 20 a 22, en el que el separador es un absorbedor de oscilación de presión.

Aspecto 24. El sistema de uno cualquiera de los aspectos 20 a 23, en el que el reformador es un reformador catalítico de vapor-hidrocarburo.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DISTINTAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama de flujo de proceso, de un proceso de reformación integrado con un proceso de destilación de múltiples efectos que utiliza un fluido de trabajo para intercambiar calor desde el reformato a un evaporador del proceso de destilación de múltiples efectos en donde agua sin tratar es introducida en los evaporadores en serie.

La Figura 2 es un diagrama de flujo de proceso de un proceso de reformación integrado con un proceso de destilación de múltiples efectos que utiliza un fluido de trabajo para intercambiar calor desde el reformato a un evaporador del proceso de destilación de múltiples efectos en donde el agua sin tratar es introducida en los evaporadores en paralelo.

La Figura 3 es otro diagrama de flujo de proceso de un proceso de reformación integrado con un proceso de destilación de múltiples efectos que utiliza un fluido de trabajo para intercambiar calor desde el reformato a un evaporador del proceso de destilación de múltiples efectos en donde agua sin tratar es introducida en los evaporadores en serie.

La Figura 4 es otro diagrama de flujo de proceso de un proceso de reformación integrado con un proceso de destilación de múltiples efectos que utiliza un fluido de trabajo para intercambiar calor desde el reformato a un evaporador del proceso de destilación de múltiples efectos en donde agua sin tratar es introducida en los evaporadores en paralelo.

La Figura 5 es un diagrama de flujo de proceso de un proceso de reformación integrado con un proceso de destilación de múltiples efectos que utiliza un fluido de trabajo para intercambiar calor desde el reformador a un evaporador del proceso de destilación de múltiples efectos en donde agua sin tratar es introducida en los evaporadores en serie.

La Figura 6 es un diagrama de flujo de un proceso de reformación integrado con un proceso de destilación de múltiples efectos que no utiliza un fluido de trabajo para intercambiar calor desde el reformato a un evaporador del proceso de destilación de múltiples efectos en donde agua sin tratar es introducida en los evaporadores en paralelo.

La Figura 7 es otro diagrama de flujo de proceso de un proceso de reformación integrado con un proceso de destilación de múltiples efectos que no utiliza un fluido de trabajo para intercambiar calor procedente del reformato a un evaporador del proceso de destilación de múltiples efectos en donde agua sin tratar se introduce en los evaporadores en serie.

La Figura 8 es otro diagrama de flujo de proceso de un proceso de reformación integrado con un proceso de destilación de múltiples efectos que no utiliza un fluido de trabajo para intercambiar el calor del reformato a un evaporador del proceso de destilación de múltiples efectos en donde agua sin tratar es introducida en los evaporadores en paralelo.

La Figura 9 es un diagrama de flujo de proceso para una disposición no de acuerdo con la presente invención, en donde un proceso de reformación y un proceso de destilación de múltiples efectos separado no están integrados.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

Los artículos "un" y "una" como se han utilizado aquí significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica en las realizaciones de la presente invención descrita en la memoria y las reivindicaciones. El uso de "un" y "una" no limita el significado a una única característica a menos que se especifique tal límite. El artículo "el", "los" que proceden a nombres singulares o plurales o frases de nombre indican una característica específica particular o características específicas particulares y pueden tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se utilicen. El adjetivo "cualquier" significa uno, alguno, o todos sin discriminación de la cantidad. 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" situado entre las últimas dos entidades de una lista de 3 o más entidades significa al menos una de las entidades de la lista.

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

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

5 Como se ha utilizado aquí una “parte dividida” de una corriente es una parte que tiene la misma composición química que la corriente de la que se toma.

Como se ha utilizado aquí, “primero”, “segundo”, “tercero” etc., se utilizan para distinguir entre una pluralidad de características y/o etapas y no indican la posición relativa en tiempo ni espacio.

10 Como se ha utilizado aquí, el término “catalizador” se refiere a un soporte, material catalítico, y cualesquiera otros aditivos que pueden estar presentes en el soporte.

15 El término “rebajado” significa tener una concentración en % molar menor del componente indicado que la corriente original de la que se formó. “Rebajado” no significa que la corriente esté completamente falta del componente indicado.

Como se ha utilizado aquí, el término “calor” y “calentamiento” pueden incluir tanto calor y calentamiento sensible y latente.

20 Como se ha utilizado aquí, “agua sin tratar” es cualquier agua impura, por ejemplo, una o más de agua salada (agua de océano, agua de mar, agua salobre) agua superficial tal como una corriente, río o lago, agua subterránea, agua de reutilización o reciclada municipal/industrial, o agua de desecho procedente de un proceso industrial, tal como agua expulsa de un proceso de reformación de metano de corriente tal como el condensato del proceso. El condensato de proceso es el agua condensada procedente de la corriente de reformato del proceso SMR. El agua sin tratar es generalmente menos pura que el agua de suministro industrial convencional, tal como el agua potable.

25 Como se ha utilizado aquí, “agua purificada” significa un agua destilada (es decir, agua destilada o condensada) procedente de un proceso de purificación de agua.

30 Un proceso de purificación de agua térmico como se ha utilizado aquí es cualquier proceso que utiliza una fuente de calor para evaporar el agua sin tratar y condensar el vapor de agua evaporado en un condensato o destilato (es decir el agua purificada). El proceso de purificación de agua térmico puede ser, por ejemplo, un proceso de desalinización térmica comercial tal como un proceso de destilación de múltiples efectos (MED).

35 Como se ha utilizado aquí, “reformato” o “una corriente de reformato” es cualquier corriente que comprende hidrógeno y monóxido de carbono formados a partir de la reacción de reformación de un hidrocarburo y vapor.

40 Como se ha utilizado aquí, “transferencia de calor indirecta” es la transferencia de calor de una corriente a otra en donde las corrientes no están mezcladas juntas. La transferencia de calor indirecta incluye, por ejemplo, transferencia de calor de un primer fluido a un segundo fluido en un intercambiador de calor en el que los fluidos están separados por placas o tubos. La transferencia de calor indirecta incluye transferencia de calor de un primer fluido a un segundo fluido en donde se utiliza un fluido de trabajo intermedio para transportar el calor del primer fluido al segundo fluido. El primer fluido puede evaporar un fluido de trabajo intermedio (por ejemplo, agua evaporada para formar vapor) en un evaporador, el fluido de trabajo es hecho pasar a otro intercambiador de calor o condensador, en donde el fluido de trabajo transfiere calor al segundo fluido. La transferencia de calor indirecta del primer fluido a un segundo fluido utilizando un fluido de trabajo se puede adaptar utilizando una tubería de calor, termosifón o similar.

50 Como se ha utilizado aquí, “transferencia de calor directa” es la transferencia de calor de una corriente a otra en donde las corrientes están mezcladas juntas íntimamente. La transferencia de calor directa incluye, por ejemplo, humidificación en donde el agua es rociada directamente en una corriente de aire caliente y el calor procedente del aire evapora el agua.

55 Como se ha utilizado aquí, “comunicación de flujo de fluido” se refiere a la naturaleza de la conectividad entre dos o más componentes que hace posible que los líquidos y/o gases sean transportados entre los componentes de una forma controlada. Por ejemplo, un serpentín de transferencia de calor en un evaporador puede estar en comunicación de flujo de fluido con un serpentín de transferencia de calor en otro evaporador de tal manera que el gas y/o el líquido puede ser transportado entre los mismos sin fugas. El acoplamiento de dos o más componentes de manera que estén en comunicación de flujo de fluido entre sí puede implicar cualquier método adecuado conocido en la técnica, tal como el uso de conductos embridados, juntas de estanqueidad o tornillos. En las Figuras, los conductos se representan como líneas con flechas que conectan uno o más de otros componentes del sistema. Cada conducto está conectado fluidamente a una salida de un componente (es decir, el componente desde el cual se origina la línea) y a una entrada de otro componente (es decir, el componente en el que termina la flecha) de manera que los componentes están en comunicación de flujo de fluido y un gas y/o líquido se puede transportar entre los mismos.

- 5 En las reivindicaciones, las letras o números romanos se pueden utilizar para identificar las etapas de proceso reivindicadas (por ejemplo, (a), (b), (c), (d), etc., e (i), (ii), III), (iv), etc.). Estas letras o números romanos se utilizan para ayudar en la referencia a las etapas del proceso y no están destinados a indicar el orden en el que las etapas reivindicadas se realizan, a menos que, y sólo en la medida en que, dicho orden se mencione específicamente en las reivindicaciones.
- 10 La presente invención se refiere a un sistema y proceso para producir un producto que contiene H<sub>2</sub> y para producir agua purificada. El producto que contiene H<sub>2</sub> puede ser un gas de producto de H<sub>2</sub> purificado o un gas de síntesis que tenga una relación molar de H<sub>2</sub>:CO deseada. El agua purificada puede ser agua desalinizada, es decir, agua purificada procedente de agua salada. Para los fines de la presente invención "agua desalinizada" significa agua de la que entre el 99-100 % en peso de sal originalmente presente ha sido retirada.
- 15 La presente invención se refiere a la integración de calor entre un proceso de reformación para producir un producto que contiene H<sub>2</sub> y a un proceso de purificación de agua térmica para producir agua purificada. El proceso de reformación puede ser un proceso de reformación de vapor-hidrocarburo catalítico, un proceso de reformación de oxidación parcial, un proceso de oxidación parcial catalítico, un proceso de reformación autotérmica, u otros procesos de reformación conocidos en la técnica que produzcan un producto que contenga H<sub>2</sub>.
- 20 En una realización preferida, el proceso de reformación es un proceso de reformación de vapor-hidrocarburo catalítico. El proceso de reformación de vapor-hidrocarburo catalítico 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 vapor a elevada presión como co-producto. El proceso también produce una gran cantidad de calor de bajo nivel. La purificación de agua térmica produce agua purificada procedente de agua sin tratar, y su fuente de energía es el calor de nivel bajo. Estos dos procesos se complementan entre sí dado que la reformación de vapor-hidrocarburo catalítica consume agua y genera calor de bajo nivel, mientras que la purificación de agua térmica utiliza calor de bajo nivel y genera agua. La presente invención aprovecha estas propiedades y consigue la reducción en el capital total y el coste de energía del proceso integrado.
- 25 La reformación de vapor-hidrocarburo catalítica no ha sido hasta ahora integrada con la purificación de agua térmica, incluso aunque la reformación de vapor-hidrocarburo catalítica produce una gran cantidad de calor de bajo nivel. No se han expuesto hasta ahora esquemas de integración específicos.
- 30 Haciendo referencia a los dibujos, en los que los números de referencia iguales se refieren a elementos similares en las distintas vistas, las Figuras 1 a 8 muestran diagramas de flujo de proceso para varias realizaciones de un proceso de reformación para producir un producto que contiene H<sub>2</sub> 200 integrado con un proceso de purificación de agua térmica de Destilación de Múltiples Efectos (MED) para producir agua purificada 42 a partir de una corriente de agua sin tratar 53 que contiene contaminantes.
- 35 El sistema comprende un reformador 100 que tiene una salida para la extracción de un reformato 60.
- 40 En las figuras, el proceso de reformación se muestra siendo realizado por un reformador de vapor-hidrocarburo catalítico 100. Aunque está descrito y mostrado en las figuras como un reformador de vapor-hidrocarburo catalítico, se pueden utilizar otros tipos de reformador para producir gas que contiene H<sub>2</sub>.
- 45 El proceso puede utilizar preferiblemente reformación de vapor-hidrocarburo catalítica. La reformación de vapor-hidrocarburo catalítica, también llamada reformación de metano de vapor (SMR), reformación de vapor catalítica, o reformación de vapor, se define como cualquier proceso utilizado para convertir la materia prima en gas de síntesis mediante la reacción con el vapor sobre un catalizador. El gas de síntesis, comúnmente llamado "syngas", es cualquier mezcla que comprenda hidrógeno y monóxido de carbono. La reacción de reformación es una reacción endotérmica y puede ser descrita generalmente como  $\text{C}_n\text{H}_m + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow n \text{CO} + (m/2 + n) \text{H}_2$ . El hidrógeno es generado cuando es generado el gas de síntesis.
- 50 En la reformación de vapor-hidrocarburo catalítica, una mezcla de gas de suministro de reformador 15 es introducido en una pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador 20 en el horno de reformador 100. La mezcla de gas de suministro de reformador 15 es hecha reaccionar en una reacción de reformación bajo las condiciones de reacción efectivas para formar un reformato 60 que comprende H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O, y el reformato 60 es retirado de la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador 20.
- 55 La mezcla de gas de suministro de reformador 15 comprende una materia prima de hidrocarburo y vapor, o una mezcla de materia prima de hidrocarburo reformado y vapor. La materia prima puede ser gas natural, metano, nafta, propano, gas de combustible de refinería, gas efluente de refinería, u otra materia prima de reformador adecuada conocido en la técnica.
- 60 En la reformación de vapor-hidrocarburo catalítica, la reacción de reformación tiene lugar en la pluralidad de tubos
- 65

de reformador que contienen catalizador en el horno de reformador 100. Un horno de reformador, también llamado un reformador de vapor catalítico, reformador de metano de vapor, y un reformador de vapor-hidrocarburo, se define aquí como cualquier horno de fuego utilizado para convertir la materia prima que contiene hidrógeno elemental y carbono en gas de síntesis mediante una reacción con el vapor sobre un catalizador con calor proporcionado por la combustión de un combustible.

Los hornos de reformador con una pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador, es decir, reformadores tubulares, son bien conocidos en la técnica. Se puede utilizar cualquier número adecuado de tubos de reformador que contienen catalizador. Los materiales adecuados y métodos de construcción son conocidos. El catalizador en los tubos de reformador que contienen catalizador puede ser cualquier catalizador adecuado conocido en la técnica, por ejemplo, un catalizador soportado que contiene níquel.

Las condiciones de relación efectivas para formar el reformato 60 pueden comprender un primer intervalo de temperatura comprendido entre 500° C y 1000° C y un primer intervalo de presión comprendido entre 203 kPa y 5,066 kPa (absoluta).

La energía para calentar los tubos de reformador que contienen catalizador y por tanto proporcionar las condiciones de reacción efectivas para formar el reformato pueden ser proporcionadas por la combustión de un combustible 35 con un gas oxidante 120 en el horno de reformador 100 externo a la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador 20. El combustible es quemado bajo condiciones efectivas para quemar el combustible para formar un gas de producto de combustión 40 y generar calor para suministrar energía para hacer reaccionar la mezcla de gas de suministro de reformador 15 dentro de la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador 20. Un gas de producto de combustión 40 es extraído del horno de reformador 100. Las condiciones efectivas para quemar el combustible pueden comprender una temperatura comprendida entre 600° C y 1500° C y una presión comprendida entre 99 kPa y 101,3 kPa (absoluta). El combustible 35 puede comprender gas de subproducto 250 a partir de un absorbedor de oscilación de presión 210. El combustible 35 puede comprender combustible suplementario 150. El combustible suplementario a menudo se denomina combustible de ajuste. El combustible suplementario puede ser gas natural u otros combustibles adecuados. El gas oxidante 120 puede por ejemplo, ser aire.

El combustible 35 y el gas oxidante 120 son quemados fuera de la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador 20 en la sección de combustión 30, (también llamada sección radiante) del horno reformador 100. El gas de producto de combustión 40 es hecho pasar desde la sección de combustión 30 a la sección de convección 50 del horno de reformador 100. En la sección de convección 50 del horno de reformador 100, son calentadas varias corrientes por el gas de producto de combustión 40. El gas de producto de combustión 40 es retirado de la sección de convección a través del ventilador de escape 140.

Como se muestra en las figuras, el aire de combustión 120 puede ser comprimido en el compresor 135 y puede ser calentado en un intercambiador de calor en la sección de convección 50 antes de ser introducido para su combustión. El agua de suministro de caldera puede ser extraída de un tambor de vapor 160, calentada en un intercambiador de calor en la sección de convección 50 del horno de reformador 100, y ser hecha pasar de nuevo al tambor de vapor 160 para hacer vapor. El gas residual de absorbedor de oscilación de presión puede ser calentado en un intercambiador de calor (no mostrado) en la sección de convección 50 antes de ser introducido para su combustión.

El vapor 165 procedente del tambor de vapor 160 puede ser supercalentado en un intercambiador de calor en la sección de convección 50 del horno de reformador 100. Al menos una parte del vapor supercalentado (comúnmente denominado vapor de proceso) es mezclado con una materia prima de hidrocarburo 85 para formar la mezcla de gas de suministro de reformador 15. Una parte del vapor supercalentado puede ser exportado como vapor de exportación 230.

La mezcla de gas de suministro 15 puede ser calentada más en un intercambiador de calor en la sección de convección 50 del horno reformador 100 antes pasar a una pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador 20.

El vapor supercalentado puede ser mezclado con un suministro de hidrocarburo, calentado y hecho pasar a un prerreformador para reformar una parte de la mezcla. El prerreformador puede ser un prerreformador adiabático. La mezcla del prerreformador puede ser calentada en la sección de convección 50 del horno de reformador 100 antes de pasar a la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador como la mezcla de gas de suministro de reformador 15.

Como se muestra en las figuras, el agua de suministro de caldera saturada 106 puede ser retirada del tambor de vapor 160 y pasar al intercambiador de calor 110 en donde el agua de suministro de caldera saturada 106 puede ser calentada por el intercambio de calor indirecto con el reformato 60 en el intercambiador de calor 110. El agua de suministro de caldera calentada puede ser devuelta al tambor de vapor 160 en donde son separados el vapor y el

agua. El vapor 165, que tiene una presión, por ejemplo, comprendida entre 1,5 y 12,5 MPa (absoluta) puede ser retirado del tambor de vapor y el agua de suministro de caldera saturada ser hecha pasar a diversos intercambiadores de calor para ser calentada.

5 Como se muestra en las figuras, el agua de suministro de caldera 105 puede ser calentada en el intercambiador de calor 170 mediante transferencia de calor indirecta con el reformato 60 desde el intercambiador de calor 110. Como se muestra en las figuras, el agua de suministro de caldera 105 puede ser calentada en el intercambiador de calor 170, pasar al tambor de vapor 160 y después pasar al intercambiador de calor 110 para ser calentada más en el intercambiador de calor 110 por el reformato 60.

10 El agua de suministro de caldera es agua que cumple ciertos requisitos de pureza para ser utilizada en calderas y tambores de corriente.

15 Como se muestra en las figuras, el reformato 60 puede ser hecho pasar desde el segundo intercambiador de calor 170 al reactor de desplazamiento 70. El reformato 60 procedente del segundo intercambiador de calor 170 puede ser hecho reaccionar en presencia de un catalizador de desplazamiento 75 bajo condiciones de reacción efectivas para formar hidrógeno adicional en el reformato 60. El gas hidrógeno adicional puede ser obtenido por la reacción catalítica de monóxido de carbono y vapor. Esta reacción es exotérmica y normalmente referida como la reacción de desplazamiento de agua-gas o reacción de desplazamiento:  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ . La reacción de desplazamiento es efectuada haciendo pasar monóxido de carbono y agua a través de un lecho de un catalizador adecuado. Las condiciones de reacción efectivas para formar hidrógeno adicional en el reformato 60 pueden comprender una segunda temperatura comprendida entre 190° C y 500° C y una segunda presión comprendida entre 203 kPa y 5.066 kPa (absoluta).

25 Se puede utilizar cualquier catalizador adecuado. El reactor de desplazamiento puede ser un denominado desplazamiento de alta temperatura (HTS), desplazamiento de baja temperatura (LTS), desplazamiento de temperatura media (MTS), o combinación. Dado que el artículo "un" significa "uno o más" se pueden utilizar uno o más reactores de desplazamiento en el proceso.

30 Para un desplazamiento de elevada temperatura, una temperatura de entrada comprendida entre 310° C y 370° C, y una temperatura de salida comprendida entre 400° C y 500° C son típicas. Normalmente un catalizador de óxido de hierro/cromia se utiliza para el desplazamiento de elevada temperatura.

35 Para el desplazamiento de baja temperatura, una temperatura de entrada comprendida entre 190° C y 230° C, y una temperatura de salida comprende entre 220° C y 250° C son típicas. Normalmente un catalizador compuesto por cobre metálico, óxido de cinc, y uno o más de otros óxidos difícilmente reducibles tales como alúmina o cromia se utilizan para el desplazamiento de baja temperatura.

40 Para el desplazamiento de temperatura media, una temperatura de entrada comprendida entre 190° C y 230° C y una temperatura de salida de hasta 350° C son típicas. Un catalizador de cobre soportado adecuadamente formulado se puede utilizar para el desplazamiento de temperatura media. El desplazamiento de temperatura media puede ser preferido para el presente proceso.

45 Una combinación puede incluir una secuencia de desplazamiento de elevada temperatura, enfriamiento mediante intercambio de calor indirecto, y desplazamiento de baja temperatura. Si se desea, ambas etapas de desplazamiento se pueden subdividir con el enfriamiento entre lechos.

50 El sistema comprende un sistema de purificación de agua térmico 16 (por ejemplo un sistema de destilación de múltiples efectos) que comprende una pluralidad de evaporadores. La pluralidad de evaporadores comprende al menos un primer evaporador 51 y un segundo evaporador 54. La pluralidad de evaporadores puede comprender evaporadores adicionales 56.

55 El sistema puede utilizar un fluido de trabajo (por ejemplo agua/vapor) para transferir calor desde el reformato 60 a al menos una parte 63 del agua sin tratar 53 en el evaporador 51 como se muestra en las Figuras 1-4. Alternativamente, el sistema puede transferir calor desde el reformato a al menos una parte 63 del agua sin tratar 53 en el evaporador 51 sin el uso de un fluido de trabajo intermedio como se muestra en las Figuras 5-8.

60 En las Figuras 1-4, el sistema utiliza un fluido de trabajo (por ejemplo agua/vapor) para transferir calor desde el reformato 60 al agua sin tratar en el evaporador 51. El primer evaporador 51 está configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 y el vapor 196 en donde el vapor 196 está formado a partir del agua líquida mediante intercambio de calor indirecto con el reformato 60 en el intercambiador de calor 190. El primer evaporador 51 está operativamente dispuesto para recibir el vapor 196 procedente del primer intercambiador de calor 190 y operativamente dispuesto para recibir la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53. El primer evaporador tiene una primera entrada para la retirada de una corriente de vapor 41 que es formada a partir de la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar 53 y una

65

segunda salida para la retirada de una corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64.

El vapor 196 es hecho pasar a un serpentín de transferencia de calor 59 del evaporador 51. El vapor es enfriado y condensado en el serpentín de transferencia de calor 59 como resultado de la transferencia de calor con el agua sin tratar llevada a contacto con el exterior del serpentín 59, típicamente mediante el rociado del agua sin tratar a través de la barra de rociado 55. El condensato 185 es retirado del serpentín 59 y es hecho pasar de nuevo al intercambiador de calor 190 para formar el vapor 196.

En las Figuras 5-8, el sistema transfiere calor desde el reformato 60 al agua sin tratar en el evaporador 51 sin calentar un fluido de trabajo intermedio. El primer evaporador 51 está configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 y el reformato 60. El primer evaporador está operativamente dispuesto para recibir el reformato 60 procedente del reformador 100 y para recibir la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53. Como en las Figuras 1-4, el primer evaporador tiene una primera salida para extraer una corriente de vapor 41 que es formada a partir de la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar 53 y una segunda salida para extraer una corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64.

El agua sin tratar que es rociada a través de la barra de rociado 55 sobre el exterior del serpentín 59 del evaporador 51 sufre la evaporación para formar vapor de agua debido a la transferencia de calor entre el serpentín 59 calentado por el reformato o el vapor que pasa internamente a través del mismo. El vapor de agua producido de esta manera pasa desde el evaporador 51 al serpentín de transferencia de calor 57 dispuesto internamente respecto al segundo evaporador 54. El agua sin tratar es rociada sobre el exterior del serpentín de transferencia de calor 57 a través de la barra de rociado 102, y el vapor de agua dentro del serpentín 57 se condensa dentro del serpentín de transferencia de calor 57, sale al segundo evaporador 54 y es recogido como condensato de agua 71. El vapor de agua producido por la transferencia de calor en el evaporador 54 es hecho pasar al interior del evaporador 56 en donde se repite el proceso, y así sucesivamente tantas veces como evaporadores haya presentes en el sistema. El vapor de agua que sale del último evaporador en la serie es condensado en el condensador 134 mediante contacto con el serpentín de transferencia de calor 136 a través del cual es hecho pasar el suministro de agua sin tratar fría. El condensado de agua purificada producido de esta manera es combinado con el producido en los otros evaporadores y es recogido. Una corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 77 que se forma después de pasar a través de cada uno de los evaporadores como se muestra en las Figuras 1, 3, 5 y 7 o una corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 77 que es formada a partir de las corrientes de agua sin tratar enriquecida en contaminantes procedente de cada uno de los evaporadores en las Figuras 2, 4, 6 y 8 es recogida y descargada.

El segundo evaporador 54 está configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre la corriente de vapor 41 procedente del primer evaporador 51 y una de la corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64 retirada del primer evaporador 51, como se muestra en las Figuras 1, 3, 5 y 7, o una segunda parte 65 de la corriente de agua sin tratar 53, como se muestra en las Figuras 2, 4, 6 y 8. El segundo evaporador 54 está operativamente dispuesto para recibir la corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64 como se muestra en las Figuras 1, 3, 5 y 7, o la segunda parte 65 de la corriente de agua sin tratar 53 como se muestra en las Figuras 2, 4, 6 y 8. El segundo evaporador 54 está operativamente dispuesto para recibir la corriente de vapor 41 procedente del primer evaporador. El segundo evaporador 54 tiene una primera salida para la extracción de una corriente de vapor 43 formada a partir de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64 como se muestra en las Figuras 1, 3, 5 y 7, o la segunda parte 65 de la corriente de agua sin tratar como se muestra en las Figuras 2, 4, 6 y 8. El segundo evaporador tiene una segunda salida para la extracción de una corriente de condensato 71 formada a partir de la corriente vapor 41, y una tercera salida para la extracción de una segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 66.

La corriente a agua purificada 42 comprende la corriente de condensato 71.

El sistema comprende un segundo intercambiador de calor 180 configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre el reformato 60 y la corriente de agua sin tratar 53. El segundo intercambiador de calor 180 está operativamente dispuesto para recibir el reformato 60 procedente de uno del primer intercambiador de calor 190 como se muestra en las Figuras 1 - 4, y el primer evaporador 51 como se muestra en la Figuras 5 - 8. El primer evaporador 51 está operativamente dispuesto para recibir la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 procedente del segundo intercambiador de calor 180.

El sistema comprende un tambor de separación 220 operativamente dispuesto para recibir el reformato 60 procedente del segundo intercambiador de calor 180. El tambor de separación tiene una primera salida para la extracción de un reformato rebajado en agua 226 y una segunda salida para la extracción del condensato de proceso 224.

El sistema comprende un separador operativamente dispuesto para recibir el reformato rebajado en agua 226 procedente del tambor de separación 220. El separador produce el gas que contiene H<sub>2</sub> 200 a partir del reformato rebajado en agua 226. El separador puede ser un absorbedor de oscilación de presión.

La presente invención se refiere también a un proceso para producir gas que contiene H<sub>2</sub> 200 y para producir agua purificada 42 procedente de una corriente de agua sin tratar 53 que contiene contaminantes.

5 El proceso comprende la extracción del reformato 60 del reformador 100.

El proceso comprende el calentamiento de al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 mediante transferencia de calor indirecta con el reformato 60 con lo que se enfría el reformato 60, y con lo que se evapora una parte de la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 en el primer evaporador 51 de la pluralidad de evaporadores del sistema de purificación de agua térmico 16. La parte evaporada forma una primera corriente de vapor 41. El resto de la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 forma una primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64. La primera corriente de vapor 41 y la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64 son extraídas separadamente del primer evaporador 51. La primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64 se forma a partir de la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53. La primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64 tiene una concentración mayor de contaminantes que la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 que fue introducida en el primer evaporador 51.

El calentamiento de al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 mediante transferencia de calor indirecta con el reformato se puede hacer con o sin fluido de trabajo, en donde por ejemplo, el fluido de trabajo sea agua/vapor.

Como se muestra en las Figuras 1 – 4, la etapa de calentar al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 mediante transferencia de calor indirecta con el reformato puede comprender calentar un fluido de trabajo 185 mediante transferencia de calor indirecta con el reformato 60 en el intercambiador de calor 190, y calentar la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 mediante transferencia de calor indirecta con el fluido de trabajo calentado 196 en el evaporador 51. El fluido de trabajo puede ser agua y el fluido de trabajo calentado puede ser vapor.

La etapa de calentar al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 mediante transferencia de calor indirecta con el reformato puede comprender calentar el fluido de trabajo 185 mediante transferencia de calor indirecta con el reformato 60 en el intercambiador de calor 190 en donde el agua de fluido de trabajo es evaporada para formar el vapor de fluido de trabajo 196 que tiene una presión comprendida entre 15,2 kPa y 304 kPa (absoluta) cuando es calentado por el reformato 60, y calentar la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 mediante transferencia de calor indirecta con el vapor de fluido de trabajo 196 en el evaporador 51. El vapor de fluido de trabajo es condensado cuando el calentamiento de la al menos una parte 63 del vapor de agua sin tratar 53 para reconstruir el agua de fluido de trabajo 185.

Como se muestra en las Figuras 5 – 8, la etapa de calentar al menos una parte 63 del agua sin tratar 53 mediante transferencia de calor indirecta con el reformato se puede hacer sin utilizar un fluido de trabajo intermedio. Como se muestra en las Figuras 5 – 8, el reformato puede ser hecho pasar al primer evaporador 51 para transferir calor a la al menos una parte 63 de la corriente de agua 53 en el evaporador 51. El reformato 60 puede entonces pasar desde el primer evaporador 51 al intercambiador de calor 90 o al intercambiador de calor 180, dependiendo de la secuencia seleccionada de los eventos de intercambio de calor.

El proceso comprende calentar la corriente de agua sin tratar 53 en el intercambiador de calor 180 mediante transferencia de calor indirecta con el reformato 60 después de que el reformato ya haya sido enfriado en el intercambiador de calor 190 o el evaporador 51, con lo que se enfría más el reformato hasta una temperatura comprendida entre 20° C y 60° C. La al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 es calentada en el intercambiador de calor 180 antes de ser calentada en el primer evaporador 51. La al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 es hecha pasar desde el primer intercambiador de calor 180 al primer evaporador 51. La al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 comprende al menos una parte de la corriente de agua sin tratar 53.

Como se muestra en las Figuras 1, 3, 5 y 7, el agua sin tratar puede pasar en serie a través de cada uno de los evaporadores 51, 54 y 56. En la disposición en serie, la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 es hecha pasar al primer evaporador 51 en donde el agua es evaporada a partir del agua sin tratar y se forma la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64. La primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64 pasa al segundo evaporador 54 en donde es evaporada más agua procedente de la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64 para formar una segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 66. La segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 66 es hecha pasar a un tercer evaporador 56 en donde es evaporada más agua procedente de la segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes para formar el agua de expulsión de baja calidad 77. Como se ha mencionado anteriormente, se puede utilizar cualquier número de evaporadores.

Como se muestra en las Figuras 2, 4, 6 y 8, el agua sin tratar puede ser hecha pasar a través de los evaporadores 51, 54 y 56 en paralelo. En la configuración en paralelo, la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 es hecha pasar al primer evaporador 51 en donde el agua es evaporada a partir del agua sin tratar y se forma una primera corriente de agua sin tratar residual enriquecida en contaminantes 64. Otra parte 65 de la corriente de agua sin tratar 53 es hecha pasar al segundo evaporador 54 en donde es evaporada agua procedente del agua sin tratar y se forma una segunda corriente de agua sin tratar residual enriquecida en contaminantes 66. Otras partes de la corriente de agua sin tratar 53 son hechas pasar a cualquier evaporador adicional 56 del sistema. Cada una de las corrientes de agua sin tratar residual enriquecida en contaminantes 64, 66 es recogida para formar un agua de expulsión de baja calidad 77.

También se contempla un esquema mezclado de flujo en serie y paralelo a través de los evaporadores.

El proceso también comprende introducir la primera corriente de vapor 41 en el segundo evaporador 54 de la pluralidad de evaporadores del sistema de purificación de agua térmico 16 para calentar el agua sin tratar y evaporar el agua en el mismo. Cuando el agua sin tratar es introducida en los evaporadores en serie como se muestra en las Figuras 1, 3, 5 y 7, la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64 retirada del primer evaporador 51 es calentada mediante transferencia de calor indirecta con la primera corriente de vapor 41 para formar una segunda corriente de vapor 43 y una segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 66 evaporando una parte de la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64. La segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 66 tiene una concentración más elevada de contaminantes que la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 64 extraída del primer evaporador 51.

Cuando se introduce agua sin tratar en los evaporadores en paralelo como se muestra en las Figuras 2, 4, 6 y 8, la segunda parte 65 de la corriente de agua sin tratar 53 es calentada mediante transferencia de calor indirecta con la primera corriente de vapor 41 para formar una segunda corriente de vapor 43 y una segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes residual 66 evaporando una parte de la segunda parte de la corriente de agua sin tratar 53. La segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 66 tiene una concentración más elevada de contaminantes que la segunda parte 65 de la corriente de agua sin tratar 53. La primera corriente de agua 41 es con ello enfriada en el segundo evaporador 54 y forma una primera corriente de condensato 71 procedente de la primera corriente de vapor 41.

La segunda corriente de vapor 43, la primera corriente de condensato 71, y la segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes 66 son cada una extraída separadamente del segundo evaporador 54.

El agua purificada 42 está compuesta por la primera corriente de condensato 71.

El proceso comprende además formar el gas de producto que contiene  $H_2$  200 a partir del reformato 60 después de enfriar el reformato mediante transferencia de calor indirecta con el agua sin tratar 53 en el intercambiador de calor 180. el reformato, después de enfriarse en el intercambiador de calor 180, puede pasar al tambor de separación 220 para retirar el agua formada por la condensación del vapor, típicamente llamada condensato de proceso, con lo que se forma una corriente de condensato 224 y un reformato rebajado con agua 226. El condensato de proceso 224 puede ser purificado y reutilizado, o alternativamente ser descargado del proceso. Al menos una parte del reformato rebajado en agua 226 puede entonces ser introducido en un separador 210 y ser separado para producir el gas de producto que contiene  $H_2$  200 y un gas subproducto 250. El reformato puede ser separado mediante cualesquiera medios conocidos para la separación de reformato. Como se muestra en las figuras, el reformato 60 puede ser separado mediante absorción de oscilación de presión en el absorbedor de oscilación de presión 210 para producir el producto que contiene  $H_2$  200 y el gas de subproducto 250. El gas de subproducto 250 procedente del absorbedor de oscilación de presión es comúnmente denominado gas residual. Alternativamente, el reformato 60 puede ser separado criogénicamente en productos de gas de síntesis en una caja fría (no mostrada).

La temperatura del reformato introducido en el tambor de separación 220 puede ser contralad por el caudal del agua sin tratar 53 que pasa a través del intercambiador de calor 180. El exceso de agua sin tratar que no pasa a ningún evaporador del sistema de purificación de agua térmico 16 puede ser expulsado como corriente secundaria 67.

Una parte o toda el agua purificada se puede utilizar como agua de reposición (materia prima de reactivo) para el proceso de reformación. El calor procedente del reformato se puede transformar en agua de reposición para el proceso de reformación.

El "agua de reposición" es agua introducida en el proceso de reformación de vapor-hidrocarburo catalítico como una corriente de materia prima. El agua de reposición puede ser una calidad de agua de suministro de caldera o puede que sea necesario un tratamiento adicional para convertirla en calidad de agua de sumisito de caldera. La cantidad de agua de reposición añadida al sistema es la cantidad requerida para la reacción en el proceso de reformación de vapor-hidrocarburo catalítico más la cantidad requerida para exportar la producción de vapor. En el caso de exceso de vapor en el reformato, que es condensado en el tambor de separación 220 como condensato de proceso 224, no

es reciclado al proceso, la cantidad de agua de reposición requerida aumenta en la cantidad de condensato de proceso.

5 El agua de reposición 95 puede comprender agua purificada 42. El agua de reposición 95 puede estar formada por agua purificada 42. Una parte o toda el agua purificada 42 producida se puede utilizar como agua de reposición para el proceso de reformación. El agua de reposición 95 puede comprender adicionalmente una parte o todo el condensato de proceso 224 obtenido a partir del tambor de separación 220.

10 El proceso puede comprender calentar una primera corriente de agua 96 (es decir agua de reposición) mediante transferencia de calor indirecta con el reformato 60 en el intercambiador de calor 90 con lo que se enfría el reformato 60. Como se muestra en las Figuras 1, 2, 5 y 6, el reformato 60 puede calentar la primera corriente de agua 95 en el intercambiador de calor 90 antes de calentar la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 en el evaporador 51 o a través del intercambiador de calor 190. Como se muestra en las Figuras 3, 4, 7 y 8, el reformato 60 puede calentar al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 en el evaporador 51 o a través del intercambiador de calor 190 antes de calentar la primera corriente de agua 95 en el intercambiador de calor 90. En cualquier caso, el reformato 60 calienta la primera corriente de agua 95 en el intercambiador de calor 90 y la al menos una parte 63 de la corriente de agua sin tratar 53 en el evaporador 51 o a través del intercambiador de calor 190 antes de que el reformato 60 sea calentado más en el intercambiador de calor 180.

20 El proceso puede comprender hacer pasar la primera corriente de agua 95 (es decir el agua de reposición) al desaireador 130 para extraer los gases disueltos después de calentar la primera corriente de agua mediante transferencia de calor indirecta con el reformato 60. En las Figuras, el agua de reposición 95 es hecha pasar al desaireador 130, en donde también es introducido vapor y son extraídas una corriente de ventilación 17 y agua desaireada 123. El agua desaireada 123 puede entonces ser calentada en el intercambiador de calor 170 y ser suministrada como agua de suministro de caldera 105 al tambor de corriente 160, como se ha descrito previamente.

30 En la práctica, el agua purificada procedente del proceso de purificación de agua térmico podría no contener gases disueltos, y por lo tanto puede ser calentada en los intercambiadores de calor 90 y 170 y ser suministrada al tambor de vapor 160 sin ser tratada en el desaireador 130. El uso directo de agua purificada ahorrará costes de tratamiento de agua en la planta de reformación de producción de H<sub>2</sub>. El uso de agua purificada 42 como agua de suministro de caldera puede pagar por sí misma si el coste total del agua purificada es menor que la suma del coste de agua sin tratar más los costes de capital y funcionamiento del tratamiento de agua y desaireación en la planta de reformación de producción de H<sub>2</sub>.

35 En el caso en el que el agua purificada 42 contenga un nivel inaceptable de minerales, el agua purificada 42 puede ser tratado por al menos uno de una unidad de intercambio de iones (es decir, mediante pulido de condensato o pulido de lecho mezclado) y una unidad de electrodesionización. La extracción de los minerales traza disueltos y la materia suspendida mediante intercambio de iones (pulido de condensato) es bien conocida y unidades comerciales están disponibles de Siemens, por ejemplo. La extracción de minerales mediante electrodesionización (EDI) también es bien conocida y las unidades comerciales están disponibles por General Electric, por ejemplo.

45 El presente proceso expulsa el calor de desecho del proceso de reformación a través del proceso MED. El calor de desecho procedente del proceso de reformación es transferido al proceso MED a través del primer evaporador 51 y el intercambiador de calor 180. Este calor es finalmente expulsado al ambiente a través del enfriamiento mediante agua sin tratar 53 en el condensador 134 y a través del agua de expulsión de baja calidad 77 descargada. Si flujo de agua de expulsión de baja calidad 77 es pequeño debido a la elevada recuperación de agua, una parte del calor de desecho procedente del proceso de reformación transferido a través del intercambiador de calor 180 es expulsada al ambiente por la corriente de secundaria 67. La recuperación de agua se define como la cantidad de destilato o agua de producto total (es decir, el caudal de la corriente 42) dividida por la cantidad de agua de suministro (es decir el caudal de la corriente 53).

55 Existen dos beneficios principales del presente proceso y sistema. En primer lugar, convierte el calor de desecho del proceso de reformación en una fuente de calor de bajo coste para el proceso MED. En el caso de que se utilice un vapor de fluido de trabajo intermedio como el las Figuras 1 – 4, el coste de la fuente de calor es el coste del intercambiador de calor (caldera) 190, que será pequeño en comparación con el vapor de baja presión producido en un proceso MED autónomo procedente de una fuente de energía primaria con equipo dedicado (por ejemplo una caldera de gas natural). En segundo lugar, expulsando el calor de desecho procedente del proceso de reformación a través del proceso MED el presente proceso y sistema eliminan el coste asociado con la expulsión de calor de desecho en el proceso de reformación sin añadir coste significativo al proceso MED. Como se ha descrito anteriormente, toda la expulsión de calor se realiza a través del equipo existente en el proceso MED, excepto en intercambiador de calor 180. Sin embargo, el intercambiador 180 sustituye las cajas de destello y los precalentadores en el proceso MED original para el precalentamiento de agua de suministro. Después de la solución de compromiso, el coste del intercambiador de calor 180 puede ser mínimo, o incluso proporcionar unos ahorros de coste efectivos.

65

Los beneficios y las ventajas se ilustran de manera adicional mediante los ejemplos presentados a continuación.

#### Ejemplo 1 – Caso comparativo

En el ejemplo 1, el sistema y proceso de reformación no están integrados con el sistema y proceso de destilación de múltiples efectos. La parte final del proceso de reformación para el ejemplo 1 se muestra en la Figura 9.

El reformato 360 tiene un caudal molar de 4,6 kmol/s. El reformato 360 es introducido en el intercambiador de calor 390 a una temperatura de 141,8° C y sale del intercambiador de calor 390 a una temperatura de 117,4° C. El reformato tiene una composición molar de 52,8 % de H<sub>2</sub>, 27,3 % de H<sub>2</sub>O(g), 11,4 % de CO<sub>2</sub>, 5,5 % de CH<sub>4</sub>, 2,8 % de CO y 0,3 % de N<sub>2</sub>. El reformato 360 calienta el agua de suministro de desaireador 395 en el intercambiador de calor 390. El agua de suministro de desaireador tiene un caudal de 2,58 kmol/s en donde 1,34 kmol/s es agua de reposición y 1,21 kmol/s es condensato de proceso 324. El agua de suministro de desaireador 395 entra en el intercambiador de calor 390 a una temperatura de 26,5° C y sale del intercambiador de calor 390 a una temperatura de 97,2° C.

El reformato 360 es enfriado adicionalmente en el intercambiador de calor 380 desde 97,2° C hasta la temperatura de 37,8° C requerida para la unidad de separación de hidrógeno 310 que utiliza agua de enfriamiento 385. La temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento 385 son 29,4° C y 37,8° C, respectivamente, correspondiendo con las condiciones de funcionamiento de una torre de refrigeración.

La función de calor para el intercambiador de calor 390 es 13,7 MW y la función de calor para el intercambiador de calor 380 es 23,5 MW. El producto, UA, del coeficiente de transferencia de calor, U, y el área A, es de 208,437 J/K-s para el intercambiador de calor 390 y 648,956 J/K-s para el intercambiador de vapor 380. El coste del intercambiador de calor está convencionalmente relacionado con su UA.

El proceso de destilación de múltiples efectos autónomo se utiliza para producir el agua de reposición para el proceso de reformación. En este ejemplo, son utilizados 7 evaporadores 420. Para producir 1,34 kmol/s de agua de reposición, el proceso necesita 8 MW de energía utilizando vapor 410 y expulsa aproximadamente 8 MW de calor para enfriar el agua en el condensador 434.

El proceso de destilación autónomo de múltiples efectos produce el agua de reposición a aproximadamente 15,6° C.

La recuperación de agua del proceso MED es del 32 %, en donde la recuperación de agua es el agua total producida por el proceso MED dividida por el agua sin tratar introducida al proceso MED.

#### Ejemplo 2

En el ejemplo 2, el proceso de reformación y el proceso de destilación de múltiples efectos están integrados como se muestra en la Figura 5. El proceso de destilación de múltiples efectos utiliza 7 evaporadores como en el ejemplo 1.

El reformato 60 tiene un caudal molar de 4,6 kmol/s. El reformato 60 es introducido en el intercambiador de calor 90 a una temperatura de 141,8° C y sale del intercambiador de calor 90 a una temperatura de 129,9° C. El reformato tiene una composición molar de 52,8 % de H<sub>2</sub>, 27,3 % de H<sub>2</sub>O(g), 11,4 % de CO<sub>2</sub>, 5,5 % de CH<sub>4</sub>, 2,8 % de CO y 0,3 % de N<sub>2</sub>. El reformato 60 calienta el agua de suministro de desaireador 95 en el intercambiador de calor 90. El agua de suministro de desaireador tiene un caudal de 2,58 kmol/s en donde 1,34 kmol es agua de reposición y 1,24 kmol/s es condensato de proceso 224. El agua de suministro de desaireador 95 entra en el intercambiador de calor a una temperatura de 59,1° C y sale del intercambiador de calor 90 a una temperatura de 97,2° C.

Después de calentar el agua de suministro de desaireador 95 en el intercambiador de calor 90, el reformato es introducido en el primer evaporador 51 a una temperatura de 129,9° C para evaporar agua. El reformato 60 es extraído del primer evaporador 51 a una temperatura de 112,8° C. El agua sin tratar 63 es introducida en el evaporador 51 a un caudal molar de 4,2 kmol/s. El agua sin tratar es introducida en el evaporador 51 a una temperatura de 83,9° C y extraída a una temperatura de 100,8° C.

El reformato extraído del primer evaporador es posteriormente introducido en el intercambiador de calor 180 para calentar el agua de suministro que es introducida en el primer evaporador 51 del proceso de destilación de múltiples efectos. El reformato es enfriado en el intercambiador de calor 180 desde 112,8° C hasta la temperatura de 37,8° C requerida para la unidad de separación de hidrógeno 210. El agua sin tratar 53 es calentada en el intercambiador de calor 180 de 15,6° C a 83,9° C.

La función de calor para el intercambiador de calor 90 es 7,4 MW, la función de calor para el primer evaporador 51 es 8,4 MW, y la función de calor para el intercambiador de calor 180 es 21,5 MW. El producto, UA, del coeficiente de transferencia de calor, U, y el área A, es de 130,086 J/K-s para el intercambiador de calor 90, 320,924 J/K-s para el primer evaporador 51, y 725,936 J/K-s para el intercambiador de calor 180.

La temperatura de entrada del agua de suministro de desaireador al intercambiador de calor 90 (59,1° C) es mayor

que al intercambiador de calor 390 (26,5° C) en el ejemplo 1 debido a que el agua de reposición procedente del proceso MED integrado está a una temperatura mayor (78,4° C) que el agua de reposición procedente del proceso MED autónomo. Parte del precalentamiento de agua de reposición en el Ejemplo 2 se realiza en el proceso MED mediante transferencia de calor del reformato al agua de reposición en el primer evaporador 51 y el intercambiador de calor 180.

La recuperación de agua en el ejemplo 2 es del 32 %.

No hay consumo de agua de refrigeración suplementaria en el ejemplo 2 en comparación con el ejemplo 1.

Aunque la configuración en el ejemplo 1 incluye precalentadores de caja de destellos 449, el ejemplo 2 no requiere precalentadores de caja de destellos, dado que el agua de suministro al evaporador es calentada en el intercambiador de calor 180 utilizado el reformato 60.

Un beneficio de la presente invención se puede ilustrar comparando el coste de equipo y de funcionamiento para enfriar el reformato desde la temperatura entrante de 141,8° C a la temperatura de 37,8° C requerida para la unidad de separación de H<sub>2</sub> 210, y el coste para producir el agua de reposición por el proceso MED. En el caso de autónomo del ejemplo 1, los intercambiadores de calor 390 y 380 son utilizados para enfriar el reformato 360. El coste del equipo asociado con el enfriamiento puede ser indicado por el UA total de los intercambiadores de calor 380 y 390, que es 857,393 J/K-s. El coste de funcionamiento se puede indicar por la función de agua de enfriamiento de 23,5 MW. En el lado MED, el coste del equipo será en de un proceso MED de 7 evaporadores convencional. El proceso MED necesita una fuente de calor de aproximadamente 8 MW para producir 1,34 kmol/s de agua de reposición y agua de enfriamiento para expulsar aproximadamente 8 MW de calor a través del condensador 434.

Para el caso de la presente invención como se ilustra en el ejemplo 2, todo el calor en el reformato es trasferido al agua de suministro de desaireador y el proceso MED a través de los intercambiadores 90 y 180, y el primer evaporador 51. Dado que el primer evaporador 51 está designado con una función similar a la del ejemplo 1 y formar parte del coste del MED, no añade ningún coste de equipo al enfriamiento de reformato. El coste de equipo para el enfriamiento de reformato en el ejemplo 2, por tanto, se puede indicar por el total UA de los intercambiadores de calor 90 y 180, que es de 856,022 J/K-s, que es similar al UA total en el ejemplo 1.

No hay expulsión de calor en el lado del proceso de refracción en el ejemplo 2. La función de agua de enfriamiento para el condensador 134 en el proceso MED es 12,5 MW, que es mucho menor que la función de agua de enfriamiento combinada en el ejemplo 1 (23,5 + 8 = 31,5). Esta función de agua de enfriamiento menor es debida al hecho de que el proceso en el ejemplo 2 no utiliza una fuente de calor dedicada, y por tanto, no necesita expulsar los 8 MW de calor de la fuente de calor, y porque 11 MW del calor en el reformato son expulsados al ambiente cuando el agua de expulsión de baja calidad deja el proceso MED a 67,2° C. En resumen, para enfriar el reformato desde la temperatura entrante a la temperatura final requerida, el coste del equipo en el ejemplo 2 es similar al ejemplo 1 y el coste de funcionamiento asociado con el agua de enfriamiento en el ejemplo 2 es el 40 % del ejemplo 1.

El coste para producir el agua de reposición mediante el proceso MED integrado es también mucho menor que el del Ejemplo 1 principalmente debido a 1) en proceso integrado no necesita la fuente de calor de 8 MW, y 2) ahorra en el coste asociado con la configuración de precalentador de caja de destellos. Otros costes del proceso MED se asumen que son similares en los dos ejemplos.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para producir gas de producto que contiene H<sub>2</sub> y para producir agua purificada a partir de una corriente de agua sin tratar que contiene contaminantes, comprendiendo el proceso:

- (a) extraer un reformato a partir de un reformador;
- (b) calentar al menos una parte de la corriente de agua sin tratar mediante transferencia de calor indirecta con el reformato, con lo que se enfría el reformato, y con lo que se evapora una parte de la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar en un primer evaporador de una pluralidad de evaporadores de un sistema de purificación de agua térmico para formar una primera corriente de vapor y una primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes, extraer la primera corriente de vapor del primer evaporador, y extraer la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes del primer evaporador, teniendo la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes una concentración más elevada de contaminantes que la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar introducida en el primer evaporador;
- (c) calentar la corriente de agua sin tratar mediante transferencia de calor indirecta con el reformato después de que el reformato ya haya sido enfriado en la etapa (b), con lo que se enfría más el reformato hasta una temperatura comprendida entre 20° C y 60° C, en donde la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar es calentada en la etapa (c) antes de ser calentada en la etapa (b);
- (d) introducir la primera corriente de vapor en un segundo evaporador de la pluralidad de evaporadores del sistema de purificación de agua térmico, calentar una de la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes procedente del primer evaporador o una segunda parte de la corriente de agua sin tratar mediante transferencia de calor indirecta con la primera corriente de vapor para formar una segunda corriente de vapor mediante evaporación de una parte de o bien la una de la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes o bien la segunda parte de la corriente de agua sin tratar, con lo que se enfría la primera corriente de vapor y se forma una primera corriente de condensato a partir de la primera corriente de vapor, extraer la segunda corriente de vapor del segundo evaporador, extraer la primera corriente de condensato del segundo evaporador, en donde el agua purificada comprende la primera corriente de condensato, y extraer una segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes del segundo evaporador, teniendo la segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes una concentración mayor de contaminantes que la una de o bien la primera corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes extraída del primer evaporador y bien la segunda parte de la corriente de agua sin tratar;
- y
- (e) formar el gas producto que contiene H<sub>2</sub> a partir del reformato después de enfriar el reformato en la etapa (c).

2. El proceso de la reivindicación 1, en el que el calentamiento de al menos una parte de la corriente de agua sin tratar mediante transferencia de calor indirecta con el reformato en la etapa (b) comprende:

- calentar un fluido de trabajo mediante transferencia de calor indirecta con el reformato para formar un fluido de trabajo calentado,
- y
- calentar la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar mediante transferencia de calor indirecta con el fluido de trabajo calentado en el evaporador.

3. El proceso de la reivindicación 1, en el que el calentamiento de al menos una parte de la corriente de agua sin tratar mediante transferencia de calor indirecta con el reformato en la etapa (b) comprende:

- calentar el agua de fluido de trabajo mediante transferencia de calor indirecta con el reformato en donde el agua de fluido de trabajo es evaporada para formar vapor de fluido de trabajo que tiene una presión comprendida entre 15,2 kPa y 304 kPa (absoluta) cuando es calentado por el reformato, y
- calentar la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar mediante transferencia de calor indirecta con el vapor de fluido de trabajo en el evaporador, en donde el vapor de fluido de trabajo es condensado cuando se calienta la al menos una parte de la corriente de vapor sin tratar.

4. El proceso de la reivindicación 1, en el que la etapa (b) no incluye el calentamiento de un fluido de trabajo intermedio.

5. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además:

- (f) calentar la primera corriente de agua mediante transferencia de calor indirecta con el reformato, con lo que se enfría el reformato, en donde la primera corriente de agua comprende al menos una parte del agua purificada;

en el que el reformato es enfriado en la etapa (f) antes de ser enfriado en la etapa (b), o el reformato es enfriado en la etapa (b) antes de ser enfriado en la etapa (f).

6. El proceso de la reivindicación 5, que comprende además pasar la primera corriente de agua a un desaireador después de calentar la primera corriente de agua en la etapa (f).
- 5 7. El proceso de la reivindicación 5, que comprende además:  
hacer pasar la primera corriente de agua a un tambor de vapor después de calentar la primera corriente de agua en la etapa (f) sin pasar la primera corriente de agua al desaireador.
- 10 8. El proceso de la reivindicación 5, que comprende además:  
hacer pasar la primera corriente de agua a la al menos una unidad de intercambio de iones y una unidad de electrodesionización antes de calentar la primera corriente de agua en el etapa (f); y  
15 hacer pasar la primera corriente de agua a un tambor de vapor después de calentar la primera corriente de agua en la etapa (f) sin hacer pasar la primera corriente de agua a un desaireador.
9. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de formar el gas de producto que contiene H<sub>2</sub> a partir del reformato comprende:  
20 hacer pasar el reformato después de enfriar en la etapa (c) a un tambor de separación, separar el reformato en vapor de condensato y un reformato rebajado en agua; y  
introducir al menos una parte del reformato rebajado en agua en un separador y separar la al menos una parte del reformato rebajado en agua en el separador para producir el gas de producto que contiene H<sub>2</sub> y un gas subproducto.  
25
10. El proceso de la reivindicación 9, en el que el separador es un absorbedor de oscilación de presión.
11. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el agua sin tratar comprende al menos una de agua salda, agua de río, agua de escorrentía, agua de lago, agua reciclada municipal, agua reciclada industrial, agua subterránea, y condensato de proceso a partir de un proceso de reformación de metano vapor.  
30
12. Un sistema para producir un gas que contiene H<sub>2</sub> y para producir agua purificada a partir de una corriente de agua sin tratar que contiene contaminantes, comprendiendo el sistema:  
35 un reformador que tiene una salida para extraer un reformato;  
un sistema de purificación de agua térmico que comprende una pluralidad de evaporadores, comprendiendo la pluralidad de evaporadores:  
40 un primer evaporador configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre al menos una parte de la corriente de agua sin tratar y uno de o bien el reformato o bien el vapor en donde el vapor está formado a partir de agua mediante intercambio de calor indirecto con el reformato en un primer intercambiador de calor, estando el primer evaporador operativamente dispuesto para recibir uno del reformato procedente del reformador o el vapor procedente del primer intercambiador, estando el primer evaporador operativamente dispuesto para recibir la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar, teniendo el primer evaporador una primera salida para la extracción de una corriente de vapor formada a partir de la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar y una segunda salida para extraer una corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes formada a partir de la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar,  
45 y  
un segundo evaporador configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre la corriente de vapor y una de o bien la corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes o bien una segunda parte de la corriente de agua sin tratar, estando el segundo evaporador operativamente dispuesto para recibir la una de o bien la corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes o bien la segunda parte de la corriente de agua sin tratar, estando el segundo evaporador operativamente dispuesto para recibir la corriente de vapor procedente del primer evaporador teniendo una primera salida para extraer una corriente de vapor formada a partir de una de o bien el agua sin tratar enriquecida en contaminantes o bien la segunda parte de la corriente de agua, una segunda salida para la extracción de una corriente de condensato formada a partir de la corriente de vapor, y una tercera salida para la extracción de una segunda corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes formada a partir de una de o bien la corriente de agua sin tratar enriquecida en contaminantes o bien la segunda parte de la corriente de agua sin tratar, en donde la corriente de agua purificada comprende la corriente de condensato;  
50  
55 un segundo intercambiador de calor configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre el reformato y la corriente de agua sin tratar, estando el segundo intercambiador de calor operativamente  
60  
65

- 5 dispuesto para recibir el reformato procedente de uno del primer evaporador y el primer intercambiador de calor, en donde en primer evaporador está operativamente dispuesto para recibir la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar procedente del segundo intercambiador de calor;
- 5 un tambor de separación dispuesto operativamente para recibir el reformato procedente del segundo intercambiador de calor, teniendo del tambor de separación una primera salida para extraer un reformato rebajado con agua y una segunda salida para extraer agua; y
- un separador operativamente dispuesto para recibir el reformato rebajado con agua procedente del tambor de separación, el separador para producir el gas que contiene H<sub>2</sub> procedente del reformato rebajado con agua.
- 10 13. El sistema de la reivindicación 12, en el que el primer evaporador está configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar y el reformato, en donde el primer evaporador está operativamente dispuesto para recibir el reformato procedente del reformador, y en el que el segundo intercambiador de calor está operativamente dispuesto para recibir el reformato procedente del primer evaporador.
- 15 14. El sistema de la reivindicación 12, en el que el primer evaporador está configurado para proporcionar intercambio de calor indirecto entre la al menos una parte de la corriente de agua sin tratar y el vapor, en donde el vapor está formado a partir de agua mediante intercambio de calor indirecto con el reformato en el primer intercambiador de calor, el primer evaporador está operativamente dispuesto para recibir el vapor procedente del
- 20 primer intercambiador de calor, y en donde el segundo intercambiador de calor está operativamente dispuesto para recibir el reformato procedente del primer intercambiador de calor.
- 25 15. El sistema de la reivindicación 12, en el que el separador es un absorbedor de oscilación de presión, y el reformador es un reformador de vapor-hidrocarburo catalítico.

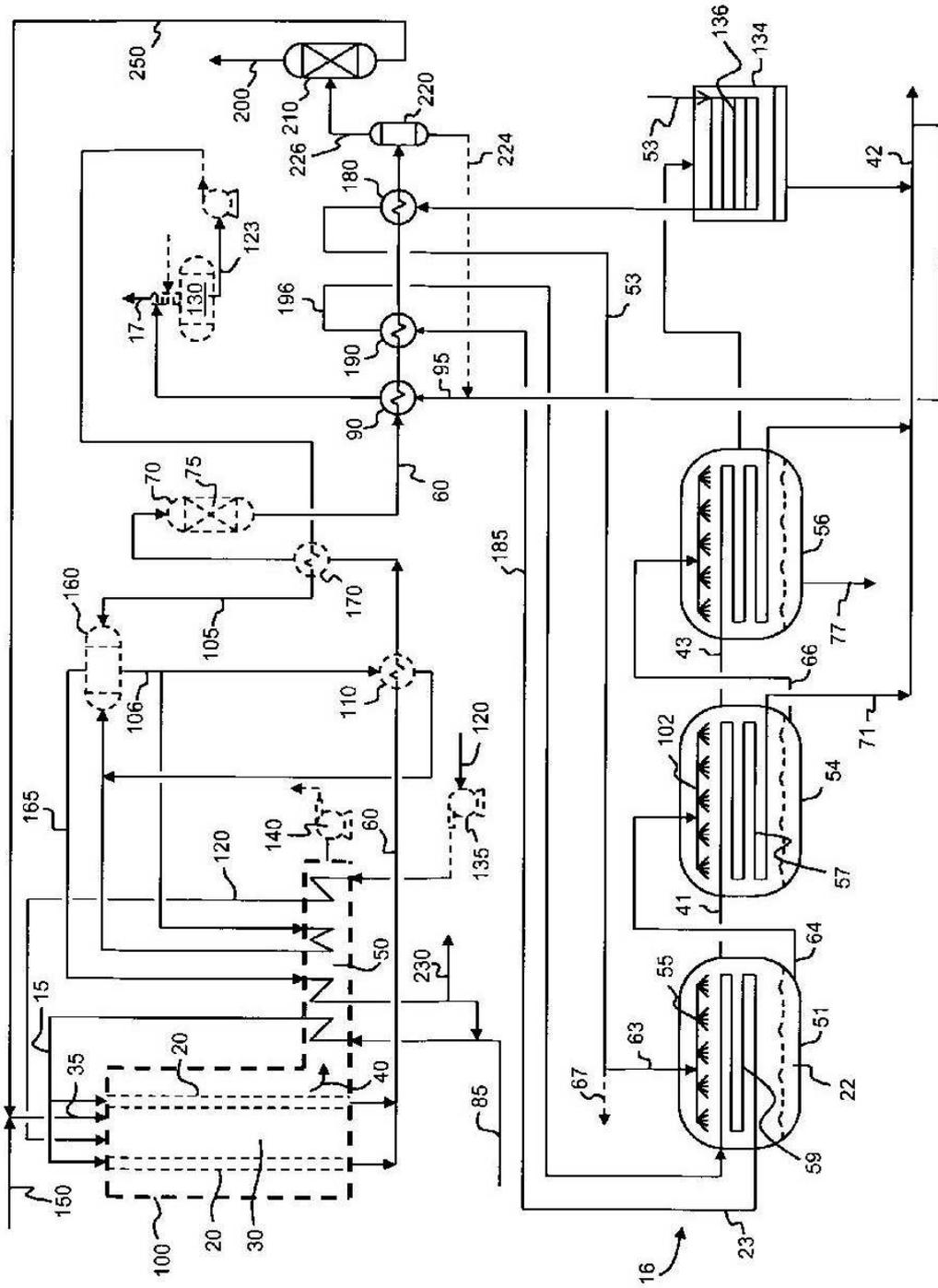


FIG. 1



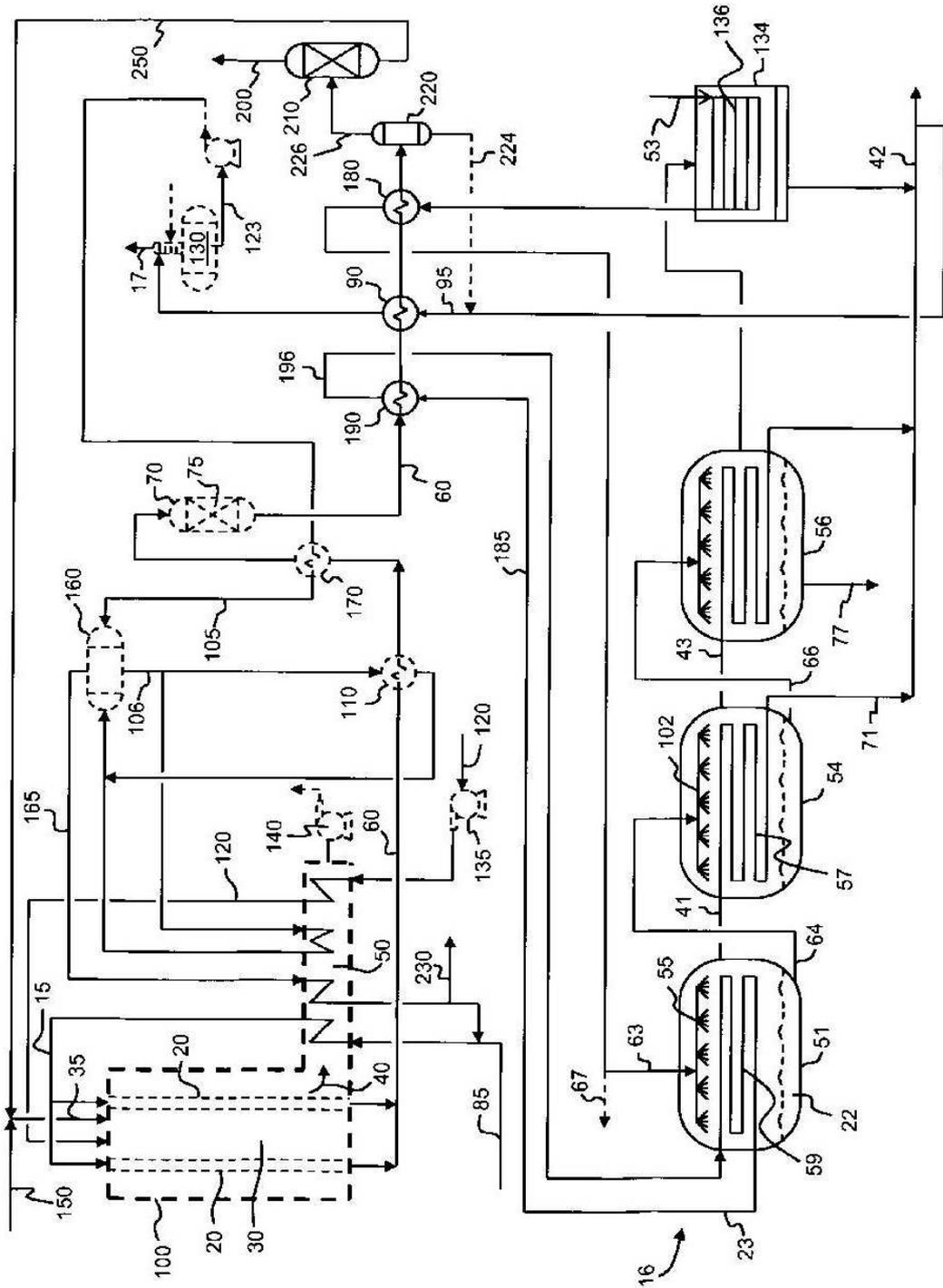


FIG. 3

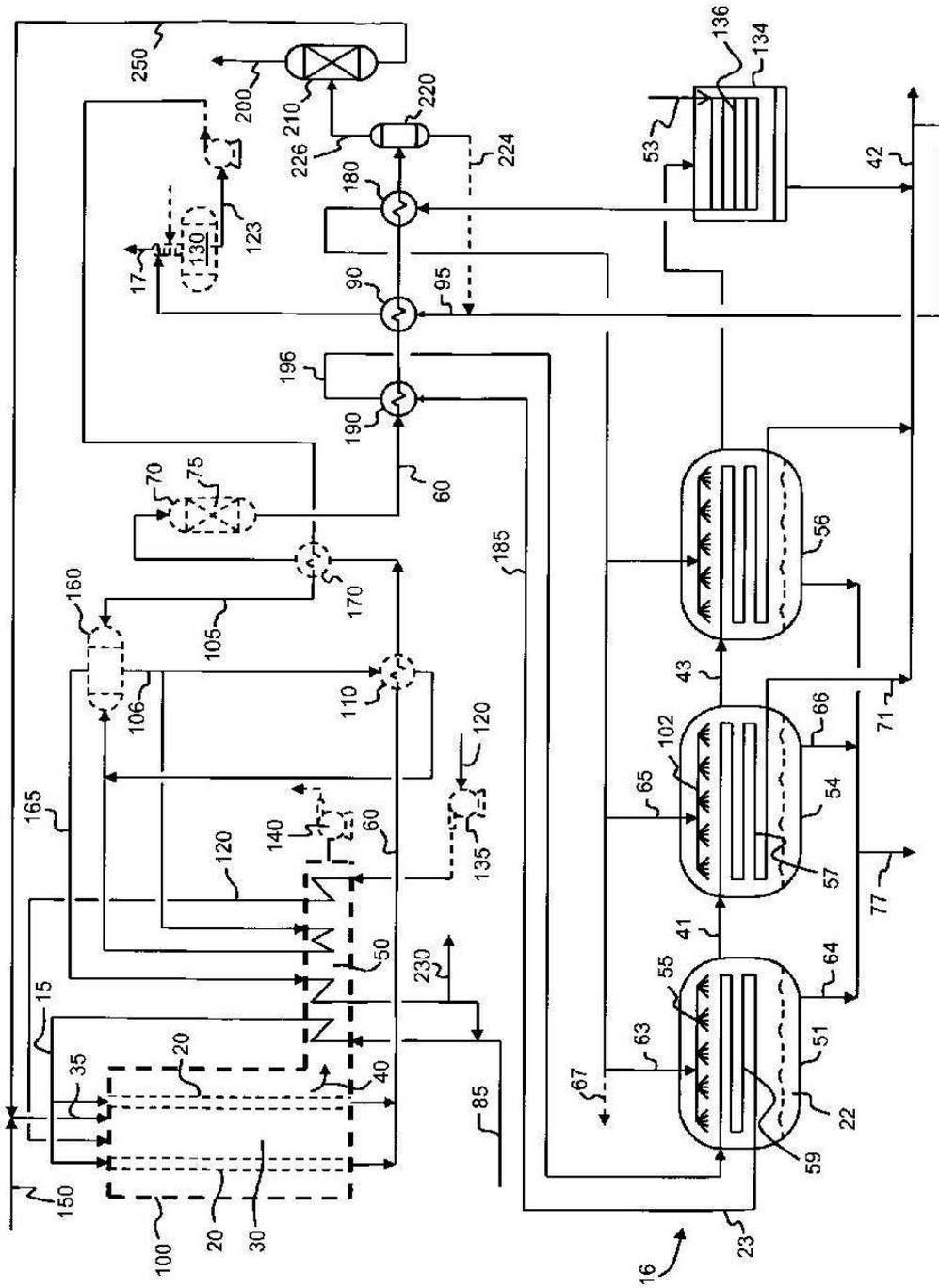


FIG. 4

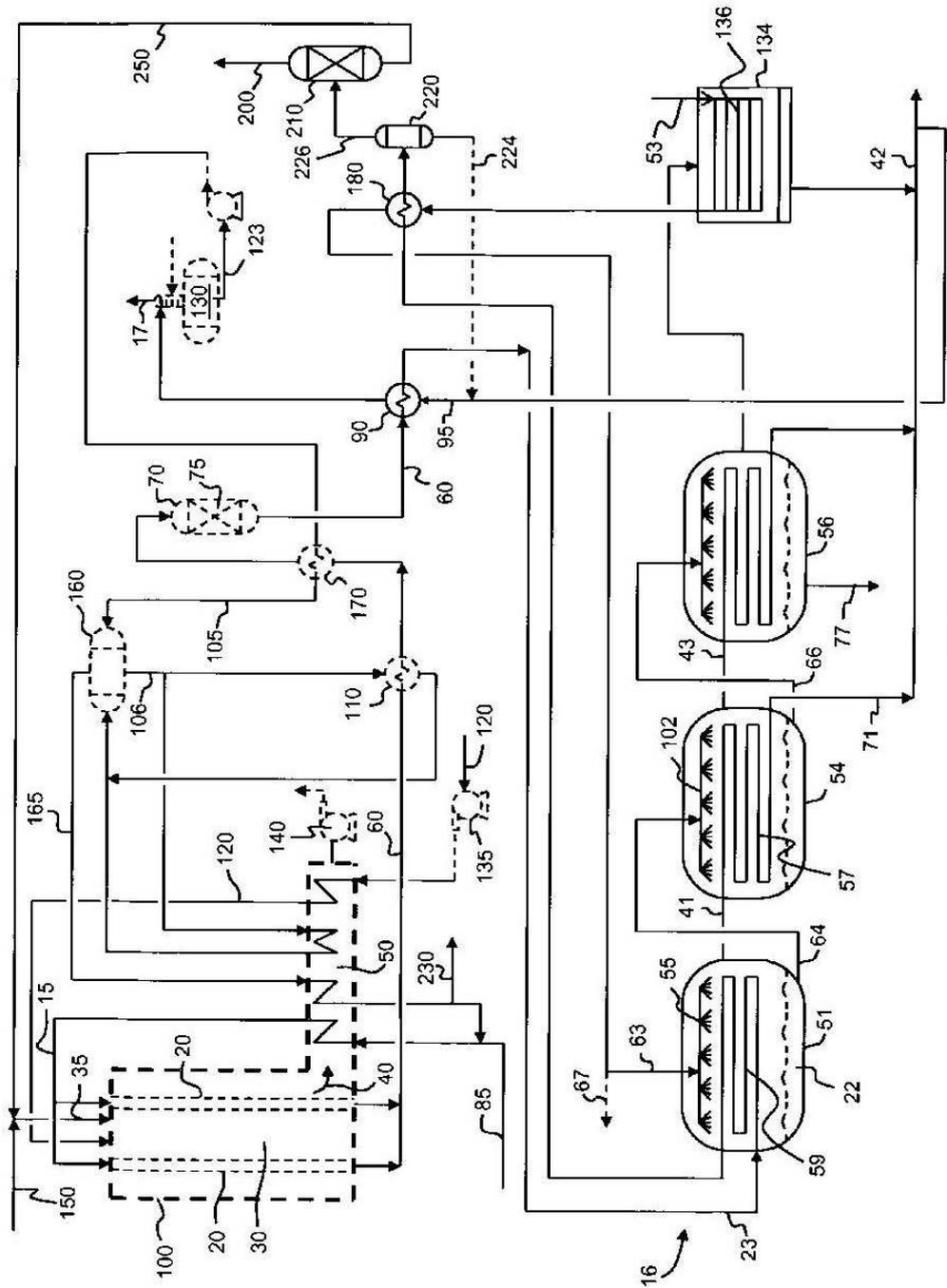


FIG. 5

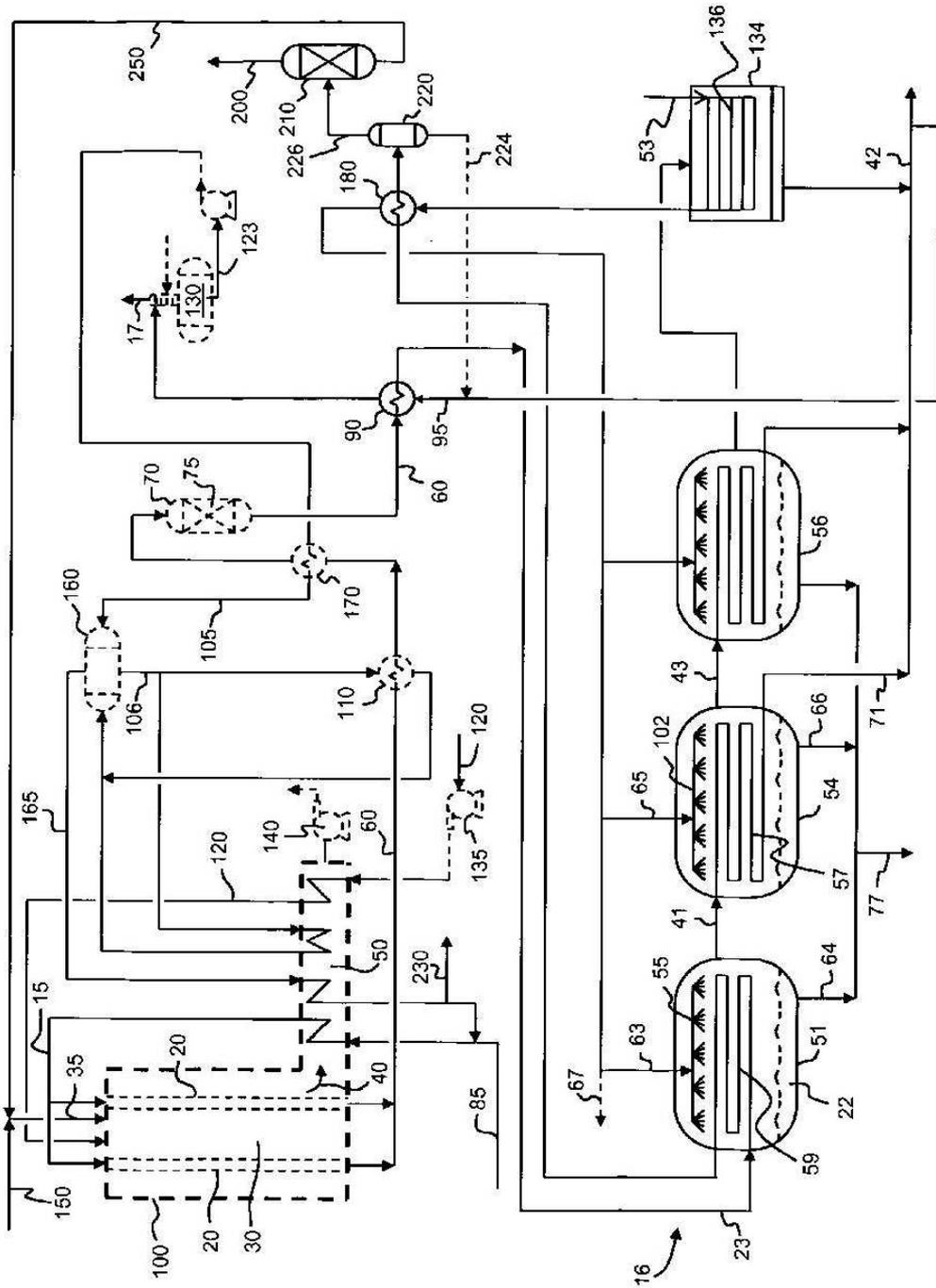


FIG. 6

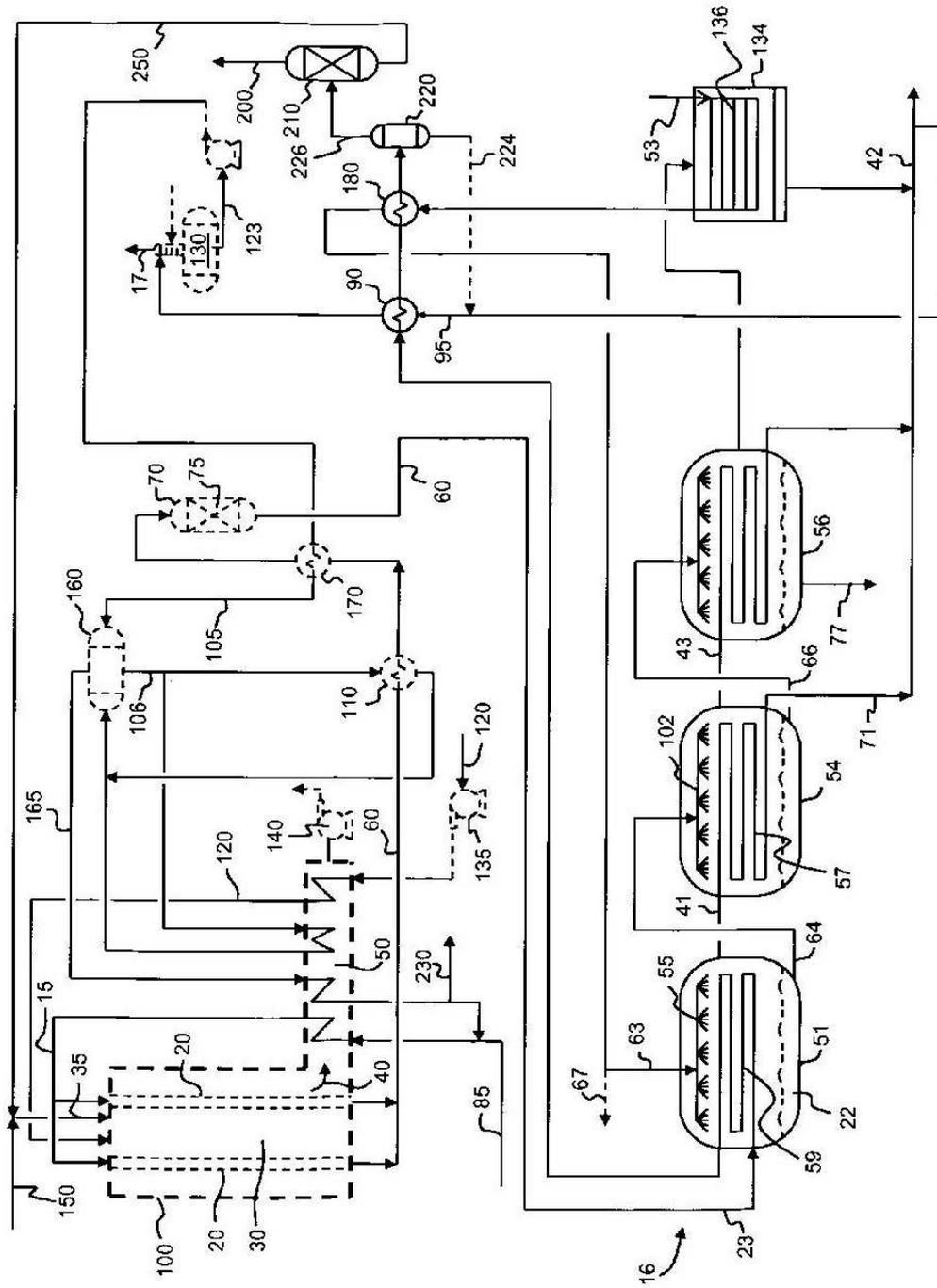


FIG. 7

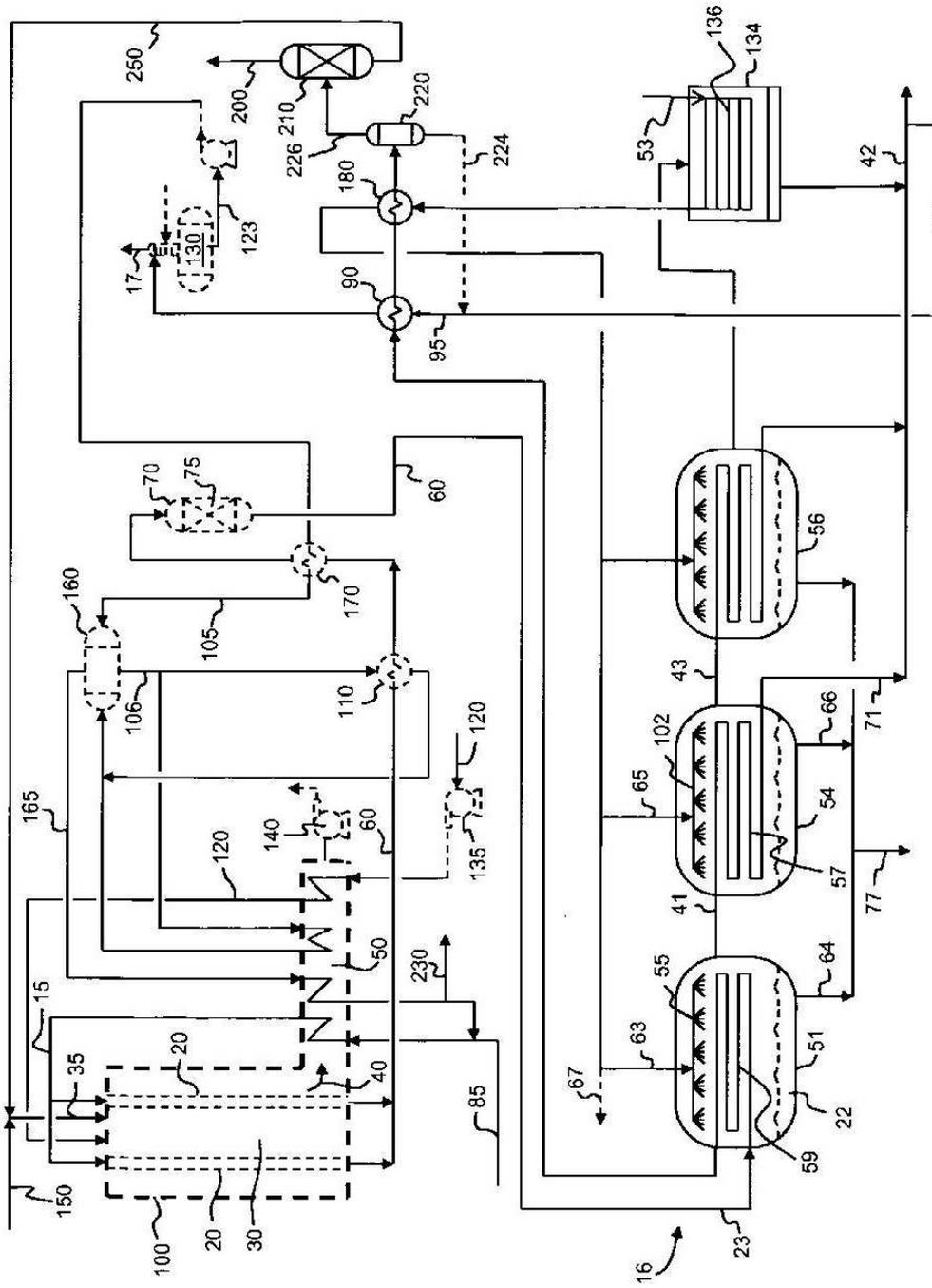


FIG. 8

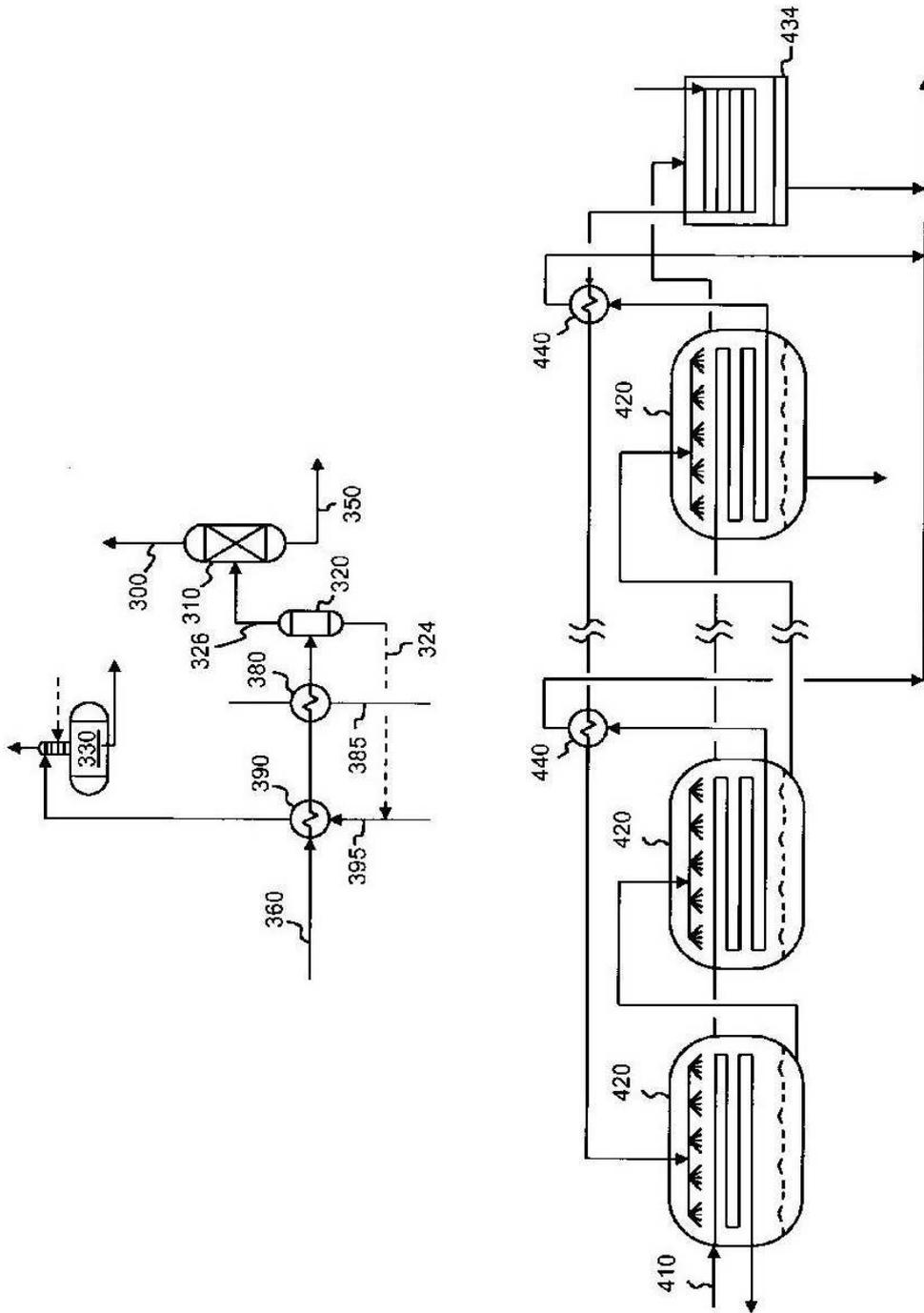


FIG. 9 Caso Comparativo