



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11) Número de publicación: 2 749 858

51 Int. Cl.:

C01B 3/48 (2006.01) C01B 3/56 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: 15.05.2015 E 15167884 (4)
 (97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: 25.09.2019 EP 3093268

54 Título: Proceso para producir hidrógeno

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente: **24.03.2020**

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

PENG, XIANG-DONG y XU, JIANGUO

(74) Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

DESCRIPCIÓN

Proceso para producir hidrógeno

La producción de hidrógeno mediante reformado catalítico de hidrocarburos con vapor es un proceso intensivo en energía. Para mejorar la eficiencia energética del proceso, el reformado formado en el reformador catalítico de hidrocarburos con vapor se pasa a través de una serie de intercambiadores de calor para recuperar el calor. El reformado puede utilizarse para calentar una variedad de corrientes, por ejemplo, el agua de alimentación de la caldera, la materia prima de hidrocarburos, el aire que va al horno de reformado y el combustible que va al horno de reformado.

En procesos para producir un gas producto de hidrógeno, como se conoce a partir de los documentos WO 2012/078299 y EP 2 865 638 A1, un reformado extraído de un reactor de conversión se enfría contra un condensado de agua y se calienta secuencialmente el agua de alimentación de la caldera.

Dado que el punto crítico global en la red de intercambio de calor de un proceso de reformado catalítico de hidrocarburos con vapor es el punto de rocío del reformado, el uso de intercambiadores de calor en serie causa una restricción para recuperar eficazmente el calor del reformado y puede aumentar el coste del equipo debido al tamaño requerido de los intercambiadores de calor.

20 La industria desea producir hidrógeno con eficiencia energética mejorada.

Como se resume más abajo, hay varios aspectos de la invención. A continuación, se resumen los aspectos específicos de la invención. Los números de referencia y las expresiones entre paréntesis se refieren a una realización de ejemplo explicada más adelante con referencia a las figuras. Sin embargo, los números de referencia y las expresiones son solo ilustrativos y no limitan el aspecto a ningún componente o característica específico de la realización de ejemplo.

Aspecto 1. Un proceso para producir un gas producto (105) de hidrógeno, comprendiendo el proceso:

- 0 (a) extraer un reformado (25) de un reactor de conversión (60);
 - (b) calentar un condensado de agua (97) mediante transferencia indirecta de calor con el reformado del reactor de conversión o con una primera porción dividida del mismo, al calentarse mediante el reformado o mediante la primera porción dividida, el condensado de agua (97) se calienta desde una temperatura inferior, $T_{WC, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{WC, superior}$, y el reformado o la primera porción dividida se enfría desde una temperatura superior, $T_{1, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{1, inferior}$, al calentar el condensado de agua (97);
 - (c) calentar el agua de alimentación (86) de la caldera mediante transferencia indirecta de calor con el reformado del reactor de conversión o con una segunda porción dividida del mismo, al calentarse mediante el reformado o mediante la segunda porción dividida, el agua de alimentación (86) de la caldera se calienta desde una temperatura inferior, $T_{BFW, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{BFW, superior}$, y el reformado o la segunda porción dividida se enfría desde una temperatura superior, $T_{2, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{2, inferior}$, al calentar el agua de alimentación (86) de la caldera; donde

T_{WC, inferior}, T_{BFW, inferior}, T_{1, inferior} y T_{2, inferior}, son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y

T_{WC, superior}, T_{BFW, superior}, T_{1, superior} y T_{2, superior}, son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60);

- (d) enfriar una mezcla que comprende al menos una porción del reformado cuando el reformado calienta el condensado de agua y el agua de alimentación de la caldera o que comprende al menos una porción de la primera porción dividida y al menos una porción de la segunda porción dividida cuando la primera la porción dividida calienta el condensado de agua y la segunda porción dividida calienta el agua de alimentación de la caldera, la mezcla se enfría en una cantidad efectiva para condensar al menos una porción del agua de la mezcla para formar agua condensada y un gas reformado pobre en agua;
- (e) separar el agua condensada del gas reformado pobre en agua (formado en la etapa (d)) en un separador (90) formando así el condensado de agua (97) a partir de al menos una porción del agua condensada;
- (f) pasar el condensado de agua (97) desde el separador (90) a una primera sección de intercambio de calor (56) para la etapa de calentar el condensado de agua mediante transferencia indirecta de calor con el reformado o con la primera porción dividida, y pasar al menos una porción del condensado de agua (97) desde la primera sección de intercambio de calor (56) a un tambor de vapor (120), (donde el condensado de

2

15

30

25

40

35

45

50

55

60

agua (97) se hace pasar del separador (90) a la primera sección de intercambio de calor (56) antes de pasa
de la primera sección de intercambio de calor (56) al tambor de vapor (120)); y

- (g) separar una alimentación (95) de unidad de adsorción por oscilación de presión que comprende al menos una porción del gas reformado pobre en agua en una unidad de adsorción (100) por oscilación de presión para formar el gas producto (105) de hidrógeno y un gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión.
- Aspecto 2. El proceso del aspecto 1 donde el condensado de agua (97) se calienta mediante la primera porción dividida en la primera sección de intercambio de calor (56) y el agua de alimentación de la caldera se calienta mediante la segunda porción dividida en una segunda sección de intercambio de calor (58).
 - Aspecto 3. El proceso del aspecto 1 o del aspecto 2, comprendiendo además el proceso:

5

35

40

45

50

55

- pasar el reformado desde el reactor de conversión (60) a un intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima para calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) en el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima y extraer el reformado del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima;
- donde si el reformado del reactor de conversión calienta el condensado de agua en la etapa (b) y el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c), el reformado del reactor de conversión que calienta el condensado de agua en la etapa (b) y el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c) es el reformado extraído del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima; y
- donde si la primera porción dividida del reformado del reactor de conversión calienta el condensado de agua en la etapa (b) y la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión calienta el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c), la primera porción dividida del reformado del reactor de conversión es una primera porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima y la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión es una segunda porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima.
 - Aspecto 4. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 3 donde el condensado de agua se calienta mediante la primera porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), comprendiendo además el proceso:
 - calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con la primera porción dividida, al calentarse mediante la primera porción dividida, la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta desde una temperatura inferior, $T_{HF, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{HF, superior}$; donde
 - THF, inferior es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y
 - T_{HF, superior} es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60).
 - Aspecto 5. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 3 donde el agua de alimentación de la caldera se calienta mediante la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), comprendiendo además el proceso:
 - calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), al calentarse mediante la segunda porción dividida, la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta desde una temperatura inferior, $T_{HF, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{HF, superior}$, donde
 - $T_{HF, inferior}$ es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y
 - *T_{HF, superior}*, es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60).
- Aspecto 6. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 3, comprendiendo además el proceso:
 - (h) calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con el reformado del reactor de conversión (60) o con una porción dividida del reformado (25), al calentarse mediante el reformado o mediante la porción dividida, la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta desde una temperatura inferior, $T_{HF, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{HF, superior}$, y el reformado o la porción dividida se enfría desde una temperatura superior, $T_{3, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{3, inferior}$,

al calentar la materia prima (75) de hidrocarburos; donde

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

T_{HF, inferior} y T_{3, inferior} son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y

T_{HF}, superior y T₃, superior son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y

donde la mezcla comprende al menos una porción del reformado cuando el reformado también calienta la materia prima de hidrocarburos o donde la mezcla además comprende al menos una porción de la porción dividida del reformado (25) que calienta la materia prima de hidrocarburos cuando la porción dividida calienta la materia prima de hidrocarburos.

Aspecto 7. El proceso del aspecto 6 donde la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta mediante la porción dividida en una tercera sección de intercambio de calor (57).

Aspecto 8. El proceso del aspecto 6 o del aspecto 7, comprendiendo además el proceso:

pasar el reformado desde el reactor de conversión (60) a un intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima para calentar la materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) en el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima y extraer el reformado del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima;

donde si el reformado del reactor de conversión calienta el condensado de agua en la etapa (b), el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c) y la materia prima (75) de hidrocarburos en la etapa (h), el reformado del reactor de conversión que calienta el condensado de agua en la etapa (b), el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c) y la materia prima de hidrocarburos en la etapa (h) es el reformado extraído del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima;

donde si la primera porción dividida del reformado del reactor de conversión calienta el condensado de agua en la etapa (b), y la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión calienta el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c), y la porción dividida del reformado del reactor de conversión calienta la materia prima de hidrocarburos en la etapa (h), la primera porción dividida del reformado del reactor de conversión es una primera porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima , y la segunda porción dividida es una segunda porción dividida es una porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima, y la porción dividida es una porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima; y

donde la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta en la etapa (h) antes de calentarse en el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima.

Aspecto 9. El proceso de uno cualquiera de los aspectos anteriores, comprendiendo además el proceso: calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión mediante transferencia indirecta de calor con una porción dividida del reformado (25) del reactor de conversión (60) para calentar el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión, al calentarse mediante la porción dividida para calentar el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión, el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión se calienta desde una temperatura inferior, $T_{PSA, superior}$, y la porción dividida para calentar el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión se enfría desde una temperatura superior, $T_{4, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{4, inferior}$, al calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión; donde

 $T_{PSA, inferior}$ y $T_{4, inferior}$ son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y

 $T_{PSA, superior}$ y $T_{4, superior}$ son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60);

donde la mezcla comprende además al menos una porción de la porción dividida del reformado que calienta el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión.

Aspecto 10. El proceso del aspecto 9 donde el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión se calienta mediante la porción dividida que calienta el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión en una cuarta sección de intercambio de calor (59).

65 Aspecto 11. El proceso del aspecto 9 o del aspecto 10, comprendiendo además el proceso:

5

10

15

30

35

40

45

50

55

60

65

pasar el reformado (25) desde el reactor de conversión (60) a un intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima, preferentemente el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima del aspecto 3 o del aspecto 8, para calentar la materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) en el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima y extraer el reformado del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima; y

donde la porción dividida del reformado que calienta el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión es una porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima que calienta el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión.

Aspecto 12. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 11 donde la etapa (f) comprende pasar el condensado de agua (97) desde el separador (90) a un desaireador (111), desde el desaireador (111) a la primera sección de intercambio de calor (56), y desde la primera sección de intercambio de calor (56) hasta el tambor de vapor (120), comprendiendo además el proceso: pasar el agua de alimentación (86) de la caldera después de calentarla en la etapa (c) a un segundo tambor de vapor (121).

Aspecto 13. El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 11 donde la etapa (f) comprende pasar el condensado de agua (97) desde la primera sección de intercambio de calor (56) a un eliminador de vapor (55), y desde el eliminador de vapor (55) al tambor de vapor (120), comprendiendo además el proceso: pasar el agua de alimentación (86) de la caldera después de calentarla en la etapa (c) al tambor de vapor (120).

Aspecto 14. El proceso de uno cualquiera de los aspectos anteriores donde el reformado del reactor de conversión (60) se divide en la primera porción dividida y en la segunda porción dividida y, opcionalmente, en una o más porciones divididas adicionales del reactor de conversión (60), teniendo la primera porción dividida un caudal, teniendo la segunda porción dividida un caudal, y, si está(n) presente(s), teniendo la una o más porciones divididas adicionales cada una un caudal respectivo;

el condensado de agua (97) se calienta mediante la primera porción dividida en la etapa (b) y el agua de alimentación (86) de la caldera se calienta mediante la segunda porción dividida en la etapa (c); y donde el caudal de la primera porción dividida del reactor de conversión (60) y el caudal de la segunda porción dividida del reactor de conversión (60) y, opcionalmente, los caudales de la una o más porciones divididas adicionales se controlan de manera que $T_{WC, superior}$ y $T_{BFW, superior}$ son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) y $T_{1, inferior}$ y $T_{2, inferior}$ son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60).

Aspecto 15. El proceso del aspecto anterior donde la una o más porciones divididas adicionales del reactor de conversión (60) incluye(n) una porción dividida para calentar una materia prima (75) de hidrocarburos y/o una porción dividida para calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión, comprendiendo además el proceso las siguientes etapas (k) y/o las siguientes etapas (I):

(k) calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con la porción dividida para calentar una materia prima (75) de hidrocarburos, al calentarse mediante la porción dividida para calentar una materia prima (75) de hidrocarburos, la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta desde una temperatura inferior, $T_{HF, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{HF, superior}$, y la porción dividida para calentar una materia prima (75) de hidrocarburos se enfría desde una temperatura superior, $T_{3, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{3, inferior}$, al calentar la materia prima (75) de hidrocarburos, donde $T_{HF, inferior}$ y $T_{3, inferior}$ son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reformado (25) extraído del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60),

donde los caudales de la una o más porciones divididas adicionales del reactor de conversión (60) se controlan de manera que $T_{HF, superior}$ es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) y $T_{3, inferior}$ es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60);

(I) calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión mediante transferencia indirecta de calor con la porción dividida para calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión, al calentarse mediante la porción dividida para calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión se calienta desde una temperatura inferior, $T_{PSA, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{PSA, superior}$, y la porción dividida para calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión se enfría desde una temperatura superior, $T_{4, inferior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{4, inferior}$, al calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión, donde $T_{PSA, inferior}$ y $T_{4, inferior}$ son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) y $T_{PSA, superior}$ y $T_{4, superior}$ son mayores que la temperatura del punto de

rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60),

donde los caudales de la una o más porciones divididas adicionales del reactor de conversión (60) se controlan de manera que T_{PSA, superior} es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) y T_{4, inferior} es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60).

Aspecto 16. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 3, 6, 8 y 9 donde

el reformado del reactor de conversión (60) se transporta a través de un intercambiador de calor común que contiene una primera estructura de intercambio de calor como la primera sección de intercambio de calor (56) y una segunda estructura de intercambio de calor como una segunda sección de intercambio de calor (58) separada de la primera sección de intercambio de calor (56), extendiéndose la primera estructura de intercambio de calor y la segunda estructura de intercambio de calor cada una a través del reformado del reactor de conversión (60) en el intercambiador de calor común:

el condensado de agua (97) se transporta a través del intercambiador de calor común en la primera estructura de intercambio de calor; y

el agua de alimentación (86) de la caldera se transporta a través del intercambiador de calor común en la segunda estructura de intercambio de calor;

el aqua de alimentación (86) de la caldera y el condensado de aqua (97) se calientan en un intercambio de calor indirecto paralelo con el reformado en el intercambiador de calor común;

y donde, opcionalmente, una materia prima (75) de hidrocarburos y, opcionalmente, el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión se transportan cada uno en una estructura de intercambio de calor separada respectiva que se extiende a través del reformado desde el reactor de conversión (60) en el intercambiador de calor común, por lo que se calientan en intercambio de calor indirecto con el reformado en el intercambiador de calor común en paralelo con el agua de alimentación (86) de la caldera y el condensado de agua (97).

Aspecto 17. Un proceso para producir un gas producto (105) de hidrógeno, comprendiendo el proceso:

30 extraer un reformado (25) de un reactor de conversión (60);

> calentar un condensado de agua (97) mediante transferencia indirecta de calor con una primera porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), al calentarse mediante la primera porción dividida, el condensado de aqua (97) se calienta desde una temperatura inferior, Twc. inferior, hasta una temperatura superior, T_{WC, superior}, y la primera porción dividida se enfría desde una temperatura superior, T_{1, superior}, hasta una temperatura inferior, T_{1, inferior}, al calentar el condensado de agua (97);

> calentar el agua de alimentación (86) de la caldera mediante transferencia indirecta de calor con una segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), al calentarse mediante la segunda porción dividida, el aqua de alimentación (86) de la caldera se calienta desde una temperatura inferior, T_{BFW, inferior}, hasta una temperatura superior, T_{BFW, superior}, y la segunda porción dividida se enfría desde una temperatura superior, $T_{2, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{2, inferior}$, al calentar el agua de alimentación (86) de la caldera;

calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con una tercera porción dividida del reformado (25) del reactor de conversión (60), al calentarse mediante la tercera porción dividida, la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta desde una temperatura inferior, T_{HF, inferior}, hasta una temperatura superior, T_{HF, superior}, y la tercera porción dividida se enfría desde una temperatura superior, $T_{3. \, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{3. \, inferior}$, al calentar la materia prima (75) de hidrocarburos; donde

 $T_{WC, inferior}$, $T_{BFW, inferior}$, $T_{HF, inferior}$, $T_{1, inferior}$, $T_{2, inferior}$ y $T_{3, inferior}$, son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado extraído del reactor de conversión; y

Twc, superior, TBFW, superior, THF, superior, T1, superior, T2, superior y T3, superior son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado extraído del reactor de conversión;

enfriar una mezcla que comprende al menos una porción de la primera porción dividida, al menos una porción de la segunda porción dividida y al menos una porción de la tercera porción dividida, la mezcla se enfría en una cantidad efectiva para condensar al menos una porción del agua de la mezcla para formar agua condensada y un gas reformado pobre en agua;

separar el agua condensada del gas reformado pobre en agua en un separador (90) formando así el condensado de agua (97) a partir de al menos una porción del agua condensada;

pasar el condensado de agua (97) desde el separador (90) a una primera sección de intercambio de

6

40

35

5

10

15

20

25

45

50

55

60

calor (56) para la etapa de calentar el condensado de agua mediante transferencia indirecta de calor con la primera porción dividida, y pasar al menos una porción del condensado de agua (97) desde la primera sección de intercambio de calor (56) a un tambor de vapor (120), donde el condensado de agua (97) pasa del separador (90) a la primera sección de intercambio de calor (56) antes de pasar de la primera sección de intercambio de calor (56) al tambor de vapor (120); y

separar una alimentación (95) de unidad de adsorción por oscilación de presión que comprende al menos una porción del gas reformado pobre en agua en una unidad de adsorción (100) por oscilación de presión para formar el gas producto (105) de hidrógeno y un gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión

Aspecto 18. El proceso del aspecto 17 que comprende además:

pasar el reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) a un intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima para calentar la materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) en el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima y extraer el reformado (25) del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima; y dividir el reformado del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima para formar la primera porción dividida del reformado (25) del reactor de conversión (60), la segunda porción dividida del reformado (25) del reactor de conversión (60).

Aspecto 19. Un proceso para producir un gas producto (105) de hidrógeno, comprendiendo el proceso:

extraer un reformado (25) de un reactor de conversión (60);

calentar un condensado de agua (97) mediante transferencia indirecta de calor con una primera porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), al calentarse mediante la primera porción dividida, el condensado de agua (97) se calienta desde una temperatura inferior, $T_{WC, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{WC, superior}$, y la primera porción dividida se enfría desde una temperatura superior, $T_{1, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{1, inferior}$, al calentar el condensado de agua (97);

calentar el agua de alimentación (86) de la caldera mediante transferencia indirecta de calor con una segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), al calentarse mediante la segunda porción dividida, el agua de alimentación (86) de la caldera se calienta desde una temperatura inferior, $T_{BFW, \ superior}$, y la segunda porción dividida se enfría desde una temperatura superior, $T_{2, \ superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{2, \ inferior}$, al calentar el agua de alimentación (86) de la caldera:

calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con una tercera porción dividida del reformado (25) del reactor de conversión (60), al calentarse mediante la tercera porción dividida, la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta desde una temperatura inferior, $T_{HF, Inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{HF, Superior}$, y la tercera porción dividida se enfría desde una temperatura superior, $T_{3, Superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{3, Superior}$, al calentar la materia prima (75) de hidrocarburos;

calentar un gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión mediante transferencia indirecta de calor con una cuarta porción dividida del reformado (25) del reactor de conversión (60), al calentarse mediante la cuarta porción dividida del reformado (25), el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión se calienta desde una temperatura inferior, $T_{PSA, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{PSA, superior}$, y la cuarta porción dividida se enfría desde una temperatura superior, $T_{4, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{4, inferior}$, al calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión; donde

T_{WC, inferior}, T_{BFW, inferior}, T_{HF, inferior}, T_{PSA, inferior}, T_{1, inferior}, T_{2, inferior}, T_{3, inferior}y T_{4, inferior} son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y

 $T_{WC, superior}$, $T_{BFW, superior}$, $T_{HF, superior}$, $T_{PSA, superior}$, $T_{1, superior}$, $T_{2, superior}$, $T_{3, superior}$ y $T_{4, superior}$ son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60);

enfriar una mezcla que comprende al menos una porción de la primera porción dividida, al menos una porción de la segunda porción dividida, al menos una porción de la tercera porción dividida y al menos una porción de la cuarta porción dividida, la mezcla se enfría en un cantidad efectiva para condensar al menos una porción del agua de la mezcla para formar agua condensada y un gas reformado pobre en agua;

separar el agua condensada del gas reformado pobre en agua en un separador (90) formando así el condensado de agua (97) a partir de al menos una porción del agua condensada;

7

10

5

20

15

30

25

35

40

50

45

55

60

pasar el condensado de agua (97) desde el separador (90) a una primera sección de intercambio de calor (56) para la etapa de calentar el condensado de agua mediante transferencia indirecta de calor con la primera porción dividida, y pasar al menos una porción del condensado de agua (97) desde la primera sección de intercambio de calor (56) a un tambor de vapor (120), donde el condensado de agua (97) se hace pasar del separador (90) a la primera sección de intercambio de calor (56) antes de pasar de la primera sección de intercambio de calor (56) al tambor de vapor (120); y

separar una alimentación (95) de unidad de adsorción por oscilación de presión que comprende al menos una porción del gas reformado pobre en agua en una unidad de adsorción (100) por oscilación de presión para formar el gas producto (105) de hidrógeno y el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión

Aspecto 20. El proceso del aspecto 19 que comprende además:

pasar el reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) a un intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima para calentar la materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) en el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima y extraer el reformado (25) del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima; y

dividir el reformado (25) del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima para formar la primera porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), la tercera porción dividida del reformado del reactor de conversión (60) y la cuarta porción dividida del reformado del reactor de conversión (60).

25 Breve descripción de varias vistas de los dibujos

5

10

35

40

45

50

60

La figura 1 es un diagrama de flujo de proceso de un proceso de reformado catalítico de hidrocarburos con vapor.

La figura 2 es un diagrama de flujo de proceso de un proceso de reformado catalítico de hidrocarburos con vapor donde se utilizan dos tambores de vapor separados.

La figura 3 es un diagrama de flujo de proceso de un proceso comparativo de reformado catalítico de hidrocarburos con vapor.

La figura 4 es un diagrama de flujo de proceso comparativo de reformado catalítico de hidrocarburos con vapor donde se utilizan dos tambores de vapor separados.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La siguiente descripción detallada proporciona solo realizaciones a modo de ejemplo preferidas, y no pretende limitar el alcance, la aplicabilidad o la configuración de la invención. Más bien, la siguiente descripción detallada de las realizaciones a modo de ejemplo preferidas proporcionará a los expertos en la materia una descripción que permita la implementación de las realizaciones a modo de ejemplo preferidas de la invención, entendiéndose que pueden realizarse diversos cambios en la función y disposición de los elementos sin apartarse del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones.

Los artículos "un" y "una" tal como se usan en el presente documento significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica en las realizaciones de la presente invención descritas en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones. El uso de "un" y "una" no limita el significado a una sola característica a menos que dicho límite se indique específicamente. El artículo "el/la" que precede a sustantivos singulares o plurales o a frases nominales denota una característica específica particular o características específicas particulares y puede tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se utiliza.

55 El adjetivo "cualquier(a)" significa uno, alguno o todos indiscriminadamente de cualquier cantidad.

El término "y/o" colocado entre una primera entidad y una segunda entidad incluye cualquiera de los significados de (1) solo la primera entidad, (2) solo la segunda entidad y (3) la primera entidad y la segunda entidad. El término "y/o" colocado entre las dos últimas entidades de una lista de 3 o más entidades significa al menos una de las entidades de la lista, incluida cualquier combinación específica de entidades de esta lista. Por ejemplo, "A, B y/o C" tiene el mismo significado que "A y/o B y/o C" y comprende las siguientes combinaciones de A, B y C: (1) solo A, (2) solo B, (3) solo C, (4) A y B y no C, (5) A y C y no B, (6) B y C y no A, y (7) A y B y C.

La frase "al menos uno de" que precede a una lista de características o entidades significa una o más de las características o entidades de la lista de entidades, pero no necesariamente incluye al menos una de todas y cada una de las entidades específicamente enumeradas en la lista de entidades y no excluye ninguna combinación de

entidades de la lista de entidades. Por ejemplo, "al menos uno de A, B o C" (o de forma equivalente "al menos uno de A, B y C" o de forma equivalente "al menos uno de A, B y/o C") tiene el mismo significado que "A y/o B y/o C" y comprende las siguientes combinaciones de A, B y C: (1) solo A, (2) solo B, (3) solo C, (4) A y B y no C, (5) A y C y no B, (6) B y C y no A, y (7) A y B y C.

El término "pluralidad" significa "dos o más de dos".

5

10

30

40

45

50

55

60

La frase "al menos una porción" significa "una porción o todo". La al menos una porción de una corriente puede tener la misma composición con la misma concentración de cada una de las especies que la corriente de la que se deriva. La al menos una porción de una corriente puede tener una concentración de especies diferente a la de la corriente de la que se deriva. La al menos una porción de una corriente puede incluir solo especies específicas de la corriente de la que se deriva.

Como se usa en el presente documento, una "porción dividida" de una corriente es una porción que tiene la misma composición química y las mismas concentraciones de especies que la corriente de la que se ha tomado.

Como se usa en el presente documento, una "porción separada" de una corriente es una porción que tiene una composición química diferente y diferentes concentraciones de especies que la corriente de la que se ha tomado.

20 Como se usa en el presente documento, "primero", "segundo", "tercero", etc. se utilizan para distinguir entre una pluralidad de etapas y/o características, y no son indicativos del número total o de la posición relativa en el tiempo y/o espacio a menos que se indique expresamente como tal.

En las reivindicaciones, pueden utilizarse letras para identificar las etapas reivindicadas (por ejemplo, (a), (b) y (c)).

25 Estas letras se utilizan para ayudar a referirse a las etapas del método y no pretenden indicar el orden en el que se realizan las etapas reivindicadas, a menos y solo en la medida en que dicho orden se mencione específicamente en las reivindicaciones.

Como se usa en el presente documento, el término "catalizador" se refiere a un soporte, material catalítico y cualquier otro aditivo que pueda estar presente en el soporte.

El término "pobre" significa que tiene una concentración molar % menor del gas indicado que la corriente original a partir de la que se ha formado. "Pobre" no significa que la corriente carece por completo del gas indicado.

35 Los términos "rico" o "enriquecido" significan que tiene una concentración molar % mayor del gas indicado que la corriente original a partir de la que se ha formado.

Como se usan en el presente documento, "calor" y "calentamiento" pueden incluir tanto calor sensible, calor latente y calentamiento mediante calor sensible y mediante calor latente.

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

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

La presente invención se refiere a un proceso para producir un gas producto de hidrógeno. El proceso utiliza reformado catalítico de hidrocarburos con vapor. El reformado catalítico de hidrocarburos con vapor, también llamado reformado de metano con vapor (SMR, por sus siglas en inglés, steam methane reforming), reformado catalítico con vapor o reformado con vapor, se define como cualquier proceso utilizado para convertir la materia prima del reformador en reformado por reacción con vapor sobre un catalizador. El reformado, también llamado gas de síntesis, o simplemente syngas, como se utiliza en el presente documento, es cualquier mezcla que comprende hidrógeno y monóxido de carbono. La reacción de reforma es una reacción endotérmica y puede describirse generalmente como C_nH_m+n $H_2O \rightarrow n$ $CO+(m/2+n)H_2$. El hidrógeno se genera cuando se genera el reformado.

El proceso se describe con referencia a las figuras que muestran cada una diagramas de flujo de proceso. Los números de referencia similares se refieren a elementos similares en todas las figuras. Además, los números de

referencia que se introducen en la memoria descriptiva en asociación con una figura de dibujo pueden repetirse en una o más figuras posteriores sin una descripción adicional en la memoria descriptiva para proporcionar contexto para otras características.

Los diagramas de flujo de proceso para procesos de reformado catalítico de hidrocarburos con vapor adecuados para llevar a cabo el presente proceso se muestran en la figura 1 y en la figura 2. La figura 1 muestra un diagrama de flujo de proceso que tiene un solo tambor de vapor 120, mientras que la figura 2 muestra un diagrama de flujo de proceso que tiene dos tambores de vapor, 120 y 121. El diagrama de flujo de proceso de la figura 2 segrega el agua de alimentación de la caldera formada a partir del condensado del proceso del agua de alimentación de la caldera formada a partir del agua complementaria 85. El condensado del proceso puede contener compuestos orgánicos. La ventaja de utilizar un tambor de vapor separado para el condensado del proceso y un tambor de vapor separado para el agua de alimentación de la caldera formada a partir del agua complementaria es evitar que los compuestos orgánicos entren en el vapor de exportación 150. Puede utilizarse el vapor formado a partir del condensado del proceso para formar la mezcla 15 de gas de alimentación donde la presencia de los compuestos orgánicos puede tolerarse fácilmente.

Las figuras 1 y 2 muestran las características requeridas y las características opcionales, proporcionando las características opcionales un contexto adicional.

20 En la figura 1 y la figura 2, una mezcla 15 de gas de alimentación del reformador se introduce en una pluralidad de tubos 20 de reformado que contienen catalizador en un horno 10 de reformado, la mezcla 15 de gas de alimentación del reformador se hace reaccionar en una reacción de reforma en condiciones de reacción efectivas para formar un reformado 25 que comprende H₂, CO, CH₄ y H₂O, y el reformado 25 se extrae de la pluralidad de tubos 20 que contienen catalizador del horno 10 de reformado.

25

30

40

45

50

65

La mezcla 15 de gas de alimentación del reformador puede ser cualquier mezcla de gas de alimentación adecuada para introducirse en un reformador catalítico de hidrocarburos con vapor para formar un reformado. La mezcla 15 de gas de alimentación del reformador puede comprender una materia prima 75 de hidrocarburos que se ha desulfurado y vapor 151,152, y/o una mezcla de materia prima de hidrocarburos preformada y vapor. La materia prima de hidrocarburos puede ser gas natural, metano, nafta, propano, gas combustible de refinería, gas residual de refinería u otra materia prima de reformador adecuada conocida en la técnica. La materia prima de hidrocarburos preformada y el vapor se producen en un prereformador (no mostrado).

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

En la técnica se conocen bien los hornos de reformado con una pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador, es decir, reformadores tubulares. Puede utilizarse cualquier número adecuado de tubos de reformado que contienen catalizador. Se conocen materiales y métodos de construcción adecuados. El catalizador en los tubos de reformado que contienen catalizador puede ser cualquier catalizador adecuado conocido en la técnica, por ejemplo, un catalizador soportado que comprende níquel.

Las condiciones de reacción efectivas para formar el reformado 25 en la pluralidad de tubos 20 de reformado que contienen catalizador pueden comprender una temperatura que varía de 500 °C a 1000 °C y una presión que varía de 203 kPa a 5066 kPa (absoluta). La temperatura de la condición de reacción puede ser medida por cualquier sensor de temperatura adecuado, por ejemplo, un termopar tipo J. La presión de la condición de reacción puede ser medida por cualquier sensor de presión adecuado conocido en la técnica, por ejemplo, un manómetro disponible por Mensor.

El reformado 25 puede intercambiar calor con varias corrientes y luego puede hacerse pasar a un reactor de conversión 60 que contiene el catalizador de conversión 61. En las realizaciones a modo de ejemplo mostradas en las figuras 1 y 2, el reformado 25 extraído de la pluralidad de tubos 20 de reformado que contienen catalizador se hace pasar al intercambiador de calor 40 (una denominada caldera de calor residual) donde el reformado 25 calienta una porción de la corriente 127 de agua de alimentación de la caldera formando así una corriente bifásica de agua y vapor que se reintroduce en el tambor de vapor 120 (figura 1) o en el tambor de vapor 121 (figura 2).

En las realizaciones a modo de ejemplo mostradas en las figuras 1 y 2, el reformado 25 se hace pasar del intercambiador de calor 40 al reactor de conversión 60. El proceso puede comprender hacer reaccionar el reformado 25 del intercambiador de calor 40 en presencia de un catalizador de conversión 61 en condiciones de reacción efectivas para formar hidrógeno adicional en el reformado 25. Puede obtenerse gas hidrógeno adicional mediante la reacción catalítica de monóxido de carbono y vapor. Esta reacción es exotérmica y se conoce comúnmente como la reacción de conversión agua-gas o reacción de conversión: CO+H₂O → CO₂+H₂. La reacción

se ve afectada al 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 reformado 25 pueden comprender una segunda temperatura que varía de 190 °C a 500 °C y una segunda presión que varía de 203 kPa a 5066 kPa (absoluta).

5

Puede utilizarse cualquier catalizador de conversión adecuado. El reactor de conversión puede ser uno denominado de conversión a alta temperatura (HTS), de conversión a baja temperatura (LTS), de conversión a temperatura media (MTS) o una combinación. Pueden utilizarse uno o más reactores de conversión.

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

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

Para la conversión a temperatura media, son típicas una temperatura de entrada en el intervalo de 190 °C a 230 °C y una temperatura de salida de hasta 350 °C. Para la conversión a temperatura media puede utilizarse un catalizador de cobre soportado adecuadamente formulado. Para el proceso a modo de ejemplo puede preferirse la conversión de temperatura media.

Una combinación puede incluir una secuencia de conversión a alta temperatura, enfriamiento mediante intercambio indirecto de calor y conversión a baja temperatura. Si se desea, cualquiera de las fases de conversión puede subdividirse con enfriamiento entre lechos.

Como se muestra en las realizaciones a modo de ejemplo de las figuras 1 y 2, después de pasar a través del reactor de conversión 60, el reformado 25 puede hacerse pasar al intercambiador de calor 70 opcional donde se calienta la materia prima 75 de hidrocarburos y se enfría el reformado 25. Como los artículos "un/una" y "el/la" significan "uno o más", el intercambiador de calor 70 puede comprender uno o más intercambiadores de calor.

El reformado 25 del reactor de conversión 60 posteriormente calienta al menos dos corrientes en paralelo. El reformado puede calentar las al menos dos corrientes después de enfriarse en el intercambiador de calor 70 opcional.

El condensado de agua 97 y el agua de alimentación 86 de la caldera se calientan en paralelo mediante transferencia indirecta de calor con el reformado del reactor de conversión (después de que el reformado se enfríe en el intercambiador de calor 70, si está presente).

40

45

50

55

35

30

El condensado de agua 97 y el agua de alimentación 86 de la caldera pueden calentarse en un intercambiador de calor común (no mostrado) o el reformado puede dividirse con una primera porción dividida que calienta el condensado de agua 97 en una primera sección de intercambio de calor 56 y una segunda porción dividida que calienta el agua de alimentación 86 de la caldera en una segunda sección de intercambio de calor 58. Para el caso donde se utiliza un intercambiador de calor común, el intercambiador de calor común contiene efectivamente tanto la sección de intercambio de calor 56 como la sección de intercambio de calor 58. Un intercambiador de calor común tiene esencialmente el mismo efecto que dos intercambiadores de calor separados: un intercambiador de calor que contiene la sección de intercambio de calor 56 y un intercambiador de calor separado que contiene la sección de intercambio de calor 58. El intercambiador de calor común puede tener tubos de intercambio de calor separados para mantener la separación del condensado de agua y del agua de alimentación 86 de la caldera de manera que el reformado calienta el condensado de agua y el agua de alimentación de la caldera en paralelo. En un intercambiador de calor común, el aqua de alimentación 86 de la caldera y el condensado de aqua 97 y, opcionalmente, una o más corrientes adicionales del proceso para producir el qas producto de hidrógeno pueden transportarse cada uno a través de una estructura de intercambio de calor respectiva, tal como un sistema de tuberías respectivo, que se extiende a través del reformado desde el reactor de conversión, calentando así el agua de alimentación 86 de la caldera y el condensado de agua 97 y, opcionalmente, la una o más corrientes adicionales en intercambio de calor indirecto paralelo con el reformado. El reformado se transporta a través del intercambiador de calor común en contacto de intercambio de calor con las estructuras de intercambio de calor.

Cada estructura de intercambio de calor que transporta una de las corrientes de proceso a calentar a través del intercambiador de calor común es una sección de intercambio de calor respectiva del intercambiador de calor común. Una estructura de intercambio de calor que transporta el condensado de agua 97 a través del intercambiador de calor común es una primera sección de intercambio de calor y una estructura de intercambio de calor que transporta el agua de alimentación 86 de la caldera a través del intercambiador de calor común es una segunda sección de intercambio de calor del intercambiador de calor común. El término "intercambiador de calor común" se utiliza cada vez que dos o más de las corrientes de proceso a calentar se transportan cada una en una estructura de

intercambio de calor separada a través de una corriente íntegra de reformado del reactor de conversión transportada a través de ese intercambiador de calor. En un intercambiador de calor común, solo se separan unas de otras las corrientes de proceso a calentar, mientras que el reformado se transporta a través del intercambiador de calor como una corriente de reformado íntegra. Por ejemplo, el condensado de agua 97 puede calentarse en una primera sección de intercambio de calor 56 y el agua de alimentación 86 de la caldera puede calentarse en una segunda sección de intercambio de calor 58 del intercambiador de calor común, mientras que una o más corrientes de proceso adicionales, por ejemplo, la materia prima 75 de hidrocarburos y/o un gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión pueden calentarse mediante intercambio de calor indirecto con una porción dividida del reformado del reactor de conversión cada una en una sección de intercambio de calor adicional externa al intercambiador de calor común para el condensado 97 de agua y el agua de alimentación 86 de la caldera y en intercambio de calor paralelo a estas dos corrientes de proceso.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Al calentarse mediante el reformado, el condensado de agua se calienta desde una temperatura inferior, $T_{WC, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{WC, superior}$, donde $T_{WC, inferior}$ es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado y $T_{WC, superior}$ es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado. En caso de que todo el reformado del reactor de conversión caliente tanto el condensado de agua 97 como el agua de alimentación 86 de la caldera, el reformado se enfría desde $T_{1, superior}$ a $T_{1, inferior}$ al calentar el condensado de agua 97. En caso de que la primera porción dividida del reformado caliente el condensado de agua, la primera porción dividida del reformado se enfría desde $T_{1, superior}$ a $T_{1, inferior}$ al calentar el condensado de agua 97. $T_{1, superior}$ es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado.

La temperatura del punto de rocío o punto de rocío es la temperatura a la que el vapor de agua del reformado comenzará a condensarse de la fase gaseosa a la presión del reformado en el proceso de intercambio de calor respectivo.

Para el ejemplo donde el reformado está calentando el condensado de agua, la temperatura del punto de rocío es la temperatura del punto de rocío del reformado en las condiciones del reformado al calentar el condensado de agua. Asimismo, la temperatura del punto de rocío del reformado al calentar otras corrientes es la temperatura del punto de rocío del reformado al calentar cada corriente respectiva.

Al calentarse mediante el reformado 25, el agua de alimentación 86 de la caldera se calienta desde una temperatura inferior, $T_{BFW,\ inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{BFW,\ superior}$, donde $T_{BFW,\ inferior}$ es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado y $T_{BFW,\ superior}$ es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado. En caso de que todo el reformado del reactor de conversión caliente tanto el condensado de agua 97 como el agua de alimentación 86 de la caldera, el reformado se enfría desde $T_{2,\ superior}$, hasta $T_{2,\ inferior}$ al calentar el agua de alimentación 86 de la caldera. En caso de que la segunda porción dividida del reformado caliente el agua de alimentación 86 de la caldera, la segunda porción dividida del reformado se enfría desde $T_{2,\ superior}$ a $T_{2,\ inferior}$ al calentar el agua de alimentación 86 de la caldera. $T_{2,\ superior}$ es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado.

El condensado de agua 97 y el agua de alimentación 86 de la caldera se calientan en paralelo a través de la temperatura del punto de rocío del reformado.

El agua de alimentación 86 de la caldera puede formarse calentando una alimentación de agua 85 (denominada agua complementaria) mediante transferencia indirecta de calor con el reformado 25 en el intercambiador de calor 80, enfriando así el reformado 25 en el intercambiador de calor 80. La alimentación de agua 85 puede ser agua destilada, agua tratada (descalcificada, filtrada, etc.) u otra agua adecuada conocida en la técnica.

Después de calentarse en el intercambiador de calor 80, la alimentación de agua 85 puede hacerse pasar al desaireador 110 donde se quitan los gases disueltos. Los gases disueltos se eliminan de la alimentación de agua en el desaireador 110. Puede introducirse vapor 11 en el desaireador 110 o puede formarse vapor in situ por calentamiento o evaporación instantánea. El vapor ayuda a eliminar los gases disueltos. Se extrae una corriente de ventilación 17 del desaireador 110. La corriente de ventilación 17 comprende vapor y gases formados a partir de los gases disueltos eliminados de la alimentación de agua 85. El agua de alimentación 86 de la caldera extraída del desaireador 110 puede bombearse a una presión más alta, calentarse en la sección de intercambio de calor 58 mediante transferencia indirecta de calor con el reformado o con la segunda porción del reformado 25, y hacerse pasar al tambor de vapor 120.

En caso de que el reformado se divida en la primera porción dividida y en la segunda porción dividida, los caudales de la primera porción dividida y de la segunda porción dividida pueden controlarse mediante una o más válvulas (no mostradas). Los caudales pueden controlarse de cualquier forma, p. ej. masa, molar o volumen. Los caudales pueden controlarse para que la temperatura de salida del reformado que sale de la sección de intercambio de calor 56 y la temperatura de salida del reformado que sale de la sección de intercambio de calor 58 sean inferiores a la temperatura del punto de rocío del reformado. Los caudales de las porciones divididas pueden controlarse para que las temperaturas de salida de las corrientes que se calientan sean mayores que la temperatura del punto de rocío y que sus respectivas temperaturas de diseño.

La materia prima 75 de hidrocarburos puede calentarse en un intercambiador de calor (no mostrado) mediante transferencia indirecta de calor con el reformado que calienta tanto el condensado de agua como el agua de alimentación de la caldera, es decir, en serie con el reformado que calienta tanto el condensado de agua como el agua de alimentación de la caldera. Después de calentarse, la materia prima de hidrocarburos puede hacerse pasar posteriormente de este intercambiador de calor al intercambiador de calor 70 para calentar adicionalmente la materia prima de hidrocarburos.

La materia prima 75 de hidrocarburos puede calentarse en un intercambiador de calor (no mostrado) mediante transferencia indirecta de calor con la primera porción del reformado 25 de la sección de intercambio de calor 56 o con la segunda porción del reformado 25 de la sección de intercambio de calor 58. La materia prima 75 puede hacerse pasar de este intercambiador de calor al intercambiador de calor 70 para calentar aún más la materia prima de hidrocarburos.

15 Luego se enfría una mezcla que comprende el reformado o las porciones primera y segunda del reformado (25), según corresponda.

20

35

La mezcla puede hacerse pasar al intercambiador de calor 80 para calentar el agua complementaria 85 enfriando así la mezcla.

La mezcla se enfría en el enfriador 81 refrigerado por agua en una cantidad efectiva para condensar al menos una porción del agua de la mezcla para formar agua condensada y un gas reformado pobre en agua.

Al menos una parte del gas reformado pobre en agua se hace pasar como una alimentación 95 de unidad de adsorción por oscilación de presión a la unidad de adsorción 100 por oscilación de presión y se separa en la misma para formar el gas producto 105 de hidrógeno y el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión.

El agua condensada se separa del gas reformado pobre en agua en el separador 90 para formar condensado de agua 97 a partir de al menos una porción del agua condensada. Si se desea, puede quitarse una corriente retrógrada de agua condensada del separador.

El condensado de agua 97 se hace pasar del separador 90 a la sección de intercambio de calor 56 y al menos una porción del condensado de agua 97 se hace pasar de la sección de intercambio de calor 56 al tambor de vapor 120. El condensado de agua 97 se hace pasar del separador 90 a la sección de intercambio de calor 56 antes de pasar de la sección de intercambio de calor 56 al tambor de vapor 120.

En la figura 1, el condensado de agua 97 se hace pasar de la sección de intercambio de calor 56 al eliminador de vapor 55 antes de que el condensado de agua 97 pase al tambor de vapor 120. El vapor del tambor de vapor 120 o de otra fuente se añade al eliminador de vapor 55 para eliminar los compuestos orgánicos del condensado. La porción de condensado de agua 97 se hace pasar al tambor de vapor 120. El componente de vapor 152 de la fase de vapor del eliminador 55 se mezcla con la materia prima desulfurada 76 y se hace pasar como la mezcla 15 de gas de alimentación del reformador a la pluralidad de tubos 20 que contienen catalizador.

En la figura 2, el condensado de agua 97 se hace pasar del separador 90 al intercambiador de calor 82 para calentarlo mediante intercambio indirecto de calor con reformado, y luego se pasa al desaireador 111 donde se quitan los gases disueltos. Los gases disueltos se eliminan del condensado 97 en el desaireador 111. Puede introducirse vapor 12 en el desaireador 111 o puede formarse vapor in situ mediante calentamiento o evaporación instantánea. Puede proporcionarse vapor del tambor de vapor 121 o de cualquier otra fuente de vapor disponible. El vapor ayuda a eliminar los gases disueltos. Una corriente de ventilación 18 comprende vapor y gases formados a partir de los gases disueltos eliminados del condensado 97. El condensado 97 puede entonces bombearse y hacerse pasar a la sección de intercambio de calor 56, y luego al tambor de vapor 120.

Para reducir las emisiones de COV de la instalación de producción de hidrógeno, las corrientes de ventilación del 55 desaireador del desaireador 110 y/o del desaireador 111 pueden inyectarse en el horno 10 de reformado como se describe en "Report on Emission Limits for Rule 1189 - Emissions from Hydrogen Plant Process Vents" South Coast Air Quality Management District, June 7, 2001 (http://www3.aqmd.gov/hb/attachments/2002/020620b.doc), y en "Final Environmental Assessment: Proposed Rule 1189 - Emissions from Hydrogen Plant Process Vents" SCAQMD N. 1189JDN021199, South Coast Air Quality Management District December 60 (http://www.agmd.gov/docs/default-source/cega/documents /aqmd-projects/2000/final-ea-for-proposed-amendedrule-1189.doc?sfvrsn=4).).

Como se muestra en la figura 1, cuando el condensado de agua se calienta en paralelo en la sección de intercambio de calor 56 y se elimina mediante vapor en el eliminador 55, el condensado de agua puede bombearse y alimentarse directamente a un tambor de vapor. Una bomba pequeña puede ser capaz de proporcionar la carga de presión necesaria para bombear el condensado de agua a un tambor de vapor. El condensado de agua puede mezclarse

con otra corriente de agua antes de introducir el condensado de agua en el tambor de vapor para que la temperatura del agua que entra al tambor de vapor esté en un nivel deseable.

Como se muestra en la figura 1 y en la figura 2, el reformado 25 puede calentar corrientes adicionales en paralelo. Además, el reformado puede calentar la materia prima 75 de hidrocarburos y/o el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión en paralelo con el condensado de agua 97 y el agua de alimentación 86 de la caldera.

El condensado de agua 97, el agua de alimentación 86 de la caldera y la materia prima 75 de hidrocarburos pueden calentarse en un intercambiador de calor común (no mostrado) o el reformado puede dividirse con una porción dividida que calienta el condensado de agua 97 en la sección de intercambio de calor 56, otra porción dividida que calienta el agua de alimentación 86 de la caldera en la sección de intercambio de calor 58, y otra porción dividida que calienta la materia prima 75 de hidrocarburos en la sección de intercambio de calor 57.

En el caso donde el condensado de agua se calienta mediante la primera porción dividida del reformado en la primera sección de intercambio de calor 56 en un primer intercambiador de calor y el agua de alimentación de la caldera se calienta mediante la segunda porción dividida del reformado en la segunda sección de intercambio de calor 58 en un segundo intercambiador de calor, la materia prima de hidrocarburos puede calentarse en una tercera sección de intercambio de calor 57 está en el mismo intercambiador de calor con la primera sección de intercambio de calor 56 o en el mismo intercambiador de calor con la segunda sección de intercambio de calor 58.

Al calentarse mediante el reformado, la materia prima 75 de hidrocarburos puede calentarse desde una temperatura inferior, $T_{HF, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{HF, superior}$, donde $T_{HF, inferior}$ es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado y $T_{HF, superior}$ es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado. En caso de que todo el reformado del reactor de conversión caliente el condensado de agua 97, el agua de alimentación 86 de la caldera y la materia prima 75 de hidrocarburos, el reformado se enfría desde $T_{3, superior}$ hasta $T_{3, inferior}$ al calentar la materia prima 75 de hidrocarburos. En caso de que una porción dividida del reformado caliente la materia prima 75 de hidrocarburos, la porción dividida del reformado se enfría desde $T_{3, superior}$ hasta $T_{3, inferior}$ al calentar la materia prima 75 de hidrocarburos. $T_{3, superior}$ es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado y $T_{3, inferior}$ es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado.

25

30

35

40

45

50

55

60

En caso de que el reformado se divida en las múltiples porciones divididas, los caudales de las porciones divididas pueden controlarse mediante una o más válvulas (no mostradas). Por ejemplo, los caudales pueden controlarse para que la temperatura de salida del reformado que sale de la sección de intercambio de calor 56, la temperatura de salida del reformado que sale de la sección de intercambio de calor 57 y la temperatura de salida del reformado que sale de la sección de intercambio de calor 58 sean menores que la temperatura del punto de rocío del reformado. Los caudales de las porciones divididas también pueden controlarse para que las temperaturas de salida de las corrientes que se calientan sean mayores que la temperatura del punto de rocío y que sus respectivas temperaturas de de diseño.

Para el caso donde una porción dividida calienta la materia prima 75 de hidrocarburos en la sección de intercambio de calor 57, la mezcla enfriada en el intercambiador de calor 80, que comprende el reformado o la porción que calienta el condensado y la porción que calienta el agua de alimentación de la caldera, también puede comprender la porción dividida que calienta la materia prima 75 de hidrocarburos.

El gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión también puede calentarse mediante transferencia indirecta de calor con una porción dividida del reformado del reactor de conversión 60 (por medio del intercambiador de calor 70, si está presente). El gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión puede calentarse en la sección de intercambio de calor 59.

Al calentarse mediante el reformado, el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión puede calentarse desde una temperatura inferior, $T_{PSA, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{PSA, superior}$, donde $T_{PSA, inferior}$ es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado y $T_{PSA, superior}$ es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado. En caso de que todo el reformado del reactor de conversión caliente el condensado de agua 97, el agua de alimentación 86 de la caldera y el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión, el reformado se enfría desde $T_{4, superior}$ hasta $T_{4, inferior}$ al calentar el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión. En caso de que una porción dividida del reformado caliente el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión, la porción dividida del reformado se enfría desde $T_{4, superior}$ hasta $T_{4, inferior}$ al calentar el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión, donde $T_{4, superior}$ es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado y $T_{4, inferior}$ es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado.

En caso de que el reformado se divida en múltiples porciones divididas, los caudales de las porciones divididas pueden controlarse mediante una o más válvulas (no mostradas). Por ejemplo, los caudales pueden controlarse para que la temperatura de salida del reformado que sale de la sección de intercambio de calor 56, la temperatura de

salida del reformado que sale de la sección de intercambio de calor 57, si está presente, la temperatura de salida del reformado que sale de la sección de intercambio de calor 58 y la temperatura de salida del reformado que sale de la sección de intercambio de calor 59 sean menores que la temperatura del punto de rocío del reformado. Los caudales pueden controlarse para que las temperaturas de salida de las corrientes que se calientan sean mayores que la temperatura del punto de rocío y que sus respectivas temperaturas de diseño.

Para el caso donde una porción dividida calienta el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión en la sección de intercambio de calor 59, la mezcla enfriada en el intercambiador de calor 80, que comprende el reformado o la porción que calienta el condensado y la porción que calienta el agua de alimentación de la caldera, también puede comprender la porción dividida que calienta el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión.

10

15

20

25

55

60

65

Como se muestra en la figura 1 y la figura 2, el reformado o una corriente combinada que comprende porciones divididas del reformado calienta el agua complementaria 85 en el intercambiador de calor 80. Puede haber otros intercambiadores de calor para calentar otras corrientes también mediante el reformado, como un intercambiador de calor (no mostrado) para generar vapor a baja presión para el uso del desaireador, y/o un intercambiador de calor (no mostrado) para calentar el aqua de alimentación de la caldera de recirculación que se utiliza como medio de calentamiento en el proceso. Todas estas corrientes, aqua complementaria más condensado de aqua en la figura 2 pueden calentarse de muchas maneras diferentes mediante el reformado después de que se haya enfriado al calentar el condensado de agua 97 en el intercambiador de calor 56, el agua de alimentación 86 de la caldera y, opcionalmente, la materia prima 75 de hidrocarburos y/o el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión. Por ejemplo, pueden calentarse en serie mediante el reformado o la corriente combinada de todas las porciones divididas del reformado. O pueden calentarse en varias disposiciones en serie y/o en paralelo mediante cuatro, tres o dos corrientes de reformado, dependiendo del número de porciones divididas utilizadas para calentar el condensado de agua 97 en el intercambiador de calor 56 y el agua de alimentación 86 de la caldera y, opcionalmente, la materia prima 75 de hidrocarburos y/o el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión, y de cómo se recombinan estas porciones divididas para formar corrientes de reformado combinadas.

La materia prima 75 de hidrocarburos después de calentarse mediante transferencia indirecta de calor con al menos una porción del reformado del reactor de conversión 60 puede hacerse pasar a la unidad de hidrodesulfuración 300 para quitar el azufre de la materia prima de hidrocarburos. Como se conoce bien en la técnica, el azufre puede contaminar el catalizador en el proceso. El hidrógeno 106 para la hidrodesulfuración puede añadirse a la materia prima antes o después de calentar la materia prima 75 de hidrocarburos. El producto 105 de hidrógeno puede utilizarse para proporcionar hidrógeno 106. Al menos una porción 76 de la materia prima desulfurada puede mezclarse con vapor 151, 152 y luego calentarse adicionalmente mediante la combustión del producto 35 de gas en la sección de convección 45 del reformador 10 antes de introducirse en los tubos 20 de reformado que contienen catalizador como mezcla 15 de gas de alimentación del reformador.

40 Puede quemarse un combustible 5 con un gas oxidante 3 en una sección de combustión 30 del horno 10 de reformado externa a la pluralidad de tubos 20 de reformado que contienen catalizador en condiciones efectivas para quemar el combustible 5 para formar un gas producto 35 de combustión que comprende CO₂ y H₂O. Puede utilizarse cualquier quemador adecuado para introducir el combustible 5 y el gas oxidante 3 en la sección de combustión 30. La combustión del combustible 5 con el gas oxidante 3 genera calor para suministrar energía para hacer reaccionar 45 la mezcla 15 de gas de alimentación del reformador dentro de la pluralidad de tubos 20 de reformado que contienen catalizador. El gas producto 35 de combustión se extrae de la sección de combustión 30 del horno 10 de reformado y se hace pasar a la sección de convección 45 del horno de reformado para suministrar calor a otras corrientes de proceso. La sección de combustión (también llamada sección radiante, de radiación o radiativa) del horno de reformado es la parte del horno de reformado que contiene la pluralidad de tubos de reformado que contienen 50 catalizador. La sección de convección del horno de reformado es la parte del horno de reformado que contiene intercambiadores de calor distintos de la pluralidad de tubos de reformado que contienen catalizador. Los intercambiadores de calor en la sección de convección pueden ser para calentar fluidos del proceso distintos del reformado, como aqua/vapor, aire, gas subproducto de la unidad de adsorción por presión, gas de alimentación del reformador antes de la introducción en los tubos de reformado que contienen catalizador, etc.

Las condiciones efectivas para quemar el combustible pueden comprender una temperatura que varía de 600 °C a 1500 °C y una presión que varía de 99 kPa a 101,4 kPa (absoluta). La temperatura puede medirse mediante un termopar, un pirómetro óptico o cualquier otro dispositivo de medición de temperatura calibrado conocido en la técnica para medir temperaturas del horno. La presión puede medirse mediante cualquier sensor de presión adecuado conocido en la técnica, por ejemplo, un manómetro disponible por Mensor.

El combustible 5 puede comprender un gas subproducto 115 de un adsorbedor 100 de oscilación de presión y un combustible suplementario 118. El gas subproducto de un adsorbedor de oscilación de presión a menudo se denomina gas de cola del adsorbedor de oscilación de presión, y el combustible suplementario a menudo se denomina combustible de compensación. El gas subproducto 115 y el combustible suplementario 118 pueden calentarse antes de utilizarse como combustible 5. El gas subproducto 115 y el combustible suplementario 118

pueden mezclarse e introducirse juntos a través de un quemador a la sección de combustión, o pueden introducirse por separado a través de diferentes puertos en el quemador. Alternativamente, el gas subproducto puede introducirse a través del quemador primario y el combustible suplementario puede introducirse a través de lanzas cerca del quemador.

5

El gas oxidante 3 es un gas que contiene oxígeno y puede ser aire, aire enriquecido con oxígeno, aire pobre en oxígeno, como el escape de la turbina de gas, oxígeno de grado industrial o cualquier otro gas que contenga oxígeno conocido para su uso en un horno de reformado para la combustión. Por ejemplo, como se muestra en las figuras 1 y 2, el aire 130 puede comprimirse en el ventilador de tiro forzado 135, calentarse mediante el gas producto 35 de combustión en la sección de convección 45, y pasar al horno de reformado como gas oxidante 3.

El gas producto 35 de combustión puede calentar varias corrientes de proceso diferentes en la sección de convección 45 del horno 10 de reformado. El gas producto 35 de combustión puede calentar las corrientes en diversas configuraciones diferentes (orden de calentamiento).

15

10

La figura 1 muestra el gas 35 producto de combustión calentando la mezcla 15 de gas de alimentación del reformador, seguido del sobrecalentamiento del vapor 125 del tambor de vapor 120. Una porción del vapor sobrecalentado puede utilizarse para formar la mezcla 15 de gas de alimentación del reformador y otra porción utilizarse para formar un producto de vapor 150 (es decir, vapor de exportación). Después de calentar el vapor, el gas producto de combustión calienta una porción del agua de alimentación 127 de la caldera del tambor de vapor 120 en un intercambiador de calor para formar una mezcla bifásica de vapor y agua, de la que al menos una porción se devuelve al tambor de vapor 120. El gas producto de combustión calienta entonces el oxidante de combustión 3. El gas producto 35 de combustión puede hacerse pasar posteriormente a un ventilador de tiro inducido 140 y descargarse.

25

30

35

20

La figura 2 muestra el gas 35 producto de combustión calentando la mezcla 15 de gas de alimentación del reformador, seguido del sobrecalentamiento del vapor 125 del tambor de vapor 121. Puede utilizarse una porción del vapor sobrecalentado para formar la mezcla 15 de gas de alimentación del reformador y otra porción utilizarse para formar un producto de vapor 150 (es decir, vapor de exportación). El gas producto de combustión calienta entonces una porción del aqua de alimentación 127 de la caldera del tambor de vapor 121 para formar una mezcla bifásica de vapor y agua, de la que al menos una porción se devuelve al tambor de vapor 121. Después de calentar el agua de alimentación de la caldera del tambor de vapor 121, el gas producto de combustión calienta el condensado de agua del tambor de vapor 120 para formar una mezcla bifásica de vapor y aqua que se devuelve al tambor de vapor 120. El gas producto de combustión calienta entonces el oxidante de combustión 3. El gas producto 35 de combustión puede hacerse pasar posteriormente a un ventilador de tiro inducido 140 y descargarse.

Eiemplos

45

40

Los ejemplos ilustran los beneficios de las redes de intercambiadores de calor de la presente invención en comparación con las redes de intercambio de calor de la técnica anterior. Entre los beneficios del presente proceso se encuentran el consumo reducido de energía térmica para la producción de hidrógeno, el coste de capital reducido de los intercambiadores de calor y el consumo reducido de electricidad. El consumo de energía térmica para la producción de hidrógeno puede compararse utilizando la energía específica neta (NSE, por sus siglas en inglés, net especific energy) que tiene unidades de J/Nm³, que puede definirse

 $NSE = \frac{HHV_{fuel} * F_{fuel} + HHV_{feed} * F_{feed} - \Delta H * F_{steam}}{HPR},$

donde

50

HHV_{fuel} es el mayor valor de calentamiento del combustible suplementario introducido en la sección de combustión (J/Nm°),

 F_{fuel} es el caudal del combustible (Nm³/h),

55 reformador (J/Nm³).

HHV_{feed} es el mayor valor de calentamiento de la materia prima del reformador introducida en el

 F_{feed} es el caudal de la materia prima del reformador (Nm³/h),

ΔH es la diferencia de entalpía entre el vapor de exportación y el agua a 25 °C (J/kg), 60

F_{steam} es el flujo másico del vapor de exportación (kg/h), y

HPR es la tasa de producción de hidrógeno (Nm³/h).

El coste de capital de los intercambiadores de calor puede medirse por la suma del área superficial de intercambio de calor de todos los intercambiadores de calor (área total). La NSE, el área total y el consumo de electricidad de los cuatro ejemplos se resumen en la Tabla 1. La NSE, el área total y el consumo de electricidad de los dos ejemplos comparativos se establecen en 100 para realizar la comparación de forma normalizada.

Se ha utilizado Aspen Plus® de Aspen Technology, Inc. para simular los procesos descritos en los ejemplos. Se utilizan condiciones típicas para el reformado catalítico comercial de hidrocarburos con vapor, como materia prima de gas natural, una relación vapor/carbono de 2,7 y una temperatura de reformado que deja los tubos que contienen catalizador de 865 °C. Cada ejemplo incluye un reactor de conversión de alta temperatura y no incluye un prereformador. El punto de rocío del reformado aguas abajo del reactor de conversión de alta temperatura es de aproximadamente 175 °C.

Ejemplo 1 (caso comparativo)

15

10

20

25

30

35

40

En la figura 3 se muestra la red de intercambio de calor para el ejemplo 1. El reformado 25 sale del reactor de conversión 60 de alta temperatura a 417 °C. El calor del reformado se recupera calentando diversas corrientes. Primero, el reformado se enfría en el intercambiador de calor 70 a 352 °C al tiempo que la materia prima 75 de hidrocarburos se calienta de 147 °C a 371 °C. Posteriormente, el reformado se enfría en el intercambiador de calor 78 de agua de alimentación de la caldera a 158 °C, en el que el reformado alcanza su punto de rocío (175 °C) y el vapor del reformado comienza a condensarse. El agua de alimentación 86 de la caldera se calienta en el intercambiador de calor 78 de 109 °C a 232 °C. La diferencia de temperatura en el intercambiador de calor 78 entre las corrientes calientes y frías alcanza su mínimo de diseño permisible (por ejemplo, 11 °C), o punto crítico, en el punto de rocío de la corriente de reformado. El reformado luego calienta la materia prima 75 en el intercambiador de calor 70 mediante el reformado a 371 °C.

Este ejemplo muestra que tanto el agua de alimentación de la caldera como la materia prima de hidrocarburos deben calentarse desde por debajo de la temperatura del punto de rocío del reformado hasta por encima de la temperatura del punto de rocío, y esto se logra mediante una disposición en serie del agua de alimentación de la caldera que se calienta en el intercambiador de calor 78 intercalada entre la materia prima de hidrocarburos que se calienta en los intercambiadores de calor 70 y 77. Se sabe que, para el proceso de reformado con vapor, el intercambio de calor entre una corriente caliente por encima del punto de rocío del reformado y una corriente fría por debajo del punto de rocío ("intercambiador de calor cruzado") perjudicará la eficiencia térmica (o aumentará la NSE) y debe minimizarse. En la disposición en serie del ejemplo 1, el intercambio de calor entre el agua de alimentación de la caldera y el reformado se lleva a cabo de manera eficiente ya que el intercambiador de calor 78 se reduce en el punto de rocío del reformado, lo que indica que se minimiza el "intercambio de calor cruzado". Sin embargo, el intercambio de calor entre el reformado y la materia prima en el intercambiador de calor 70 no es eficiente porque el reformado, que está muy por encima del punto de rocío (por ejemplo, >352 °C), se utiliza para calentar la materia prima que está muy por debajo del punto de rocío (por ejemplo, tan bajo como 147 °C). Este intercambio de calor cruzado da lugar a una mayor NSE. Y es obvio que el intercambio de calor cruzado no puede evitarse en una disposición en serie.

El rendimiento de esta red comparativa de intercambio de calor se resume en la Tabla 1 como la base para comparar con los resultados del Ejemplo 2 que utiliza una red de intercambiadores de calor mejorada de acuerdo con la presente invención.

Tabla 1: Comparación de diferentes redes de intercambiadores de calor

	Ejemplo 1	Ejemplo 2	Ejemplo 3	Ejemplo 4
Energía específica neta	100	99,4	100	99,4
Área total	100	90,2	100	99,8
Consumo de electricidad	100	99,6	100	95,1

50 Ejemplo 2

En la figura 1 se muestra la red de intercambio de calor para el Ejemplo 2. En este ejemplo se utilizan intercambiadores de calor 57 y 59 opcionales.

El reformado 25 sale del reactor de conversión 60 de alta temperatura a 417 °C. El calor del reformado se recupera calentando diversas corrientes. Primero, el reformado se enfría en el intercambiador de calor 70 a 368 °C, calentando así la materia prima 75 de hidrocarburos de 208 °C a 371 °C. El reformado se divide entonces en cuatro porciones. La primera porción dividida del reformado se enfría en el intercambiador de calor 56 a 129 °C, calentando así el condensado de agua 97 de 38 °C a 247 °C. La segunda porción dividida del reformado se enfría en el intercambiador de calor 58 a 154 °C, calentando así el agua de alimentación 86 de la caldera de 109 °C a 229 °C. La

tercera porción dividida del reformado se enfría en el intercambiador de calor 57 a 58 °C, calentando así la materia prima 75 de hidrocarburos de 37 °C a 208 °C. La cuarta porción dividida del reformado se enfría a 104 °C en el intercambiador de calor 59, calentando así el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión de 32 °C a 224 °C. Las fracciones divididas para la primera porción, la segunda porción, la tercera porción y la cuarta porción son 0,27; 0,55; 0,07 y 0,11, respectivamente.

El reformado entra a estos cuatro intercambiadores de calor por encima del punto de rocío del reformado y sale de cada intercambiador de calor por debajo del punto de rocío del reformado. Las cuatro corrientes frías se calientan desde por debajo del punto de rocío del reformado hasta por encima del punto de rocío del reformado. Los cuatro intercambiadores de calor se reducen a los mínimos de diseño en el punto de rocío del reformado. Estos resultados indican que el intercambio de calor entre el reformado y las cuatro corrientes frías se lleva a cabo con un intercambio de calor cruzado mínimo o de la manera más eficiente que puede lograrse, lo que da lugar a una reducción del 0,6 % en la NSE en comparación con la red de intercambio de calor del Ejemplo 1, como se muestra en la Tabla 1. Calentar el condensado de agua y el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión mediante la fuente de calor primaria (reformado) también contribuye a la reducción de la NSE y da lugar a una reducción del 9,8 % del área total o del coste de capital de los intercambiadores de calor en comparación con la red de intercambio de calor del Ejemplo 1. El consumo de electricidad también se reduce en un 0,4 % en comparación con el Ejemplo 1, porque se elimina el bombeo asociado con el calentamiento repetitivo del condensado del proceso y del gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión.

Ejemplo 3 - caso comparativo con tambores de doble corriente

10

15

20

25

30

35

40

45

El proceso de este ejemplo comparativo se muestra en la figura 4. Con respecto al intercambio de calor, la principal diferencia entre este ejemplo comparativo y el ejemplo comparativo 1 es que el condensado de agua 97 y el agua de alimentación 86 de la caldera complementaria se calientan por separado mediante el reformado 25. El ejemplo 3 utiliza múltiples tambores de corriente 120 y 121 para segregar el agua de alimentación de la caldera que contiene condensado de agua del agua de alimentación de la caldera constituida únicamente por agua complementaria. El vapor producido por el agua complementaria se utiliza para producir el vapor de exportación 150. El reformado 25 deja el reactor de conversión 60 de alta temperatura a 416 °C y luego se utiliza para calentar corrientes frías en serie en el siguiente orden: materia prima 75 de hidrocarburos en el intercambiador de calor 70, condensado de agua en el intercambiador de calor 79, agua de alimentación de la caldera complementaria en el intercambiador de calor 78, materia prima 75 de hidrocarburos en el intercambiador de calor 77 y condensado de agua 97 en el intercambiador de calor 76. La Tabla 2 resume las temperaturas de las corrientes calientes y frías en los extremos fríos y calientes de cada uno de estos intercambiadores de calor.

Tabla 2: Resu	ımen de temp	peratura pa	ara el Ej	emplo 3	3

Intercambiador	Extremo caliente		Extremo frío	
de calor	Corriente	Temperatura		
70	reformado	416	reformado	352
	materia prima	371	materia prima	149
79	reformado	352	reformado	266
	condensado de agua	242	condensado de agua	154
78	reformado	266	reformado	168
	BFW complementaria	215	BFW complementaria	109
77	reformado	168	reformado	165
	materia prima	149	materia prima	37
76	reformado	165	reformado	159
	condensado de agua	153	condensado de agua	109

De manera similar al caso comparativo del Ejemplo 1, las cuatro corrientes frías deben calentarse finalmente por encima del punto de rocío del reformado (175 °C), y esto se logra mediante una disposición en serie de intercambiadores de calor. Como se muestra en la Tabla 2, solo el intercambiador de calor 78 de agua de alimentación de la caldera complementaria, entre los 5 intercambiadores de calor, experimenta el punto de rocío del reformado, lo que indica una transferencia de calor eficiente entre el reformado y el agua de alimentación de la caldera complementaria. El intercambio de calor cruzado sustancial se produce en los intercambiadores de calor 70 y 79, dando lugar a una pérdida de eficiencia térmica o a una alta NSE. De nuevo, es obvio que este intercambio de calor cruzado es inevitable para la disposición en serie de los intercambiadores de calor. Puede mitigarse mediante

- el calentamiento escalonado de la materia prima (intercambiadores 77 y 70) y del condensado de agua (intercambiadores de calor 76 y 79); pero el escalonamiento aumenta el coste de capital de intercambio de calor o el área total.
- 5 De manera similar al ejemplo 1, el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión en este ejemplo se calienta, no mediante una fuente de calor primaria, sino mediante el agua de alimentación de la caldera de 16 °C a 221 °C. Este calentamiento repetitivo cuesta tanto la NSE como el área total.
- El rendimiento de esta red comparativa de intercambio de calor se resume en la Tabla 1 como la base para comparar con los resultados del Ejemplo 4 que utiliza una red de intercambiadores de calor mejorada de acuerdo con la presente invención.

Ejemplo 4

- 15 En la figura 2 se muestra la red de intercambio de calor del ejemplo 4. Es muy similar al Ejemplo 2 ya que el condensado de agua ya se calienta allí por separado del agua de alimentación de la caldera complementaria. El reformado 25 deja el reactor de conversión 60 de alta temperatura a 417 °C. El calor del reformado se recupera calentando diversas corrientes. Primero, se enfría en un intercambiador de calor 70 a 368 °C, calentando así la materia prima 75 de 222 °C a 371 °C. El reformado se divide entonces en cuatro porciones. La primera porción 20 dividida de la corriente del reformado se enfría en el intercambiador de calor 56 a 162 °C, calentando así el condensado de agua 97 de 115 °C a 242 °C. La segunda porción dividida de la corriente del reformado se enfría en el intercambiador calor 58 a 162 °C, calentando así el agua de alimentación de la caldera de 110 °C a 250 °C. La tercera porción de la corriente del reformado se enfría en el intercambiador de calor 57 a 18 °C, calentando así la materia prima 75 de 5 °C a 222 °C. La cuarta porción dividida del reformado se enfría a 114 °C en el intercambiador 25 de calor 59, calentando así el gas subproducto 115 de la unidad de adsorción por oscilación de presión de 16 ºC a 232 °C. Las fracciones divididas para la primera porción, la segunda porción, la tercera porción y la cuarta porción son 0,36; 0,45; 0,08 y 0,11, respectivamente.
- De manera similar al Ejemplo 2, el intercambio de calor entre el reformado y las cuatro corrientes frías se lleva a cabo de la manera más eficiente que puede lograrse. Como se muestra en la Tabla 1, los beneficios de esta red de intercambio de calor incluyen una reducción del 0,6 % en la NSE, una reducción del 0,2 % en el área total y una reducción del 4,9 % en el consumo de electricidad en comparación con el caso comparativo del Ejemplo 3.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para producir un gas producto (105) de hidrógeno, comprendiendo el proceso:

el agua de alimentación (86) de la caldera; donde

- (a) extraer un reformado (25) de un reactor de conversión (60), comprendiendo el reformado comprende H₂O, H₂,
 CO y CO₂;
 - (b) calentar un condensado de agua (97) mediante transferencia indirecta de calor con el reformado del reactor de conversión o con una primera porción dividida del mismo, al calentarse mediante el reformado o mediante la primera porción dividida, el condensado de agua (97) se calienta desde una temperatura inferior, $T_{WC, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{1, superior}$, basta una temperatura superior, $T_{1, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{1, inferior}$, al calentar el condensado de agua (97); (c) calentar el agua de alimentación (86) de la caldera mediante transferencia indirecta de calor con el reformado del reactor de conversión o con una segunda porción dividida del mismo, al calentarse mediante el reformado o mediante la segunda porción dividida, el agua de alimentación (86) de la caldera se calienta desde una temperatura inferior, $T_{BFW, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{BFW, superior}$, y el reformado o la segunda porción dividida se enfría desde una temperatura superior, $T_{2, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{2, inferior}$, al calentar
 - $T_{WC, inferior}$, $T_{BFW, inferior}$, $T_{1, inferior}$ y $T_{2, inferior}$, son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y

T_{WC, superior, T_{BFW, superior, T1, superior, T2, superior, son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60);}}

- (d) enfriar una mezcla que comprende al menos una porción del reformado cuando el reformado calienta el condensado de agua y el agua de alimentación de la caldera o que comprende al menos una porción de la primera porción dividida y al menos una porción de la segunda porción dividida cuando la primera la porción dividida calienta el condensado de agua y la segunda porción dividida calienta el agua de alimentación de la caldera, la mezcla se enfría en una cantidad efectiva para condensar al menos una porción del agua de la mezcla para formar agua condensada y un gas reformado pobre en agua;
- 30 (e) separar el agua condensada del gas reformado pobre en agua en un separador (90) formando así el condensado de agua (97) a partir de al menos una porción del agua condensada;
 - (f) pasar el condensado de agua (97) desde el separador (90) a una primera sección de intercambio de calor (56) para la etapa de calentar el condensado de agua mediante transferencia indirecta de calor con el reformado o con la primera porción dividida, y pasar al menos una porción del condensado de agua (97) desde la primera sección de intercambio de calor (56) a un tambor de vapor (120), y
 - (g) separar una alimentación (95) de unidad de adsorción por oscilación de presión que comprende al menos una porción del gas reformado pobre en agua en una unidad de adsorción (100) por oscilación de presión para formar el gas producto (105) de hidrógeno y un gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión;
- 40 caracterizado por que

10

15

20

35

- (f) $T_{2,inferior}$ es menor y $T_{1,superior}$ es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60).
- 2. El proceso de la reivindicación 1 donde el condensado de agua (97) se calienta mediante la primera porción dividida en la primera sección de intercambio de calor (56) y el agua de alimentación de la caldera se calienta mediante la segunda porción dividida en una segunda sección de intercambio de calor (58).
 - 3. El proceso de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, comprendiendo además el proceso:
- pasar el reformado extraído del reactor de conversión (60) a un intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima para calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) en el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima y extraer el reformado del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima;
- donde si el reformado del reactor de conversión calienta el condensado de agua en la etapa (b) y el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c), el reformado del reactor de conversión que calienta el condensado de agua en la etapa (b) y el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c) es el reformado extraído del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima; y
- donde si la primera porción dividida del reformado del reactor de conversión calienta el condensado de agua en la etapa (b) y la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión calienta el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c), la primera porción dividida del reformado del reactor de conversión es una primera porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima y la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión es una segunda porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima.
 - 4. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 donde el condensado de agua se calienta mediante la

primera porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), comprendiendo además el proceso:

calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con la primera porción dividida, al calentarse mediante la primera porción dividida, la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta desde una temperatura inferior, T_{HF. inferior}, hasta una temperatura superior, T_{HF. superior}; donde

THE inferior es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y

T_{HF, superior} es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60).

10

5

5. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 donde el aqua de alimentación de la caldera se calienta mediante la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), comprendiendo además el proceso:

15

calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión (60), al calentarse mediante la segunda porción dividida, la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta desde una temperatura inferior, T_{HF, inferior}, hasta una temperatura superior, T_{HF. superior}; donde

20

THE inferior es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y

THE superior, es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60).

6. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, comprendiendo además el proceso:

25

30

(h) calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con el reformado del reactor de conversión (60) o con una porción dividida del reformado (25), al calentarse mediante el reformado o mediante la porción dividida, la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta desde una temperatura inferior, $T_{HF, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{HF, superior}$, y el reformado o la porción dividida se enfría desde una temperatura superior, T3, superior, hasta una temperatura inferior, T3, inferior, al calentar la materia prima (75) de hidrocarburos; donde

THF, inferior y T3, inferior son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60): v

35

THF, superior y T_{3, superior} son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y donde la mezcla comprende al menos una porción del reformado cuando el reformado también calienta la

materia prima de hidrocarburos o donde la mezcla además comprende al menos una porción de la porción dividida del reformado (25) que calienta la materia prima de hidrocarburos cuando la porción dividida calienta la materia prima de hidrocarburos.

40

7. El proceso de la reivindicación 6 donde la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta mediante la porción dividida en una tercera sección de intercambio de calor (57).

45

8. El proceso de la reivindicación 6 o de la reivindicación 7, comprendiendo además el proceso:

pasar el reformado extraído del reactor de conversión (60) a un intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima para calentar la materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) en el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima y extraer el reformado del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima;

50

donde si el reformado del reactor de conversión calienta el condensado de agua en la etapa (b), el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c) y la materia prima (75) de hidrocarburos en la etapa (h), el reformado del reactor de conversión que calienta el condensado de agua en la etapa (b), el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c) y la materia prima de hidrocarburos en la etapa (h) es el reformado extraído del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima;

55

donde si la primera porción dividida del reformado del reactor de conversión calienta el condensado de agua en la etapa (b), y la segunda porción dividida del reformado del reactor de conversión calienta el agua de alimentación (86) de la caldera en la etapa (c), y la porción dividida del reformado del reactor de conversión calienta la materia prima de hidrocarburos en la etapa (h), la primera porción dividida del reformado del reactor de conversión es una primera porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima , y la segunda porción dividida es una segunda porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima, y la porción dividida es una porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia

60

prima; y donde la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta en la etapa (h) antes de calentarse en el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima.

9. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además el proceso:

calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión, preferentemente en una cuarta sección de intercambio de calor (59), mediante transferencia indirecta de calor con una porción dividida del reformado (25) del reactor de conversión (60) para calentar el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión, al calentarse mediante la porción dividida para calentar el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión, el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión se calienta desde una temperatura inferior, $T_{PSA, inferior}$, hasta una temperatura superior, $T_{PSA, superior}$, y la porción dividida para calentar el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión se enfría desde una temperatura superior, $T_{4, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{4, inferior}$, al calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión; donde

T_{PSA, inferior} y T_{4, inferior} son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60); y

T_{PSA, superior} y T_{4, superior} son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60);

donde la mezcla comprende además al menos una porción de la porción dividida del reformado que calienta el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión.

10. El proceso de la reivindicación 9, comprendiendo además el proceso:

5

10

15

20

25

30

40

45

50

55

pasar el reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) a un intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima, preferentemente el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima de la reivindicación 3 o de la reivindicación 8, para calentar la materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con el reformado (25) en el intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima y extraer el reformado del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima; y

donde la porción dividida del reformado que calienta el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión es una porción dividida del reformado extraída del intercambiador de calor (70) de calentamiento de materia prima que calienta el gas subproducto de la unidad de adsorción por oscilación de presión.

11. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 donde la etapa (f) comprende pasar el condensado de agua (97) desde el separador (90) a un desaireador (111), desde el desaireador (111) a la primera sección de intercambio de calor (56), y desde la primera sección de intercambio de calor (56) hasta el tambor de vapor (120), comprendiendo además el proceso:

pasar el agua de alimentación (86) de la caldera después de calentarla en la etapa (c) a un segundo tambor de vapor (121).

12. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 donde la etapa (f) comprende pasar el condensado de agua (97) desde la primera sección de intercambio de calor (56) a un eliminador de vapor (55), y desde el eliminador de vapor (55) al tambor de vapor (120), comprendiendo además el proceso: pasar el agua de alimentación (86) de la caldera después de calentarla en la etapa (c) al tambor de vapor (120).

13. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde

el reformado del reactor de conversión (60) se divide en la primera porción dividida y en la segunda porción dividida y, opcionalmente, en una o más porciones divididas adicionales del reactor de conversión (60);

el condensado de agua (97) se calienta mediante la primera porción dividida en la etapa (b) y el agua de alimentación (86) de la caldera se calienta mediante la segunda porción dividida en la etapa (c); y donde

el caudal de la primera porción dividida del reactor de conversión (60) y el caudal de la segunda porción dividida del reactor de conversión (60) y, opcionalmente, los caudales de la una o más porciones divididas adicionales se controlan de manera que $T_{WC, superior}$ y $T_{BFW, superior}$ son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) y $T_{1, inferior}$ y $T_{2, inferior}$ son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60).

- 14. El proceso de la reivindicación anterior donde la una o más porciones divididas adicionales del reactor de conversión (60) incluye(n) una porción dividida para calentar una materia prima (75) de hidrocarburos y/o una porción dividida para calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión, comprendiendo además el proceso las siguientes etapas (k) y/o las siguientes etapas (l):
- (k) calentar una materia prima (75) de hidrocarburos mediante transferencia indirecta de calor con la porción dividida para calentar una materia prima (75) de hidrocarburos, al calentarse mediante la porción dividida para calentar una materia prima (75) de hidrocarburos, la materia prima (75) de hidrocarburos se calienta desde una temperatura inferior, T_{HF, inferior}, hasta una temperatura superior, T_{HF, superior}, y la porción dividida para calentar una materia prima (75) de hidrocarburos se enfría desde una temperatura superior, T_{3, superior}, hasta una temperatura inferior, T_{3, inferior}, al calentar la materia prima (75) de hidrocarburos, donde T_{HF, inferior} y T_{3, inferior} son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) y T_{HF, superior} y T_{3, superior} son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor

de conversión (60),

5

10

15

20

donde los caudales de la una o más porciones divididas adicionales del reactor de conversión (60) se controlan de manera que T_{HF, superior} es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) y T3, inferior es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60);

(I) calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión mediante transferencia indirecta de calor con la porción dividida para calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión, al calentarse mediante la porción dividida para calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión, el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión se calienta desde una temperatura inferior, T_{PSA, inferior}, hasta una temperatura superior, T_{PSA, superior}, y la porción dividida para calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión se enfría desde una temperatura superior, $T_{4, superior}$, hasta una temperatura inferior, $T_{4, inferior}$, al calentar el gas subproducto (115) de la unidad de adsorción por oscilación de presión, donde $T_{PSA, inferior}$ y $T_{4, inferior}$ son menores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) y T_{PSA, superior} y T_{4, superior} son mayores que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60),

donde los caudales de la una o más porciones divididas adicionales del reactor de conversión (60) se controlan de manera que T_{PSA superior} es mayor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60) y T_{4, inferior} es menor que la temperatura del punto de rocío del reformado (25) extraído del reactor de conversión (60).

- 15. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 3, 6, 8 y 9 donde
- el reformado del reactor de conversión (60) se transporta a través de un intercambiador de calor común que contiene una primera estructura de intercambio de calor como la primera sección de intercambio de calor (56) y una segunda 25 estructura de intercambio de calor como una segunda sección de intercambio de calor (58) separada de la primera sección de intercambio de calor (56), extendiéndose la primera estructura de intercambio de calor y la segunda estructura de intercambio de calor cada una a través del reformado del reactor de conversión (60) en el intercambiador de calor común;
- el condensado de agua (97) se transporta a través del intercambiador de calor común en la primera estructura de intercambio de calor; y 30
 - el agua de alimentación (86) de la caldera se transporta a través del intercambiador de calor común en la segunda estructura de intercambio de calor;
 - el agua de alimentación (86) de la caldera y el condensado de agua (97) se calientan en un intercambio de calor indirecto paralelo con el reformado en el intercambiador de calor común;
- y donde, opcionalmente, una materia prima (75) de hidrocarburos y, opcionalmente, el gas subproducto (115) de la 35 unidad de adsorción por oscilación de presión se transportan cada uno en una estructura de intercambio de calor (57, 59) separada respectiva que se extiende a través del reformado desde el reactor de conversión (60) en el intercambiador de calor común, por lo que se calientan en intercambio de calor indirecto con el reformado en el intercambiador de calor común en paralelo con el agua de alimentación (86) de la caldera y el condensado de agua (97).
- 40







