

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 894**

51 Int. Cl.:

C01B 3/38 (2006.01)

C01B 3/48 (2006.01)

C01B 3/56 (2006.01)

C01B 3/16 (2006.01)

C01B 3/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2015** **E 15196131 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018** **EP 3173376**

54 Título: **Proceso y aparato para producir hidrógeno con corrosión reducida**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.10.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

SICINSKI, MICHAEL ANDREW;
GRAHAM, DAVID ROSS;
FORESTER, KELLY ANN;
SILVESTRE, CANDICE DAIBES y
LOUGHNEY, GERALD MICHAEL

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 686 894 T3

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

DESCRIPCIÓN

Proceso y aparato para producir hidrógeno con corrosión reducida

5 Antecedentes

Se sabe que las instalaciones de producción de hidrógeno tienen problemas de corrosión de las tuberías de proceso debido a la corrosión asistida por tensión de CO₂ y fragilidad por H₂. Se sabe en la industria cómo aliviar la tensión de soldadura residual mediante un proceso denominado tratamiento térmico postsoldadura.

10 Un área particularmente vulnerable de las tuberías es la tubería que conecta el tambor separador de reformado y la unidad de adsorción por oscilación de presión.

15 La industria desea prevenir la corrosión de las tuberías de proceso en instalaciones de producción de hidrógeno.

La industria desea procesos de producción de hidrógeno con alta eficiencia energética.

Breve resumen

20 La presente invención se refiere a un proceso y aparato para producir un producto gaseoso que contiene hidrógeno, como se sabe, por ejemplo, a partir del documento EP 2 103 569 A2. El proceso conocido comprende hacer pasar un reformado de un reactor de conversión a un separador a través de una pluralidad de intercambiadores de calor, condensando de esta manera el agua en el reformado para formar un condensado de agua y un reformado agotado en agua en el separador, extrayendo el condensado de agua y el reformado agotado en agua del separador,

25 haciendo pasar el reformado agotado en agua extraído del separador a un extractor de CO₂ y extraer CO₂ por lavado, y hacer pasar al menos una porción del reformado agotado en agua del extractor de CO₂ a una unidad de adsorción por oscilación de presión para formar un producto gaseoso que contiene hidrógeno y un subproducto gaseoso de al menos una porción del reformado agotado en agua.

30 El presente proceso y aparato son particularmente adecuados para impedir la corrosión de tuberías que conectan el separador de condensado y una unidad de adsorción por oscilación de presión.

El proceso y aparato de acuerdo con la presente invención se divulgan en las reivindicaciones 1 y 10, respectivamente. Las realizaciones adicionales se describen en las reivindicaciones dependientes.

35 En el proceso o en el aparato de acuerdo con la presente invención, el aislamiento térmico de al menos una porción de la tubería que conecta operativamente el separador y la unidad de adsorción por oscilación de presión puede configurarse de modo que el reformado agotado en agua alcance la unidad de adsorción por oscilación de presión a una temperatura por encima de la temperatura de rocío del reformado agotado en agua.

40 Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

La FIG. 1 es un diagrama de flujo de bloques para una instalación de producción de hidrógeno que ejemplifica el presente aparato y que es adecuada para llevar a cabo el presente proceso.

45 La FIG. 2 es un diagrama de flujo de bloques para una instalación de producción de hidrógeno que ejemplifica el presente aparato y que es adecuado para llevar a cabo el presente proceso.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

50 La siguiente descripción detallada proporciona únicamente realizaciones ejemplares preferidas, y no pretende limitar el alcance, aplicabilidad o configuración de la invención. Más bien, la siguiente descripción detallada de las realizaciones ejemplares preferidas proporcionará a los expertos en la materia una descripción habilitadora para implementar las realizaciones ejemplares preferidas de la invención, entendiéndose que pueden hacerse diversos cambios en la función y disposición de elementos sin alejarse del alcance de la invención como se define mediante las reivindicaciones.

Los artículos "un" y "una" como se usan en el presente documento se refieren a uno o más cuando se aplican a cualquier característica en las realizaciones de la presente invención descrita en la memoria descriptiva y las reivindicaciones. El uso de "un" y "una" no limita el significado a una única característica a menos que tal límite esté indicado específicamente. El artículo "el" o "la" precediendo a nombres en singular o plural o frases nominativas denota una característica específica particular o características especificadas particulares y puede tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se use.

65 El término "y/o" colocado entre una primera entidad y una segunda entidad incluye cualquiera de los significados de (1) únicamente la primera entidad, (2) únicamente 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 se refiere a al menos una

de las entidades en la lista, incluyendo cualquier combinación específica de entidades en la lista. Por ejemplo "A, B y/o C" tiene el significado de "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.

- 5 La expresión "al menos uno de" precediendo una lista de características o entidades significa que una o más de las características o entidades en la lista de entidades, aunque no necesariamente, incluye al menos una de todas y cada una de la entidad enumerada específicamente dentro de la lista de entidades y no excluyendo cualquier combinación de entidades en la lista de entidades. Por ejemplo, "al menos uno de A, B o C" (o equivalentemente "al menos uno de A, B y C" o equivalentemente "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".

- 15 La expresión "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 diferente de especies que 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.

20 Como se usa en el presente documento, la presión es la presión absoluta (no la presión manométrica), a menos que explícitamente se indique de otra manera.

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

- 30 Como se usa en el presente documento, "primero", "segundo", "tercero", etc. se usan para distinguir entre una pluralidad de etapas y/o características, y no es indicativo del número total, o la posición relativa en el tiempo y/o el espacio, a menos que expresamente se indique tal cual.

35 El término "agotado" significa que tiene una menor concentración en % de moles del componente indicado que la corriente original de la que se ha formado. "Agotado" no significa que la corriente esté completamente carente del componente indicado.

Los términos "rico" o "enriquecido" significan que tienen una mayor concentración en % en moles del componente indicado que la corriente original de la que se ha formado.

- 40 Como se usa en el presente documento, "calor" y "calentamiento" puede incluir calor tanto sensible como latente y calentamiento.

45 Como se usa en el presente documento, "transferencia de calor indirecta" es una transferencia de calor de una corriente a otra corriente donde las corrientes no se mezclan entre sí. Transferencia de calor indirecta incluye, por ejemplo, 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 de calor indirecta incluye transferencia de calor desde un primer fluido hasta un segundo fluido, donde se usa un fluido de trabajo intermedio para llevar el calor desde el primer fluido hasta el segundo fluido. El primer fluido puede evaporar un fluido de trabajo, por ejemplo agua a vapor, en un evaporador, el fluido de trabajo se hace pasar a otro intercambiador de calor o condensador, donde el fluido de trabajo transfiere el calor al segundo fluido. La transferencia de calor indirecta del primer fluido a un segundo fluido usando un fluido de trabajo puede adaptarse usando un tubo calefactor, un termosifón, una caldera hervidor o similares.

55 Como se usa en el presente documento, "transferencia de calor directa" es una transferencia de calor desde una corriente a otra corriente donde las corrientes se mezclan íntimamente entre sí. La transferencia de calor directa incluye, por ejemplo, humidificación donde el agua se pulveriza directamente en una corriente de aire caliente y el calor del aire evapora el agua, dando como resultado una corriente de aire más fría.

60 Se describen a continuación realizaciones ilustrativas de la invención. Aunque la invención es susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, se muestran realizaciones específicas de la misma a modo de ejemplo en los dibujos y se describen en detalle en el presente documento. Debe entenderse, sin embargo, que la descripción en el presente documento de realizaciones específicas no pretende limitar la invención a las formas particulares divulgadas, sino que, al contrario, la invención quiere cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caigan dentro del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

65

Con fines de simplicidad y claridad, se omiten las descripciones detalladas de dispositivos, circuitos y métodos bien conocidos para no hacer más incomprensible la descripción de la presente invención con detalles innecesarios.

La presente invención se refiere a un proceso y aparato para producir un producto gaseoso que contiene hidrógeno. El producto gaseoso que contiene hidrógeno puede ser hidrógeno de calidad industrial. El producto gaseoso que contiene hidrógeno puede ser al menos un 96 % en volumen hidrógeno o al menos un 99 % en volumen hidrógeno.

El proceso y aparato pueden utilizar reformado catalítico de hidrocarburo con vapor. El reformado catalítico de hidrocarburo con vapor, también denominado reformado de metano con vapor (SMR), reformado catalítico con vapor o reformado con vapor se define como cualquier proceso usado para convertir la materia prima del reformador en un reformado por reacción con vapor sobre un catalizador. El reformado, denominado también gas de síntesis o simplemente *syngas*, como se usa en el presente documento, es cualquier mezcla que comprende hidrógeno y monóxido de carbono. La reacción de reformado es una reacción endotérmica y puede describirse de forma general como $C_nH_m + nH_2O \rightarrow nCO + (m/2 + n)H_2$. Se genera hidrógeno cuando se genera el reformado.

El proceso se describe con referencia a la FIG. 1 y la FIG. 2, que muestra diagramas de flujo de bloques para procesos de reformado catalítico de hidrocarburo con vapor adecuados para llevar a cabo el presente proceso.

El presente proceso se refiere particularmente a impedir la corrosión de la tubería 357 que conecta operativamente el separador 321 y la unidad de adsorción por oscilación de presión 501, así como los colectores de entrada y la tubería directamente asociada con la unidad de adsorción por oscilación de presión 501.

El proceso comprende hacer pasar un reformado desde un reactor de conversión 303 al separador 321 mediante una pluralidad de intercambiadores de calor. El reformado se usa para calentar otras corrientes de proceso y el mismo se enfría en la pluralidad de intercambiadores de calor. En la FIG. 1, se muestra que el reformado pasa a través de los intercambiadores de calor 311, 314, 312, 320, 316 y 323. En la FIG. 2, se muestra que el reformado pasa a través de los intercambiadores de calor 311, 314, 312, 318, 316 y 323. En el intercambiador de calor 323, denominado enfriador adicional, el reformado puede enfriarse usando agua de enfriamiento que se hace circular a una torre de enfriamiento con agua (no mostrada). En entornos más fríos, el reformado puede enfriarse con aire en el intercambiador de calor 323. Como resultado de hacerla pasar a través de los intercambiadores de calor, el agua en el reformado se condensa. La corriente enfriada se hace pasar al separador 321 para separar el condensado de agua 240 de un reformado agotado en agua 29. El separador 321 puede ser cualquier separador vapor-líquido adecuado, por ejemplo lo que se conoce como tambor separador o cuba de separación.

El condensado de agua 240 se extrae del separador 321 y el reformado agotado en agua 29 se extrae del separador 321 por separado del condensado de agua 240.

El proceso comprende calentar el reformado agotado en agua 29 que se extrae del separador 321. El reformado agotado en agua 29 extraído del separador 321 puede calentarse a al menos 3 grados centígrados o al menos 5 grados centígrados por encima de la temperatura de rocío del reformado agotado en agua 29. Debido a que el supercalentamiento solo necesita superar cualquier riesgo de condensación, solo se requiere una pequeña cantidad de calor. Después, el reformado agotado en agua 29 extraído del separador 321 puede calentarse a menos de 20 grados centígrados o menos que 15 grados centígrados por encima de la temperatura de rocío del reformado agotado en agua 29.

La temperatura de rocío o el punto de rocío es la temperatura a la cual el vapor de agua en el reformado empezará a condensarse fuera de la fase gaseosa a la presión del reformado.

Se hace pasar al menos una porción del reformado agotado en agua 29 que se ha calentado a la unidad de adsorción por oscilación de presión 501 para formar un producto gaseoso que contiene hidrógeno y un subproducto gaseoso de la unidad de adsorción por oscilación de presión desde al menos una porción del reformado agotado en agua 29.

Calentando el reformado agotado en agua 29 por encima de la temperatura de rocío, no existirá agua líquida en la tubería entre el separador 321 y la unidad de adsorción por oscilación de presión 501. Se ha encontrado que eliminar el agua líquida impide la corrosión de esta tubería.

Al menos una porción de la tubería 357 entre el separador 321 y la unidad de adsorción por oscilación de presión 501 está aislada térmicamente para mantener el reformado agotado en agua 29 por encima de la temperatura de rocío. Toda la tubería 357 entre el separador 321 y la unidad de adsorción por oscilación de presión 501 puede estar aislada térmicamente para mantener el reformado agotado en agua 29 por encima de la temperatura de rocío. Aislar térmicamente la tubería 357 entre el separador 321 y la unidad de adsorción por oscilación de presión 501 puede ser particularmente importante cuando se trabaja en climas fríos.

Para impedir adicionalmente la corrosión, puede realizarse también un tratamiento térmico por soldadura.

El producto gaseoso que contiene hidrógeno 30 puede formarse a partir de al menos una porción del reformado agotado en agua 29 en una unidad de adsorción por oscilación de presión 501. Una alimentación de la unidad de adsorción por oscilación de presión comprende al menos una porción del reformado agotado en agua 29 que puede separarse por adsorción en la unidad de adsorción por oscilación de presión 501 para formar el producto gaseoso
 5 que contiene hidrógeno 30 y un subproducto gaseoso 82 de la unidad de adsorción por oscilación de presión, denominados también gas de cola de PSA y gas de purga de PSA. Las unidades de adsorción por oscilación de presión se conocen bien. Puede usarse cualquier unidad de adsorción por oscilación de presión adecuada en el presente proceso.

10 La unidad de adsorción por oscilación de presión 501 puede hacerse funcionar usando cualquier ciclo de adsorción por oscilación de presión conocido. Los ciclos de adsorción por oscilación de presión se conocen bien en la técnica y las diversas etapas se describen, por ejemplo, en la Solicitud de Patente de Estados Unidos con n.º de Publicación 2014/0373713. Los ciclos de adsorción por oscilación de presión específicos se proporcionan en artículos complementarios "Pressure Swing Adsorption cycles for 4 to 7 adsorption beds," IP.com número 000241449, 29 de
 15 abril de 2015, y "Pressure Swing Adsorption cycles for 7 or more adsorption beds," IP.com número 000241619, 18 de mayo de 2015.

El reformado agotado en agua 29 puede calentarse en un intercambiador de calor 322 por transferencia de calor indirecta con una alimentación 347 al intercambiador de calor 322 que comprende agua de alimentación a la caldera, vapor o una mezcla de los mismos.
 20

El diseño del intercambiador de calor 322 puede ser un intercambiador de carcasa y tubos donde el reformado agotado en agua 29 está en el lado de la carcasa. El intercambiador de calor 322 puede montarse directamente en el separador 321 para minimizar la distancia de la tubería expuesta al reformado agotado en agua 29 saturado.
 25

Como se muestra en la FIG. 1 y la FIG. 2, el proceso puede comprender calentar una alimentación 376 al intercambiador de calor 320 (FIG. 1) o el intercambiador de calor 318 (FIG. 2) por transferencia de calor indirecta con el reformado 25, y extraer un efluente 377 del intercambiador de calor 320 o el intercambiador de calor 318, el efluente 377 formado a partir de la alimentación 376, donde la alimentación 347 al intercambiador de calor 322 comprende una porción del efluente 377.
 30

Calentar la alimentación 376 con el reformado 25 después de que el reformado 25 haya calentado otras corrientes, como se muestra en la FIG. 1 y la FIG. 2, y usando solo una porción del efluente 377 calentado para calentar el reformado agotado en agua 29, proporciona calor al reformado agotado en agua 29 sin comprometer la eficiencia energética del proceso.
 35

Como se muestra en la FIG. 1, la alimentación 376 al intercambiador de calor 320 puede comprender agua de alimentación a la caldera que comprende, al menos, una porción de una o más corrientes que incluyen (i) un efluente de agua 215 del intercambiador de calor 214 para calentar el aire de combustión 99, (ii) un efluente de agua 516 del intercambiador de calor 515 para calentar el subproducto gaseoso 82 y (iii) al menos una porción 241 de condensado de agua 240 del separador 321.
 40

La alimentación 376 al intercambiador de calor 320 puede comprender (i) un efluente de agua 215 desde un intercambiador de calor 214 para calentar el aire de combustión 99, (ii) un efluente de agua 516 desde un intercambiador de calor 515 para calentar el subproducto gaseoso 82 desde la unidad de adsorción por oscilación de presión 501, y (iii) al menos una porción 241 del condensado de agua 240 desde el separador 321.
 45

Como se muestra en la FIG. 2, la alimentación 376 al intercambiador de calor 318 puede comprender una porción del efluente de agua desaireada 245 del desaireador 711. El intercambiador de calor 318 puede ser una caldera de vapor de baja presión y el efluente 377 del intercambiador de calor 318 puede ser un vapor de baja presión que tiene una presión que varía de 180 kPa (absoluta) a 400 kPa (absoluta). Entonces, la alimentación 347 al intercambiador de calor 322 puede ser vapor de baja presión que tiene una presión que varía de 180 kPa (absoluta) a 400 kPa (absoluta).
 50

Puede extraerse un efluente 349 del intercambiador de calor 322 y hacerse pasar desde el intercambiador de calor 322 al desaireador 711 para desgasificar el agua de alimentación a la caldera. Puede hacerse pasar una corriente de vapor al desaireador 711 para ayudar a desgasificar las corrientes de agua introducidas en el desaireador 711. El vapor de la corriente de vapor puede proceder del tambor de vapor 712, la caldera de vapor de baja presión (por ejemplo el intercambiador de calor 318) u otra fuente de vapor.
 55
 60

El proceso puede comprender, además, hacer pasar una segunda porción 348 del efluente desde el intercambiador de calor 320 (FIG. 1) o el intercambiador de calor 318 (FIG. 2) al desaireador 711, donde la segunda porción 348 rodea el intercambiador de calor 322.

65 Como se usa en el presente documento, un desaireador es cualquier dispositivo que retire los gases disueltos del agua con ayuda de vapor. El vapor puede introducirse en el desaireador o formarse *in situ*. Se conoce bien la

fabricación y operación de los desaireadores.

Los gases disueltos, que pueden incluir metanol, se retiran del desaireador 711 mediante una corriente de purga. Para reducir las emisiones de VOC de la instalación de producción de hidrógeno, la corriente de purga del desaireador, del desaireador 711, puede inyectarse en el horno reformador 201 como se describe en "Report on Emission Limits for Rule 1189 - Emissions from Hydrogen Plant Process Vents," South Coast Air Quality Management District, 7 de junio de 2001 (<http://www3.aqmd.gov/hb/at-tachments/2002/020620b.doc>), y en "Final Environmental Assessment: Proposed Rule 1189 - Emissions from Hydrogen Plant Process Vents" n.º SCAQMD 1189JDN021199, South Coast Air Quality Management District, 17 de diciembre de 1999 (<http://www.aqmd.gov/docs/default-source/ceqa/documents/aqmd-projects/2000/final-ea-for-proposed-amended-rule-1189.doc?sfvrsn=4>).

El agua de alimentación a la caldera desaireada 245 del desaireador 711 puede dividirse en diversas porciones divididas, y las diversas porciones calentarse mediante los gases producto de reformado y/o combustión para formar vapor y/o calentar otras corrientes de proceso.

El agua de alimentación a la caldera calentada puede usarse para calentar el aire de combustión 99 en el intercambiador de calor 214 y/o el subproducto gaseoso 82 de la adsorción por oscilación de presión de calor en el intercambiador de calor 515. La porción que calienta el aire de combustión 99 en el intercambiador de calor 214 se extrae como el efluente de agua 215 y la porción que calienta el subproducto gaseoso 82 en el intercambiador de calor 515 se extrae como el efluente de agua 516.

El subproducto gaseoso 82 de la unidad de adsorción por oscilación de presión puede calentarse antes de que el subproducto gaseoso 82 de la unidad de adsorción por oscilación de presión se queme como combustible en la sección de combustión del horno reformador 201. El calentamiento del subproducto gaseoso de la unidad de adsorción por oscilación de presión se conoce a partir del documento US 8.187.363, y también a partir de publicaciones anteriores como WO2007/020514A2, US 7.377.951 y US 7.850.944.

La corriente de agua de alimentación a la caldera del tambor de vapor 712 puede hacerse pasar a una caldera de calor residual (no mostrada), donde la corriente de agua de alimentación a la caldera se calienta por transferencia de calor indirecta con el reformado 25 y forma una mezcla bifásica de vapor y agua que se devuelve al tambor de vapor 712 para formar vapor. El vapor a alta presión puede extraerse del tambor de vapor 712 y hacerse pasar a un intercambiador de calor en la sección de convección del horno reformador 201 para supercalentarlo. Una porción del vapor supercalentado puede retirarse del sistema como vapor de exportación y otra porción puede usarse para formar la alimentación mixta al reformador.

El proceso puede comprender, además, calentar agua importada (es decir, agua de constitución) 400 en el intercambiador de calor 316 por transferencia de calor indirecta con el reformado 25. El reformado 25 puede hacerse pasar al intercambiador de calor 320 para calentar el agua de alimentación a la caldera 347 antes de que el reformado se haga pasar al intercambiador de calor 316 para calentar el agua importada 400. Después de calentarla en el intercambiador de calor 316, el agua importada 400 puede hacerse pasar al desaireador 711 para desgasificarla usando vapor añadido, como se ha descrito anteriormente.

El proceso puede comprender, además, calentar una materia prima de hidrocarburo 75 en los intercambiadores de calor 312 y 311 por transferencia de calor indirecta con el reformado 25. La materia prima de hidrocarburo 75 puede calentarse en primer lugar en el intercambiador de calor 312 y calentarse después en el intercambiador de calor 311. El reformado 25 puede hacerse pasar del reactor de conversión 303 al intercambiador de calor 311 para calentar la materia prima de hidrocarburo en el intercambiador de calor 311 antes de que el reformado se haga pasar al intercambiador de calor 314 para calentar la alimentación 220 al tambor de vapor y después pasarlo al intercambiador de calor 312 para calentar la materia prima de hidrocarburo 75.

Como se muestra en la FIG. 1 y la FIG. 2, el reformado 25 puede hacerse pasar entonces posteriormente al intercambiador de calor 320 o 318, hacerse pasar al intercambiador de calor 316 para calentar el agua importada 400, hacerse pasar al intercambiador de calor (enfriador adicional) 323 para condensar agua del reformado y hacerse pasar al separador 321.

Para formar el reformado 25, el proceso puede utilizar reformado catalítico de hidrocarburo con vapor.

En un proceso que usa reformado catalítico de hidrocarburo con vapor, se introduce una mezcla de gas de alimentación al reformador 15 en una pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador en el horno reformador 201. La mezcla de gas de alimentación al reformador 15 se hace reaccionar en una reacción de reformado en condiciones de reacción eficaces para formar un reformado 25 que comprende H_2 , CO , CH_4 y H_2O , y el reformado 25 se extrae de la pluralidad de tubos del reformador que contienen catalizador.

La mezcla de gas de alimentación al reformador 15 puede ser cualquier mezcla de gas de alimentación adecuada para introducir al reformador catalítico de hidrocarburo con vapor para formar un reformado. La mezcla de gas de

alimentación al reformador 15 comprende al menos un hidrocarburo y vapor. El al menos un hidrocarburo puede ser metano. La mezcla de gas de alimentación al reformador 15 se forma a partir de una materia prima de hidrocarburo 75 y vapor. La alimentación al reformador puede hidrogenarse en una unidad de hidrogenación y/o desulfurarse en una unidad de hidrodesulfuración con hidrógeno añadido. La hidrogenación e hidrodesulfuración pueden realizarse en una unidad de combinación 300 o en unidades diferentes. El hidrógeno puede proporcionarse desde el producto gaseoso que contiene hidrógeno 30.

La mezcla de gas de alimentación al reformador 15 puede reformarse previamente; formarse haciendo reaccionar la materia prima de hidrocarburo 75 y vapor en un reformador previo 141. La materia prima de hidrocarburo 75 puede formarse a partir de una alimentación de hidrocarburo, que puede ser gas natural, metano, nafta, propano, gas combustible de refinería, descarga gaseosa de refinería, otra alimentación de hidrocarburo adecuada conocida en la técnica o combinaciones de las mismas.

La reacción de reformado tiene lugar dentro de la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador en el horno reformador 201. Un horno reformador, también denominado reformador catalítico con vapor, reformador de metano con vapor y reformador de hidrocarburo con vapor se define en el presente documento como cualquier horno de combustión usado para convertir una materia prima que contiene hidrógeno elemental y carbono en un reformado por una reacción con vapor sobre un catalizador con calor proporcionado por combustión de un combustible.

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

Las condiciones de reacción eficaces para formar el reformado 25 en la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador pueden comprender una temperatura que varía de 500 °C a 1000 °C y una presión que varía de 203 kPa a 5.066 kPa (absoluta). La temperatura de la condición de reacción puede ser, según se mide por cualquier sensor de temperatura adecuado, por ejemplo un termopar de tipo R. La presión de la condición de reacción puede ser como se mide por cualquier sensor de presión adecuado conocido en la técnica, por ejemplo, un manómetro disponible en Mensor.

El proceso comprende quemar un combustible 35 con un gas oxidante 99 en una sección de combustión del horno reformador 201 externa a la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador. El combustible se quema en condiciones eficaces para quemar el combustible para formar un producto gaseoso de combustión 100 que comprende CO₂ y H₂O, y generar calor para suministrar energía para hacer reaccionar la mezcla de gas de alimentación al reformador 15 dentro de la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador. El producto gaseoso de combustión 100 se extrae después de la sección de combustión del horno reformador 201.

Puede usarse cualquier quemador adecuado para introducir el combustible 35 y el gas oxidante 99 en la sección de combustión 203. La combustión del combustible 35 con el gas oxidante 99 genera calor para suministrar energía para hacer reaccionar la mezcla de gas de alimentación al reformador 15 dentro de la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador. El producto gaseoso de combustión 100 se extrae de la sección de combustión del horno reformador 201 y se hace pasar a la sección de convección del horno reformador 201 para suministrar calor a otras corrientes de proceso. La sección de combustión (denominada también sección radiante, de radiación o radiativa) del horno reformador es aquella parte del horno reformador que contiene la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador. La sección de convección del horno reformador es aquella parte del horno reformador que contiene intercambiadores de calor distintos de la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador. Los intercambiadores de calor en la sección de convección pueden ser para calentar fluidos de proceso distintos del reformado de la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador, tales como agua/vapor, aire, subproducto gaseoso de la unidad de adsorción por oscilación de presión, mezcla de gas de alimentación al reformador antes de la introducción a los tubos del reformador que contienen catalizador, gas de alimentación al reformador reformado previamente, etc. La sección de convección, si se desea, puede contener también un reformador previo convectivo.

Las condiciones del horno eficaces para quemar el combustible pueden comprender una temperatura del horno que varía de 600 °C a 1500 °C y una presión que varía de 98 kPa a 101,4 kPa (absoluta). Las temperaturas de llama reales generalmente son más altas. La temperatura puede ser según se mide por un termopar, un pirómetro óptico o cualquier otro dispositivo de medición de temperatura calibrado conocido en la técnica para medir temperaturas de horno. La presión puede ser tal como se mide por cualquier sensor de presión adecuado conocido en la técnica, por ejemplo un manómetro disponible en Mensor.

El combustible 35 puede formarse a partir de un subproducto gaseoso 82 de una unidad de adsorción por oscilación de presión 501 y un combustible complementario. El subproducto gaseoso a partir de una unidad de adsorción por oscilación de presión a menudo se denomina gas de cola del adsorbedor por oscilación de presión, y el combustible

complementario a menudo se denomina combustible adicional. El subproducto gaseoso 82 y el combustible complementario pueden calentarse antes de usarlos como combustible. El subproducto gaseoso 82 y el combustible complementario pueden combinarse 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. Como alternativa, el subproducto gaseoso 82 puede introducirse a través del quemador primario y el gas combustible puede introducirse a través de las lanzas cercanas al quemador.

El gas oxidante 99 es un gas que contiene oxígeno y puede ser aire, aire enriquecido en oxígeno, aire agotado en oxígeno, tal como el escape de la turbina de gas, oxígeno de calidad industrial o cualquier otro gas que contenga oxígeno conocido para su uso en un horno reformador para combustión. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 1 y la FIG. 2, el aire 90 puede comprimirse en un ventilador de tiro forzado (no mostrado), calentarse en el intercambiador de calor 214, y hacerse pasar al horno reformador 201 como gas oxidante 99. El aire calentado del intercambiador de calor 214 puede calentarse adicionalmente en la sección de convección del horno reformador 201, si se desea.

El producto gaseoso de combustión 100 puede calentar un número de diferentes corrientes de proceso en la sección de convección del horno reformador 201. El producto gaseoso de combustión 100 puede calentar las corrientes en diversas configuraciones diferentes (orden de calentamiento).

El producto gaseoso de combustión 100 puede calentar la alimentación a un reformador previo 141, la mezcla de gas de alimentación al reformador 15, vapor para formar vapor supercalentado y agua de alimentación a la caldera.

El reformado 25 puede hacerse pasar desde la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador a un reactor de conversión 303. El reformado 25 puede intercambiar calor con un número de corrientes antes de pasar al reactor de conversión 303. Por ejemplo, el reformado 25 extraído de la pluralidad de tubos de reformador que contienen catalizador puede hacerse pasar a una caldera denominada de calor residual donde el reformado 25 calienta la alimentación a la caldera, formando de esta manera una corriente bifásica de agua y vapor que se introduce en un tambor de vapor.

En el reactor de conversión 303, el reformado 25 se hace reaccionar en presencia de un catalizador de conversión en condiciones de reacción suficientes para convertir el reformado 25 para formar H₂ 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 denomina comúnmente reacción de conversión agua-gas o reacción de conversión: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$. La reacción se ve afectada si se hace pasar monóxido de carbono y agua a través de un lecho de un catalizador adecuado. Las condiciones de reacción eficaces para formar hidrógeno adicional en el reformado 25 pueden comprender una segunda temperatura que varía de 190 °C a 500 °C y una segunda presión que varía de 203 kPa a 5.066 kPa (absoluta).

Puede usarse 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 de los mismos. Pueden usarse 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, se usa un catalizador de óxido de hierro/cromia para la conversión a alta temperatura. La conversión a alta temperatura puede preferirse para el presente proceso.

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, se usa un catalizador que comprende cobre metálico, óxido de zinc y uno o más óxidos difícilmente reducibles tales como alúmina o cromia, para la conversión a baja temperatura.

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. Puede usarse un catalizador de cobre soportado formulado adecuadamente para la conversión a temperatura media.

Una combinación puede incluir una secuencia de conversión a alta temperatura, enfriamiento por intercambio de calor directo y conversión a baja temperatura. Si se desea, cualquier fase de conversión puede subdividirse con enfriamiento entre lechos.

El aparato se describe brevemente con referencia a la FIG. 1 y la FIG. 2, que muestran diagramas de flujo de bloques para un aparato de reformado catalítico de hidrocarburo con vapor. La construcción del aparato debería quedar clara a partir de la FIG. 1 y la FIG. 2 junto con la descripción del proceso.

El aparato comprende un reactor de conversión 303, un separador 321, una pluralidad de intercambiadores de calor que conectan operativamente el reactor de conversión 303 al separador 321, una unidad de adsorción por oscilación

de presión 501 dispuesta operativamente para recibir un reformado agotado en agua del separador 321 y un intercambiador de calor 322 dispuesto operativamente entre el separador 321 y la unidad de adsorción por oscilación de presión 501 para calentar el reformado agotado en agua del separador 321.

5 El aparato puede comprender el intercambiador de calor 320 (FIG. 1) o el intercambiador de calor 318 (FIG. 2) que está dispuesto operativamente para calentar la alimentación 376 por transferencia de calor indirecta con el reformado 25 y descargar un efluente 377, del cual una porción es la alimentación 347 al intercambiador de calor 322. El intercambiador de calor 318 puede ser una caldera de baja presión.

10 La pluralidad de intercambiadores de calor puede incluir el intercambiador de calor 316 para calentar el agua importada (agua de constitución) 400 por transferencia de calor indirecta con el reformado 25, el intercambiador de calor 311 y el intercambiador de calor 312 para calentar la materia prima de hidrocarburo 75 por transferencia de calor indirecta con el reformado 25, y el intercambiador de calor 314 para calentar una alimentación al tambor de vapor 220 por transferencia de calor indirecta con el reformado 25.

15 El aparato puede comprender también el intercambiador de calor 214 para calentar el aire de combustión 99 por transferencia de calor indirecta con el agua de alimentación a la caldera y el intercambiador de calor 515 para calentar el subproducto gaseoso 82 de la unidad de adsorción por oscilación de presión 501 por transferencia de calor indirecta con el agua de alimentación a la caldera. El intercambiador de calor 320 (FIG. 1) puede disponerse operativamente para recibir el efluente de agua de alimentación a la caldera del intercambiador de calor 214 y/o el efluente de agua de alimentación a la caldera del intercambiador de calor 515 y/o una porción 241 del condensado de agua 240 del separador 321.

Ejemplo 1

25 Se usó Aspen Plus® de Aspen Technology, Inc. para simular el presente proceso y los procesos comparativos. Se usan las condiciones típicas para reformado catalítico de hidrocarburo con vapor comercial, tal como una materia prima de gas natural y una relación de vapor a carbono. El proceso se simula para un caso con un reformador previo 141 y un reactor de conversión de temperatura media 303.

30 Se simularon un proceso de acuerdo con la invención y un proceso comparativo usando los mismos parámetros de entrada. En la FIG. 1 se muestra el proceso de acuerdo con la invención para el ejemplo 1 que se simuló, e incluye una caldera de calor residual (no mostrada) entre el reformador y el intercambiador de calor 315, y todos los intercambiadores de calor 315, 311, 314, 312, 320, 316, 323, 214 y 515. El proceso comparativo que se simuló es el mismo que el proceso inventivo pero sin el intercambiador de calor 322. En el proceso inventivo, se hace pasar una pequeña porción del efluente 377 al intercambiador de calor 322 para calentar el reformado agotado en agua. Una mayor porción 348 del efluente 377 se hace pasar al desaireador 711. Para el caso comparativo, se hace pasar todo el efluente 377 al desaireador 711 como la corriente 348.

40 El consumo de energía térmica para la producción de hidrógeno para diversos procesos puede compararse usando la energía específica neta (NSE), que tiene unidades de J/Nm^3 , que puede definirse de la siguiente manera

$$NSE = \frac{HHV_{\text{combustible}} * F_{\text{combustible}} + HHV_{\text{alimentación}} * F_{\text{alimentación}} - \Delta H * F_{\text{vapor}}}{HPR}, \text{ donde}$$

45 $HHV_{\text{combustible}}$ es el valor de calentamiento más alto del combustible complementario introducido en la sección de combustión (J/Nm^3),

$F_{\text{combustible}}$ es el caudal de combustible (Nm^3/h),

50 $HHV_{\text{alimentación}}$ es el valor de calentamiento más alto de la materia prima del reformador introducida en el reformador (J/Nm^3),

$F_{\text{alimentación}}$ es el caudal de la materia prima del reformador (Nm^3/h),

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

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

HPR es la tasa de producción de hidrógeno (Nm^3/h).

60 La energía específica neta para el presente proceso mostrado en la FIG. 1 es un 0,06 % menor que para el proceso comparativo, pero el proceso comparativo es más susceptible de corrosión en la tubería entre el tambor separador y la unidad de adsorción por oscilación de presión.

Ejemplo 2

5 Se simuló un proceso de acuerdo con la invención y un proceso comparativo usando los mismos parámetros de entrada que en el ejemplo 2. En la FIG. 2 se muestra el proceso de acuerdo con la invención para el ejemplo 2 que se simuló e incluye una caldera de calor residual (no mostrada) entre el reformador y el intercambiador de calor 315, y todos los intercambiadores de calor 315, 311, 314, 312, 318, 316 y 323. El proceso comparativo que se simuló es el mismo que el proceso inventivo pero sin el intercambiador de calor 322. En el proceso inventivo, una porción del efluente 377 se hace pasar al intercambiador de calor 322 para calentar el reformado agotado en agua. Otra porción 10 348 del efluente 377 se hace pasar al desaireador 711. Para el caso comparativo, se hace pasar todo el efluente 377 al desaireador 711 como la corriente 348.

15 La energía específica neta para el presente proceso mostrado en la FIG. 2 es un 0,3 % menor que para el proceso comparativo, pero el proceso comparativo es más susceptible de corrosión en la tubería entre el tambor separador y la unidad de adsorción por oscilación de presión.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para producir un producto gaseoso que contiene hidrógeno (30) mientras que impide la corrosión de una tubería (357) que conecta operativamente un separador (321) y una unidad de adsorción por oscilación de presión (501), comprendiendo el proceso:
- 5 hacer pasar un reformado (25) desde un reactor de conversión (303) al separador (321) mediante una pluralidad de intercambiadores de calor, estando dispuestos operativamente la pluralidad de intercambiadores de calor entre el reactor de conversión (303) y el separador (321), condensando de esa manera agua en el reformado (25) para formar un condensado de agua (240) y un reformado agotado en agua (29) en el separador (321);
- 10 extraer el condensado de agua (240) del separador (321);
extraer el reformado agotado en agua (29) del separador (321);
calentar el reformado agotado en agua (29) extraído del separador (321);
- 15 hacer pasar al menos una porción del reformado agotado en agua (29) que se calentó a la unidad de adsorción por oscilación de presión (501) para formar el producto gaseoso que contiene hidrógeno (30) y un subproducto gaseoso (82) de la al menos una porción del reformado agotado en agua (29); y
- aislar térmicamente al menos una porción de la tubería (357) que conecta operativamente el separador (321) y la unidad de adsorción por oscilación de presión (501).
- 20 2. El proceso de la reivindicación 1 donde el reformado agotado en agua (29) extraído del separador (321) se calienta al menos 3 grados centígrados o al menos 5 grados centígrados por encima de la temperatura de rocío del reformado agotado en agua (29) y/o donde el reformado agotado en agua (29) extraído del separador (321) se calienta a menos de 20 grados centígrados o menos de 15 grados centígrados por encima de la temperatura de rocío del reformado agotado en agua (29).
- 25 3. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el reformado agotado en agua (29) se calienta en un primer intercambiador de calor (322) por transferencia de calor indirecta con una alimentación (347) al primer intercambiador de calor (322) que comprende agua de alimentación a la caldera, vapor o una mezcla de los mismos, donde cuando la alimentación (347) al primer intercambiador de calor (322) es vapor, el vapor preferiblemente tiene una presión absoluta que varía de 180 kPa a 400 kPa.
- 30 4. El proceso de la reivindicación 3 que comprende además extraer un efluente (349) del primer intercambiador de calor (322), estando formado el efluente (349) por la alimentación (347) al primer intercambiador de calor,
- 35 hacer pasar el efluente (349) del primer intercambiador de calor (322) a un desaireador (711);
calentar una alimentación (376) a un segundo intercambiador de calor (318, 320) por transferencia de calor indirecta con el reformado (25), donde la pluralidad de intercambiadores de calor comprende el segundo intercambiador de calor (318, 320); y
- 40 extraer un efluente (377) del segundo intercambiador de calor (318, 320), estando formado el efluente (377) del segundo intercambiador de calor (318, 320) de la alimentación (376) al segundo intercambiador de calor (318, 320), donde la alimentación (347) al primer intercambiador de calor (322) comprende al menos una porción del efluente (377) del segundo intercambiador de calor (318, 320);
- el proceso comprende además opcionalmente hacer pasar una segunda porción (348) del efluente del segundo intercambiador de calor (318, 320) al desaireador (711) donde la segunda porción (348) rodea el primer intercambiador de calor (322).
- 45 5. El proceso de la reivindicación 4 donde el segundo intercambiador de calor (318) es una caldera de baja de presión y el efluente (377) del segundo intercambiador de calor (318) es vapor que tiene una presión absoluta que varía de 180 kPa a 400 kPa; y donde la alimentación (376) al segundo intercambiador de calor (318) comprende una porción de un efluente de agua desaireada (245) del desaireador (711).
- 50 6. El proceso de la reivindicación 4 donde la alimentación (376) al segundo intercambiador de calor (320) comprende uno o más de (i) al menos una porción de un efluente de agua (215) de un intercambiador de calor (214) para calentar el aire de combustión (99), (ii) al menos una porción de un efluente de agua (516) de un intercambiador de calor (515) para calentar el subproducto gaseoso (82) de la unidad de adsorción por oscilación de presión (501) y (iii) al menos una porción (241) del condensado de agua (240) del separador (321).
- 55 7. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6 que comprende además:
- calentar el agua importada (400) en un tercer intercambiador de calor (316) por transferencia de calor indirecta con el reformado (25), donde la pluralidad de intercambiadores de calor comprende el tercer intercambiador de calor (316), y donde el reformado calienta la alimentación (376) al segundo intercambiador de calor (320) en el segundo intercambiador de calor (320) antes de que el reformado (25) caliente el agua importada (400) en el tercer intercambiador de calor (316); y hacer pasar preferiblemente el agua importada (400) del tercer intercambiador de calor (316) al desaireador (711) de la reivindicación 4.
- 60 65

8. El proceso de la reivindicación 7 que comprende además:

calentar una materia prima de hidrocarburo (75) en un cuarto intercambiador de calor (311) por transferencia de calor indirecta con el reformado (25), donde la pluralidad de intercambiadores de calor comprende el cuarto intercambiador de calor (311), y donde el reformado (25) calienta la materia prima de hidrocarburo (75) en el cuarto intercambiador de calor (311) antes de que el reformado (25) caliente la alimentación (376) al segundo intercambiador de calor (320) en el segundo intercambiador de calor (320).

9. El proceso de la reivindicación 8 que comprende además:

calentar una alimentación al tambor de vapor (220) que comprende una porción de un efluente de agua desaireada (245) del desaireador (711) en un quinto intercambiador de calor (314) por transferencia de calor indirecta con el reformado (25), donde la pluralidad de intercambiadores de calor comprende el quinto intercambiador de calor (314), y donde el reformado calienta la alimentación al tambor de vapor (220) en el quinto intercambiador de calor (314) después que el reformado caliente la materia prima de hidrocarburo (75) en el cuarto intercambiador de calor (311) y antes de que el reformado caliente la alimentación (376) al segundo intercambiador de calor (320) en el segundo intercambiador de calor (320); y hacer pasar la alimentación al tambor de vapor calentada (220) a un tambor de vapor (712); y, opcionalmente, comprende además: calentar la alimentación al tambor de vapor (220) en un sexto intercambiador de calor (315) por transferencia de calor indirecta con el reformado (25), donde el reformado calienta la alimentación al tambor de vapor (220) en el sexto intercambiador de calor (315) antes de que el reformado se haga pasar al reactor de conversión (303), y donde la alimentación al tambor de vapor (220) se calienta en el quinto intercambiador de calor (314) antes de que la alimentación al tambor de vapor (220) se caliente en el sexto intercambiador de calor (315).

10. Un aparato para producir un producto gaseoso que contiene hidrógeno (30) mientras que impide la corrosión de la tubería (357) que conecta operativamente un separador (321) y una unidad de adsorción por oscilación de presión (501), comprendiendo el aparato:

un reactor de conversión (303) que tiene una entrada para recibir un reformado (25) y una salida para descargar el reformado (25) después de hacerlo reaccionar en el reactor de conversión (303); el separador (321) tiene una entrada dispuesta operativamente para recibir el reformado desde el reactor de conversión, una salida para descargar un reformado agotado en agua (29), y una salida para descargar un condensado de agua (240); una pluralidad de intercambiadores de calor dispuestos operativamente entre el reactor de conversión (303) y el separador (321); teniendo la unidad de adsorción por oscilación de presión (501) una entrada dispuesta operativamente para recibir el reformado agotado en agua (29) del separador (321), una salida para descargar el producto gaseoso que contiene hidrógeno (30), y una salida para descargar un subproducto gaseoso (82); y un primer intercambiador de calor (322) dispuesto operativamente entre el separador (321) y la unidad de adsorción por oscilación de presión (501) para calentar el reformado agotado en agua (29) por transferencia de calor indirecta con una alimentación (347) al primer intercambiador de calor (322).

11. El aparato de la reivindicación 10 donde al menos una porción de la tubería (357) que conecta operativamente el separador (321) y la unidad de adsorción por oscilación de presión (501) está aislada térmicamente.

12. El aparato de la reivindicación 10 o la reivindicación 11 que comprende además:

un segundo intercambiador de calor (318, 320) que tiene una primera entrada dispuesta operativamente para recibir el reformado (25) de la salida del reactor de conversión (303) y una primera salida para descargar el reformado (25) del segundo intercambiador de calor (318, 320), una segunda entrada dispuesta operativamente para recibir una alimentación (376) al segundo intercambiador de calor (318, 320) y una segunda salida para descargar un efluente (377) del segundo intercambiador de calor (318, 320), donde el primer intercambiador de calor (322) está dispuesto operativamente para recibir una porción del efluente (377) del segundo intercambiador de calor como la alimentación (347) al primer intercambiador de calor (322), y donde la pluralidad de intercambiadores de calor comprende el segundo intercambiador de calor (318, 320), siendo opcionalmente el segundo intercambiador de calor (318) una caldera de baja presión.

13. El aparato de la reivindicación 12 que comprende además:

un tercer intercambiador de calor (316) para calentar un agua importada (400) por transferencia de calor indirecta con el reformado (25), teniendo el tercer intercambiador de calor (316) una primera entrada dispuesta operativamente para recibir el reformado (25) desde la primera salida del segundo intercambiador de calor (318, 320) y una primera salida para descargar el reformado (25) desde el tercer intercambiador de calor (316), una segunda entrada dispuesta operativamente para recibir el agua importada (400) y una segunda salida para descargar el agua importada (400), donde la pluralidad de intercambiadores de calor comprende el tercer intercambiador de calor;

- 5 un cuarto intercambiador de calor (311) para calentar una materia prima de hidrocarburo (75) por transferencia de calor indirecta con el reformado (25), teniendo el cuarto intercambiador de calor (311) una primera entrada dispuesta operativamente para recibir el reformado (25) de la salida del reactor de conversión (303) y una primera salida para descargar el reformado (25) desde el cuarto intercambiador de calor (311), una segunda entrada dispuesta operativamente para recibir la materia prima de hidrocarburo (75) y una segunda salida para descargar la materia prima de hidrocarburo (75), donde la pluralidad de intercambiadores de calor comprende el cuarto intercambiador de calor;
- 10 un quinto intercambiador de calor (314) para calentar una alimentación al tambor de vapor (220) por transferencia de calor indirecta con el reformado (25), teniendo el quinto intercambiador de calor (314) una primera entrada dispuesta operativamente para recibir el reformado (25) desde la primera salida del cuarto intercambiador de calor (311) y una primera salida para descargar el reformado (25) desde el quinto intercambiador de calor, una segunda entrada dispuesta operativamente para recibir la alimentación al tambor de vapor (220) y una segunda salida para descargar la alimentación al tambor de vapor (220), donde la pluralidad de intercambiadores de calor comprende el quinto intercambiador de calor (314); y
- 15 un sexto intercambiador de calor (312) para calentar la materia prima de hidrocarburo (75) por transferencia de calor indirecta con el reformado (25), teniendo el sexto intercambiador de calor (312) una primera entrada dispuesta operativamente para recibir el reformado (25) desde la primera salida del quinto intercambiador de calor (314) y una primera salida para descargar el reformado (25) desde el sexto intercambiador de calor (312), y una segunda entrada dispuesta operativamente para recibir la materia prima de hidrocarburo (75) y una segunda salida para descargar la materia prima de hidrocarburo (75), donde la segunda entrada del cuarto intercambiador de calor (311) está dispuesta operativamente para recibir la materia prima de hidrocarburo (75) de la segunda salida del sexto intercambiador de calor (312), y donde la pluralidad de intercambiadores de calor comprende el sexto intercambiador de calor (312).
- 20
- 25 14. El aparato de la reivindicación 12 o la reivindicación 13 que comprende además:

- 30 un intercambiador de calor (214) para calentar el aire de combustión (99) por transferencia de calor indirecta con el agua de alimentación a la caldera al intercambiador de calor (214) para calentar el aire de combustión (99), teniendo el intercambiador de calor para calentar el aire de combustión una primera entrada dispuesta operativamente para recibir el agua de alimentación a la caldera y una primera salida para descargar un efluente de agua (215) desde el intercambiador de calor (214) para calentar el aire de combustión (99), una segunda entrada dispuesta operativamente para recibir el aire de combustión (99) y una segunda salida para descargar el aire de combustión (99), donde una segunda entrada del segundo intercambiador de calor (320) está dispuesta operativamente para recibir el efluente de agua (215) desde el intercambiador de calor (214) para calentar el aire de combustión (99); y/o
- 35 un intercambiador de calor (515) para calentar el subproducto gaseoso (82) por transferencia de calor indirecta con el agua de alimentación a la caldera al intercambiador de calor (515) para calentar el subproducto gaseoso (82), teniendo el intercambiador de calor para calentar el subproducto gaseoso (82) una primera entrada dispuesta operativamente para recibir el agua de alimentación a la caldera y una primera salida para descargar un efluente de agua (516) desde el intercambiador de calor (515) para calentar el subproducto gaseoso (82), una segunda entrada dispuesta operativamente para recibir el subproducto gaseoso (82) desde la unidad de adsorción por oscilación de presión (501) y una segunda salida para descargar el subproducto gaseoso (82), donde la segunda entrada del segundo intercambiador de calor (320) está dispuesta operativamente para recibir un efluente de agua (516) desde el intercambiador de calor (515) para calentar el subproducto gaseoso (82);
- 40 y/o donde el segundo intercambiador de calor (320) está dispuesto operativamente para recibir al menos una porción (241) del condensado de agua (240) del separador (321).
- 45

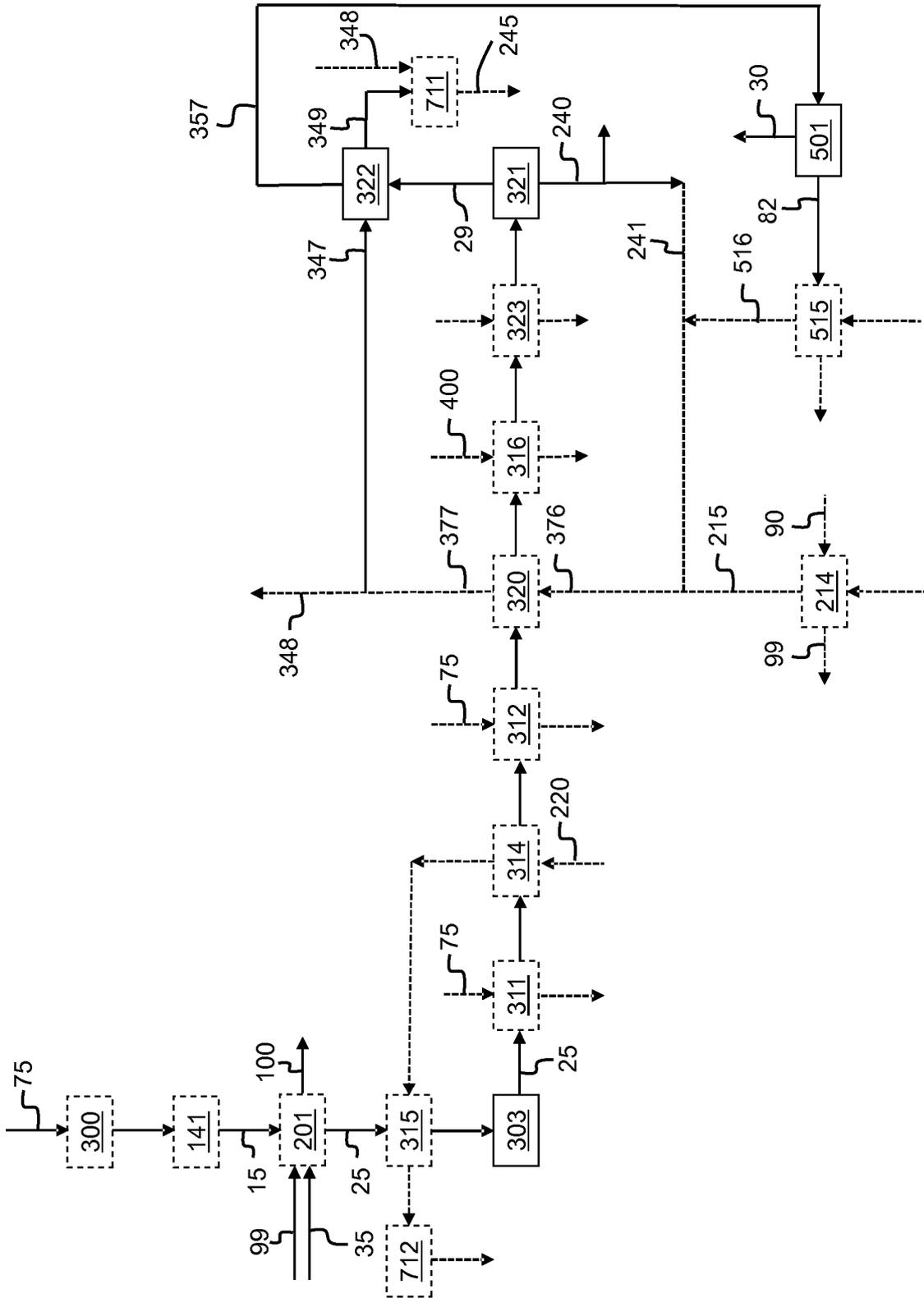


FIG. 1

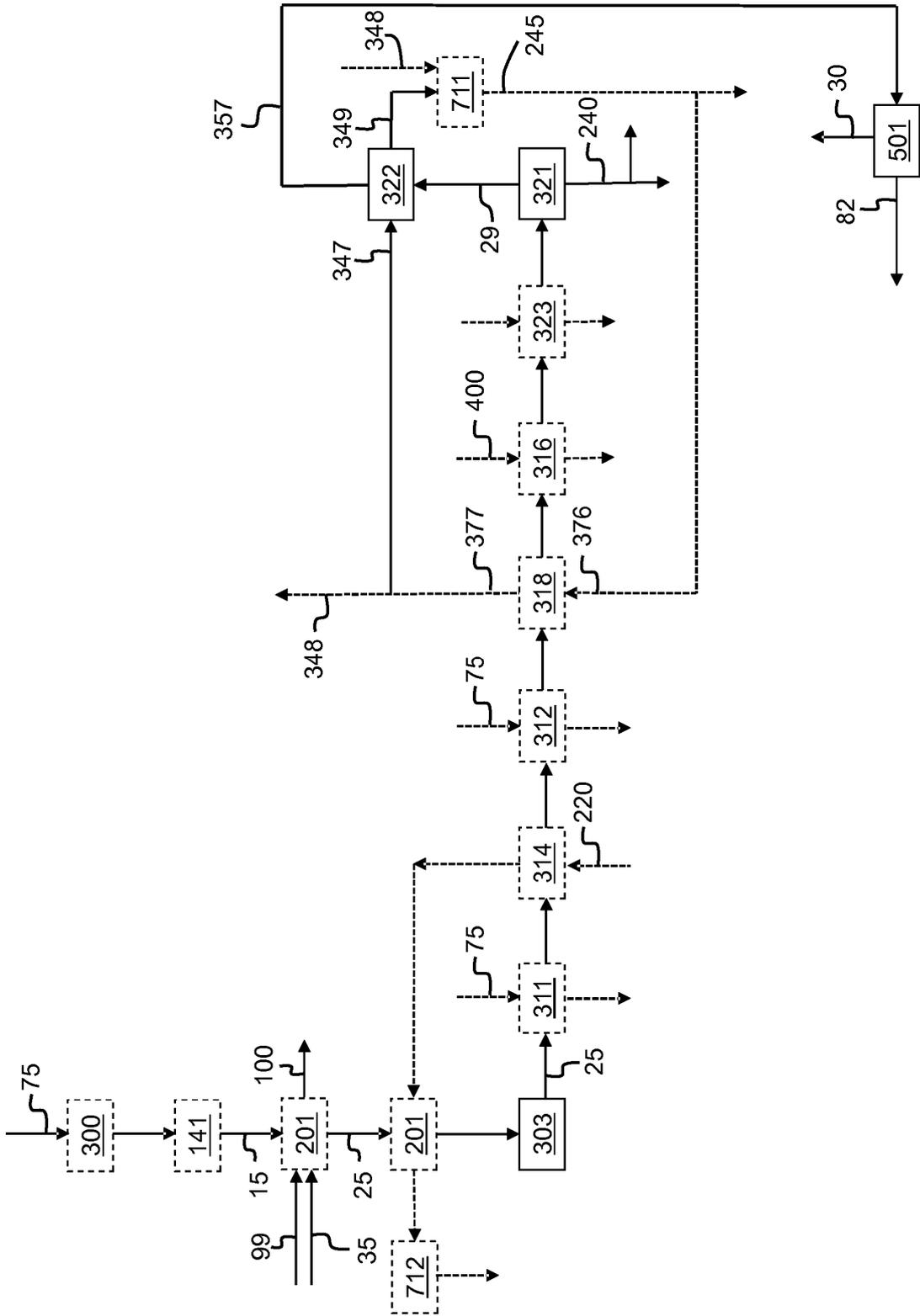


FIG. 2