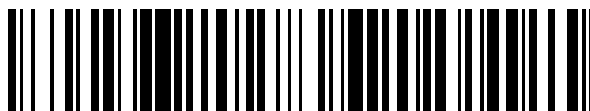


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 611 732**

51 Int. Cl.:

C01B 3/38 (2006.01)

B01D 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.05.2013 E 13168257 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.12.2016 EP 2711337**

54 Título: **Eliminación de gases disueltos para la preparación de agua de alimentación de caldera**

30 Prioridad:

24.09.2012 EP 12185758

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

10.05.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MACMURRAY, JOEL CHARLES;
ROTH, GARY STUART;
SNYDER III, RUSSELL IRA y
LOUGHNEY, GERALD MICHAEL**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 611 732 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

Eliminación de gases disueltos para la preparación de agua de alimentación de caldera

5 **Antecedentes**

Como se cita en el document Mark's Mechanical Engineers Handbook, 6ª Edición, Theodore Baumeister, Editor, McGraw-Hill Book Company, 1958, p. 6-126:

10 "Los gases no condensables liberados de agua en las calderas son probablemente la mayor causa de la
corrosión en los tubos, tambores, economizadores y recalentadores de la caldera. La corrosión de oxígeno
produce picaduras rápidas, y se reconoce que la velocidad de corrosión es directamente proporcional a la
concentración de oxígeno disuelto del agua de alimentación. Otros gases disueltos, tales como dióxido de
15 carbono, sulfuro de hidrógeno, y los compuestos que liberan productos gaseosos también aceleran la velocidad
de ataque a altas presiones y temperaturas.

La eliminación de los gases de agua de alimentación se efectúa en las modernas estaciones de vapor por medios
mecánicos (de vacío) y el purgado de aire térmico, mediante la adición de productos químicos, o por una
combinación de estos procesos. El método básico es calentar el agua por contacto directo con vapor de agua, ya
20 sea en calentadores abiertos o en el tipo más eficiente conocido como calentadores de purgado de aire. En general,
el agua se pulveriza, atomiza, o gotea sobre una pila de bandejas de metal, para presentar la mayor superficie
posible, mientras que el vapor es admitido y dirigido con el fin de barrer los gases no condensables a medida que se
proyectan desde la solución. Mediante el uso de vapor de agua a no menos de 5 psi (227 F) (34,37 kPa) (108 °C), la
distribución eficiente y la ventilación liberal través de un condensador de ventilación, el oxígeno residual se puede
25 reducir a 0,005 ml por litro".

El vapor es una materia prima para procesos catalíticos de reformado con vapor. El agua de alimentación de la
caldera se prepara y se hace vapor desde el agua de caldera para su uso en procesos catalíticos de reformado con
vapor.

30 La industria desea métodos térmicamente eficientes para la eliminación de gases disueltos del agua de
alimentación.

El documento WO2012/078299 divulga un método para el reformado con vapor y el sistema de gestión de agua de
35 la caldera asociado con el mismo. La vaporización instantánea no se divulga.

Breve resumen

40 La presente invención se refiere a un proceso de reformado con vapor catalítico. Más específicamente, la presente
invención se refiere a un método para eliminar los gases disueltos a partir de una alimentación de agua en un
proceso de reformado con vapor catalítico.

Hay varios aspectos del método como se indica a continuación.

45 **Aspecto 1.** Un método para eliminar los gases disueltos a partir de una alimentación de agua en un proceso de
reformado catalítico con vapor, comprendiendo el método:

(a) calentar una primera porción o la totalidad de una corriente de agua de alimentación de la caldera en un
intercambiador de calor por transferencia de calor indirecto con al menos una de una corriente de reformado
50 del proceso de reformado de vapor catalítico y una corriente de gas producto de la combustión del proceso de
reformado de vapor catalítico;

(b) vaporizar instantáneamente la corriente de agua de alimentación de la caldera de vapor y formar de este
modo un agua residual líquida, la corriente de agua de alimentación de la caldera teniendo una primera
temperatura y una primera presión antes de vaporizar instantáneamente;

55 (c) separar los gases disueltos del agua de alimentación con el vapor formado en la etapa (b) formando de
esta manera el agua de alimentación de la caldera adicional de la alimentación de agua; y

(d) combinar el agua de alimentación de la caldera adicional con el agua líquida residual para su uso como
agua de alimentación de la caldera en el proceso de reformado con vapor catalítico.

60 **Aspecto 2.** El método del aspecto 1, donde los gases disueltos separados del agua de alimentación forman
gases en una corriente de ventilación que también contiene vapor, y donde al menos 20 % de la energía
requerida para convertir el agua a una presión y temperatura del agua de alimentación en vapor en una tasa de
flujo de masa, presión y temperatura de la corriente de ventilación es proporcionada por la corriente de agua de
alimentación de la caldera.

65 **Aspecto 3.** El método del aspecto 2, donde al menos 50 %, o al menos 60 %, o al menos 70 %, o al menos 80 %,

o al menos 90 %, o 100 % de la energía requerida para convertir el agua a una presión y temperatura del agua de alimentación en vapor a una tasa de flujo de masa, presión y temperatura de la corriente de ventilación es proporcionada por la corriente de agua de alimentación de la caldera.

5 Aspecto 4. El método del aspecto 1, donde los gases disueltos separados de la alimentación de agua forman gases en una corriente de ventilación que también contiene vapor, y en donde

$$\frac{Q_{BFW}}{Q_{DEA}} > 0,2, \text{ donde } Q_{BFW} = \dot{m}_B (\bar{H}_B - \bar{H}_Z) \text{ y } Q_{DEA} = \dot{m}_C \bar{H}_C - \dot{m}_E \bar{H}_E - (\dot{m}_C - \dot{m}_E) \bar{H}_Z, \text{ donde } \dot{m}_B \text{ es}$$

la tasa de flujo de masa de la corriente de agua de alimentación de la caldera, \dot{m}_C es la tasa de flujo de masa de

10 la alimentación de agua, \dot{m}_E es la tasa de flujo de masa de la corriente de ventilación, \bar{H}_B es la entalpía específica de la corriente de agua de alimentación de la caldera, \bar{H}_Z es la entalpía específica del agua de alimentación de la caldera adicional, \bar{H}_C es la entalpía específica de la alimentación de agua, y \bar{H}_E es la entalpía específica de la corriente de ventilación.

15 Aspecto 5. El método del aspecto 4, en donde $\frac{Q_{BFW}}{Q_{DEA}} > 0,5$, o $\frac{Q_{BFW}}{Q_{DEA}} > 0,6$, o $\frac{Q_{BFW}}{Q_{DEA}} > 0,7$, o $\frac{Q_{BFW}}{Q_{DEA}} > 0,8$, o

$$\frac{Q_{BFW}}{Q_{DEA}} > 0,9, \text{ o } \frac{Q_{BFW}}{Q_{DEA}} = 1.$$

20 Aspecto 6. El método de una cualquiera de los aspectos 1 a 5 donde la primera temperatura varía desde 110 °C a 155 °C o de 115 °C a 155 °C y los primeros rangos de presión de 450 kPa a 1500 kPa.

25 Aspecto 7. El método de uno cualquiera de los aspectos 1 a 6 donde la proyección de agua de alimentación de la caldera vaporizada en la etapa (b) se proyecta a una presión inferior a 450 kPa, o se proyecta a una presión comprendida entre 115 kPa a 170 kPa.

30 Aspecto 8. El método de uno cualquiera de los aspectos 1 a 7 donde la primera porción o la totalidad de la corriente de agua de alimentación de la caldera calentada en la etapa (a) tiene una temperatura de menos de 95 °C o menos de 65 °C y una presión comprendida entre 450 kPa a 1500 kPa antes del calentamiento.

35 Aspecto 9. El método de uno cualquiera de los aspectos 1 a 8 que comprendiendo además:

- medir la primera presión;
- comparar la primera presión medida a un criterio presión de referencia para la primera presión; y
- ajustar la primera presión con una válvula de control de presión en respuesta a la comparación de la primera presión medida con el criterio de la presión de referencia para la primera presión.

40 Aspecto 10. El método de una cualquiera de los aspectos 1 a 9 donde la primera porción de la corriente de agua de alimentación de la caldera se calienta en el intercambiador de calor y una segunda porción de la corriente de agua de alimentación de la caldera pasa por el intercambiador de calor; el método comprendiendo además:

(e) mezclar la primera porción de la corriente de agua de alimentación de la caldera con la segunda porción de la corriente de agua de alimentación de la caldera antes de la etapa (b).

45 Aspecto 11. El método del aspecto 10 donde la primera porción de la corriente de agua de alimentación de la caldera tiene una primera velocidad de flujo de masa, F_1 , y la segunda porción del vapor de agua de alimentación de la caldera tiene una segunda velocidad de flujo de masa, F_2 , donde la primera porción y la segunda porción se

mezclan con una proporción de la tasa de flujo de masa, $\frac{F_1}{F_2}$, el método comprendiendo además:

- medir la temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera antes de la etapa (b) y después de la etapa (e);

50 comparar la temperatura medida con un criterio predeterminado de la temperatura; aumentando la proporción

de la tasa de flujo de masa, $\frac{F_1}{F_2}$, cuando la temperatura medida es menor

de lo requerido por el criterio predeterminado de la temperatura; y disminuyendo la proporción de la tasa de flujo de masa, $\frac{F_1}{F_2}$, cuando la temperatura medida es mayor que la requerida por el criterio de temperatura de referencia.

5 Aspecto 12. El método de uno cualquiera de los aspectos 1 a 9 donde la tasa de flujo de masa de la al menos una de la corriente de reformado y la corriente de gas producto de la combustión que pasan al intercambiador de calor se regulan para controlar el calentamiento entre la primera porción o la totalidad de la corriente de agua de alimentación de la caldera y la al menos una de la corriente de reformado y la corriente de gas producto de la combustión.

10 Aspecto 13. El método del aspecto 12, donde el método comprendiendo además:

medir la temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera antes de la etapa (b);
 15 comparar la temperatura medida con un criterio predeterminado de la temperatura;
 aumentar la tasa de flujo de masa de la al menos una de la corriente de reformado y la corriente de gas producto de la combustión que pasan al intercambiador de calor cuando la temperatura medida es menor que la requerida por el criterio de temperatura de referencia; y
 disminuir la tasa de flujo de masa de la al menos una de la corriente de reformado y la corriente de gas producto de la combustión que pasan al intercambiador de calor cuando la temperatura medida es mayor que
 20 la requerida por el criterio de temperatura de referencia.

Aspecto 14. El método de una cualquiera de los aspectos 11 a 13 donde la proyección de corriente de agua alimentación de la caldera vaporizada en la etapa (b) es de vaporizada instantáneamente en un recipiente, comprendiendo además el método:

25 medir una presión representativa de la presión de vapor en el recipiente;
 comparar la presión medida con un criterio de presión de referencia para la presión de vapor en el recipiente;
 cambiar el criterio de temperatura de referencia para requerir una temperatura medida más alta cuando la presión medida es menor que la requerida por el criterio de la presión de referencia de la presión de vapor en el recipiente; y
 30 cambiar el criterio de la temperatura de referencia para requerir una temperatura medida más baja cuando la presión medida es mayor que la requerida por el criterio de la presión de referencia de la presión de vapor en el recipiente.

35 Aspecto 15. El método de uno cualquiera de los aspectos 1 a 14 donde la primera porción o la totalidad de la corriente de agua de alimentación de la caldera se calienta en intercambiador de calor por transferencia de calor indirecto con la corriente de reformado, el método comprendiendo además:

40 separar la corriente de reformado desde el intercambiador de calor en un adsorbedor de fluctuación de presión para formar un gas producto de hidrógeno y un gas residual de adsorción de fluctuación de presión.

Aspecto 16. El método de uno cualquiera de los aspectos 1 a 15 donde la primera porción o la totalidad de la corriente de agua de alimentación de la caldera se calienta en intercambiador de calor por transferencia de calor indirecto con la corriente de gas producto de la combustión, el método comprendiendo además:

45 separar una corriente de reformado del proceso de reformado catalítico, dicha corriente de reformado puede ser la reformada de la etapa (a), en un adsorbedor de fluctuación de presión para formar un gas producto de hidrógeno y un gas residual de fluctuación de presión de adsorción; y
 la combustión del gas residual de fluctuación de la presión de adsorción con un gas oxidante externo a una pluralidad de tubos de reformado catalítico que contiene en un horno de reformado, formando de esta manera
 50 la corriente de gas producto de la combustión.

Breve descripción de varias vistas de los dibujos

55 La figura 1 es un diagrama de flujo de proceso para un proceso para eliminar los gases disueltos a partir de una alimentación de agua de acuerdo con el presente método.

La figura 2 es un dibujo de un purgador de aire que muestra corrientes de entrada y salida.

60 La figura 3 es un diagrama de flujo de proceso para un proceso comparativo para la eliminación de gases disueltos a partir de una alimentación de agua.

La figura 4 es un diagrama de flujo de proceso para un proceso para eliminar los gases disueltos a partir de una

alimentación de agua de acuerdo con el presente método tanto con la vaporización instantánea y la inyección de vapor.

Descripción detallada

5 Los artículos “un” y “una” como se usan aquí significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica en las formas de realización de la presente invención que se describen en la memoria descriptiva y 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” anterior a sustantivos singulares o plurales o frases de sustantivos denotan un rasgo especificado particular o de características particulares especificadas y puede tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto donde se utiliza. El adjetivo “cualquier” significa uno, algunos o todos indiscriminadamente de cualquier cantidad. El término “y/o” colocado entre una primera entidad y una segunda entidad significa uno de (1) la primera entidad, (2) la segunda entidad, y (3) la primera entidad y la segunda entidad. El término “y/o” colocado entre las dos últimas entidades de una lista de 3 o más entidades significa que al menos una de las entidades en la lista incluye cualquier combinación específica de las entidades en esta lista.

20 La frase “al menos una parte” significa “una parte o la totalidad”. La al menos una porción de una corriente puede tener la misma composición que la corriente de la que se desvía. La al menos una parte de un corriente puede incluir componentes específicos de la corriente de la que se desvía.

Tal como se usa en este documento, “primero”, “segundo”, “tercero”, etc., se utilizan para distinguir entre una pluralidad de etapas y/o características, y no son indicativos de la posición relativa en el tiempo y/o espacio.

25 Tal como se usan en el presente documento, todas las presiones son presiones absolutas a no ser específicamente identificadas como presiones manométricas.

30 La presente invención se refiere a un proceso de reformado con vapor catalítico. Más específicamente, la presente invención se refiere a un método para eliminar los gases disueltos a partir de una alimentación de agua en un proceso de reformado con vapor catalítico.

35 Un proceso de reformado con vapor catalítico, también llamado un proceso de reformado de metano con vapor (SMR), o un proceso de reformado con vapor, se define como cualquier proceso utilizado para convertir material de alimentación de reformador en gas de síntesis por reacción de un hidrocarburo y vapor de agua sobre un catalizador. El término “gas de síntesis”, comúnmente denominado “syngas”, se utiliza en el presente documento para referirse a cualquier mezcla que comprende hidrógeno y monóxido de carbono. La reacción de reformado es

una reacción endotérmica y se puede describir generalmente como $C_nH_m + nH_2O \rightarrow nCO + \left(\frac{m}{2} + n\right)H_2$. El

hidrógeno se genera cuando se genera gas de síntesis.

40 Un reformador catalítico con vapor es un reactor para llevar a cabo la reacción de reformado. Un reformador catalítico con vapor, también llamado un reformador de metano con vapor, se define aquí como cualquier horno de calefacción utilizado para convertir material de alimentación del reformador que contiene hidrógeno y carbono elementales en gas de síntesis mediante una reacción con vapor de agua sobre un catalizador con el calor proporcionado por la combustión de un combustible. El material de alimentación puede ser gas natural, metano, nafta, propano, gas combustible de refinería, gas residual de refinería, u otro material reformador adecuado conocido en la técnica. Las temperaturas de funcionamiento adecuadas oscilan desde 350 °C a 650 °C en la entrada y 750 °C a 950 °C en la salida. Las presiones adecuadas varían de 1 a 50 atm. Las condiciones de funcionamiento preferidas para un reformador catalítico con vapor son conocidas en la técnica.

50 El reformador comprende una sección de combustión (también llamada la sección de radiación) para realizar una reacción de combustión; una pluralidad de tubos que contienen catalizadores para la realización de una reacción de reformado, la pluralidad de tubos que contienen catalizadores situados dentro de la sección de combustión, donde un combustible se quema externamente a la pluralidad de tubos para proporcionar calor para la reacción de reformado y la formación de gases producto de la combustión que contienen; y una sección de intercambiador de calor aguas abajo de la sección de combustión para la recepción de los gases producto de la combustión desde la sección de combustión y para la transferencia de calor de los gases producto de combustión a otras corrientes de proceso.

60 Los gases disueltos pueden incluir, por ejemplo, uno o más de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono. Como se discutió en la sección de antecedentes, los gases disueltos deben ser eliminados para evitar la corrosión en los tubos de caldera, tambores, economizadores y recalentadores.

El método se describe con referencia a la figura 1. A efectos de sencillez y claridad, las descripciones detalladas de dispositivos, circuitos y métodos bien conocidos se omiten para no oscurecer la descripción de la presente invención

con detalles innecesarios.

El método comprende el calentamiento de una primera porción 22 o la totalidad de una corriente de agua de alimentación de la caldera 20 en un intercambiador de calor 14 por transferencia de calor indirecto con al menos una
 5 de una corriente de reformado 30 del proceso de reformado catalítico con vapor y una corriente de gas producto de la combustión 32 del proceso de reformado con vapor catalítico. Como se muestra en la figura 1, una o más corrientes de agua de alimentación de la caldera 6 y 8 se pueden combinar para formar la corriente de agua de alimentación de la caldera 20. La corriente de agua de alimentación de la caldera 20 puede estar dividida en una primera porción 22 que se pasa al intercambiador de calor 14 para ser calentada por al menos una de una corriente
 10 de reformado 30 y una corriente de gas producto de la combustión 32 y una segunda porción 24 que no pasa por el intercambiador de calor 14. La primera porción 22 y la segunda porción 24 son entonces posteriormente mezcladas de nuevo juntas. Alternativamente toda la corriente de agua de alimentación de la caldera 20 puede hacerse pasar al intercambiador de calor 14 para ser calentada por al menos una de una corriente de reformado 30 y una corriente de gas producto de la combustión 32. Antes del calentamiento, la corriente de agua de alimentación de la caldera 20 (y por consiguiente la primera porción 22) puede tener una temperatura de menos de 95 °C o menos de 65 °C y puede tener una presión comprendida entre 450 kPa a 1500 kPa.

El intercambiador de calor 14 puede ser cualquier intercambiador de calor adecuado para la transferencia de calor de la corriente de reformado 30 y/o la corriente de gas producto de la combustión 32. Aunque se muestra en el
 20 dibujo como un único intercambiador de calor, uno o más intercambiadores de calor se pueden usar, compatibles con el sentido de que los artículos "un", "una", y "el/la" significan "uno o más" cuando se aplican a cualquier característica.

La corriente de gas producto de la combustión 32 comprende los gases productos de combustión desde la sección
 25 de combustión del reformador catalítico con vapor. En el caso donde la corriente de gas producto de la combustión 32 calienta la primera porción o la totalidad de la corriente de agua de alimentación de la caldera, el intercambiador de calor 14 puede estar en lo que se conoce como la sección de convección del reformador.

El gas de proceso formado por la reacción de reformado se llama un reformado. En la presente memoria, un
 30 reformado es cualquier mezcla que comprende hidrógeno y monóxido de carbono formado a partir de la reacción de reformado de un hidrocarburo y vapor de agua e incluye el reformado que ha sido desplazado en una reacción de desplazamiento agua-gas. La corriente de reformado 30 es cualquier corriente que comprende el reformado del proceso de reformado catalítico con vapor incluyendo reformado desplazado o reformado modificado de otro modo.

Los reactores de desplazamiento, también llamados reactores de desplazamiento de agua-gas, y su funcionamiento son bien conocidos en la técnica. Se pueden emplear uno o más reactores de desplazamiento. Los reactores de desplazamiento comprenden un recipiente que contiene un lecho de catalizador a través del cual CO y H₂O fluyen para formar H₂ y CO₂. El uno o más reactores de desplazamiento pueden ser de temperatura alta, de temperatura media, de temperatura baja y/o reactores de desplazamiento isotérmicos. Los reactores de desplazamiento de temperatura alta pueden funcionar a aproximadamente 350 °C a 450°C y típicamente usar un catalizador de metal no noble, tales como mezcla de Fe₃O₄ y Cr₂O₃ (es decir, aproximadamente 55 % en peso de Fe y 6 % Cr). Los reactores de desplazamiento a baja temperatura pueden funcionar a aproximadamente 200 °C a 260 °C y pueden utilizar un catalizador no noble tal como Cu-ZnO-Al₂O₃ o Cu-ZnO-Cr₂O₃. Los reactores de desplazamiento de temperatura mediana operan en el mismo rango de temperatura que los reactores de desplazamiento de temperatura baja y el uso de un catalizador similar. Los reactores de desplazamiento de temperatura baja se usan en combinación con los reactores de desplazamiento de temperatura alta, mientras que los reactores de desplazamiento de temperatura media pueden operar sin un reactor de desplazamiento de temperatura alta aguas arriba. Un catalizador de desplazamiento de temperatura media está diseñado para resistir un aumento de temperatura superior a través del lecho de catalizador. Algo de CO queda después de la reacción de desplazamiento
 50 agua-gas y por lo tanto hay CO en el efluente del reactor de desplazamiento.

Los reactores de desplazamiento y los catalizadores de conversión adecuados son conocidos en la técnica. Cualquier catalizador de desplazamiento adecuado puede ser utilizado. Un experto en la materia puede seleccionar fácilmente un catalizador de desplazamiento adecuado.

El método comprende vaporizar instantáneamente la corriente de agua de alimentación de la caldera de vapor 20 formando la corriente 26 y un agua líquida residual 28. La corriente de agua de alimentación de la caldera 20 puede ser vaporizada instantáneamente en el recipiente 90, que puede ser llamado un purgador de aire. Una corriente de vapor adicional (no mostrado) puede ser introducida en el recipiente 90, si se desea.

La corriente de agua de alimentación de la caldera 20 tiene una primera temperatura y una primera presión antes de la vaporización instantánea. La primera temperatura puede variar de 110 °C a 155 °C o 115 °C a 155 °C. La primera presión puede variar desde 450 kPa a 1500 kPa.

El agua de alimentación de la caldera puede ser de vaporizada instantáneamente a una presión inferior a 450 kPa, o puede ser vaporizada instantáneamente a una presión comprendida entre 115 kPa a 170 kPa.

El método comprende además separar gases disueltos del agua de la alimentación 10 con el vapor 26 formado por vaporización instantánea y vapor adicional, si se añade, formando de este modo el agua de alimentación de la caldera adicional 12 de la alimentación de agua 10.

5 Los gases disueltos se separan de la alimentación de agua 10 en la sección de separación 80 del recipiente 90 para formar gases en corriente de vapor 84. La corriente de vapor 84 comprende vapor y gases formados a partir de los gases disueltos separados de la alimentación de agua. Los gases separados de la alimentación de agua se eliminan del recipiente 90 a través de corriente de ventilación 94, que también contiene vapor.

10 El método difiere de los métodos de purgado de aire convencionales ya que ningún vapor adicional debe ser añadido directamente al purgador de aire. La ventaja de la vaporización instantánea del agua de alimentación de la caldera para generar vapor para la separación, en lugar de la inyección directa de vapor de agua se aumenta la recuperación de energía desde el proceso de reformado con vapor catalítico o la corriente de gas producto de la combustión. En realizaciones ventajosas no se añade vapor de agua adicional al purgador de aire. En principio, sin embargo, el método puede incluir vaporizar de forma instantáneamente el agua de alimentación de la caldera y también la adición directa de vapor al purgador de aire. Cuanto más vapor para la extracción es generado por la vaporización instantánea del agua de alimentación de la caldera, y, en consecuencia, menos se inyecta en forma de vapor adicional, más de la energía del proceso de reformado de vapor catalítico o corriente de gas producto de la combustión se puede recuperar y se ahorra energía en la producción de vapor adicional.

20 Un criterio de diseño para la extracción de gases disueltos del agua de alimentación se puede seleccionar, por ejemplo, la cantidad de vapor en la corriente de ventilación expresada como una fracción, ϕ , de alimentación de agua. Por ejemplo, los criterios de diseño pueden ser que la tasa de flujo de masa de vapor en la corriente de ventilación es de 0,5 % de la tasa de flujo de masa de alimentación de agua (es decir, $\phi = 0,005$). Desde un punto de vista de diseño, esto establece la cantidad de energía necesaria para formar el vapor de agua en la corriente de ventilación.

30 Ventajosamente, al menos 20 % de la energía requerida para convertir el agua a una presión y temperatura de la corriente de alimentación de agua en vapor de agua a una tasa de flujo de masa, presión y temperatura de la corriente de ventilación 94 se proporciona por la corriente de agua de alimentación de la caldera 20. El equilibrio de la energía puede ser proporcionado por inyección directa de vapor u otra fuente de calor. Más ventajosamente, al menos 50 %, o al menos 60 %, o al menos 70 %, o al menos 80 %, o al menos 90 % de la energía requerida para convertir el agua a una presión y temperatura de la corriente de alimentación de agua en vapor a una velocidad de flujo de masa, presión y temperatura de la corriente de ventilación 94 se proporciona por la corriente de agua de alimentación de la caldera 20. Lo más ventajosamente, toda la energía necesaria para convertir el agua a una presión y temperatura de la alimentación de agua en vapor de agua a una tasa de flujo de masa, presión y temperatura de la corriente de ventilación 94 se proporciona por la corriente de agua de alimentación de la caldera 20.

40 La energía total requerida para convertir el agua a una presión y temperatura de la corriente de alimentación de agua en vapor de agua a una tasa de flujo de masa, presión y temperatura de la corriente de ventilación, y el porcentaje de energía proporcionada por la corriente de agua de alimentación de la caldera se puede calcular fácilmente a partir de los equilibrios de material y de energía. Entalpías de vapor y agua están disponibles a partir de las tablas de vapor estándar. La contribución de los gases disueltos a los balances de energía y de masa puede ser ignorada.

50 Por ejemplo, con referencia a la figura 2, un balance de materia y energía pueden formarse alrededor del purgador de aire, donde la corriente B es agua de alimentación de la caldera calentada, la corriente C es alimentación de agua, la corriente D es vapor inyectado, la corriente E es la corriente de ventilación, la corriente Z es el agua adicional de alimentación de la caldera que abandona la sección de separación, y la corriente F es el agua de alimentación de la caldera que abandona el purgador de aire.

La tasa de flujo de masa, \dot{m}_E de vapor en la corriente de ventilación E, puede calcularse a partir de los criterios de diseño cómo $\dot{m}_E = \phi \times \dot{m}_C$, donde \dot{m}_C es la tasa de flujo de masa de la corriente de alimentación de agua C.

55 El balance de masa general para el purgador de aire es $\dot{m}_C + \dot{m}_B + \dot{m}_D = \dot{m}_E + \dot{m}_F$, donde \dot{m}_C es la tasa de flujo de masa de la corriente de C, \dot{m}_B es la tasa de flujo de masa de la corriente B, \dot{m}_D es la tasa de flujo de masa de corriente de D, \dot{m}_E es la tasa de flujo de masa de la corriente E, y \dot{m}_F es la tasa de flujo de masa de la corriente de F.

60 A partir de un balance de energía, la energía total, Q_{DEA} , requerida para convertir el agua a una presión y temperatura de la corriente de alimentación de agua C en vapor a una velocidad de flujo de masa, \dot{m}_E , y la presión

y la temperatura de la corriente de ventilación E pueden calcularse a partir de $Q_{DEA} = \dot{m}_C \bar{H}_C - \dot{m}_E \bar{H}_E - (\dot{m}_C - \dot{m}_E) \bar{H}_Z$, donde \bar{H}_C es la entalpía específica de la corriente C, \bar{H}_E es la entalpía específica de la corriente E, \bar{H}_Z es la entalpía específica en el punto Z, que es la entalpía de agua saturada que abandona la sección de separación a la temperatura y presión del purgador de aire (es decir, el agua de alimentación de la caldera adicional formada a partir de la alimentación de agua).

La entalpía específica, \bar{H}_Z , del agua que abandona la sección de agotamiento en la corriente Z, se puede determinar a partir de tablas de vapor como la entalpía de agua saturada a la temperatura y presión en el purgador de aire. La entalpía específica, \bar{H}_E , del vapor que abandona la corriente de ventilación E, se puede determinar a partir de tablas de vapor como la entalpía específica de vapor saturado a la temperatura y presión en el purgador de aire. La entalpía específica, \bar{H}_C , de la corriente de la alimentación de agua C puede ser determinada a partir de la temperatura y la presión de la corriente de alimentación de agua y la tabla o cálculo de propiedad termodinámica adecuada.

A continuación, el porcentaje de la energía proporcionada por la corriente de agua de alimentación de la caldera para convertir el agua a una presión y temperatura de la corriente de alimentación de agua en vapor a una velocidad de flujo de masa, la presión y temperatura de la corriente de ventilación es $\frac{Q_{BFW}}{Q_{DEA}}$ expresado como un porcentaje,

donde $Q_{BFW} = \dot{m}_B (\bar{H}_B - \bar{H}_Z)$ donde \dot{m}_B es la tasa de flujo de masa de la caldera de la corriente de agua de alimentación B, \bar{H}_B es la entalpía específica de la caldera de alimentación de corriente de agua B, y \bar{H}_Z es la entalpía específica de agua saturada a la temperatura y la presión del purgador de aire.

En caso de corriente de vapor inyectada D, la contribución de la energía del vapor Q_{vapor} puede ser calculada a partir de $Q_{vapor} = \dot{m}_D (\bar{H}_D - \bar{H}_Z)$, donde \bar{H}_D es la entalpía específica del corriente D, y \bar{H}_Z es la entalpía específica de agua saturada a la temperatura y la presión del purgador de aire. En caso de que tanto el vapor y el agua de alimentación de la caldera calentada se introduzcan en el purgador de aire sin otro calentamiento o enfriamiento, un balance de energía requiere $Q_{DEA} = Q_{vapor} + Q_{BFW}$.

La alimentación de agua 10 comprende lo que se refiere a menudo como "agua de reposición". El agua de alimentación 10 también puede comprender agua condensada del reformado. La alimentación de agua se puede acondicionar antes de ser alimentada al recipiente 90. Los sólidos en suspensión pueden ser quitados por sedimentación y decantación y/o por filtración. El agua puede ser tratada químicamente y/o por intercambio catiónico para eliminar la dureza. El agua se puede desmineralizada para la eliminación completa de los sólidos disueltos.

El método comprendiendo además la combinación de agua de alimentación de la caldera adicional 12 con el agua en estado líquido residual 28 para su uso como agua de alimentación de la caldera 40 en el proceso de reformado catalítico con vapor.

El método puede comprender además la medición de la presión de la corriente de agua de alimentación de la caldera 20 antes la vaporización instantánea, la comparación de la presión medida a un criterio de la presión de referencia de la presión, y el ajuste de la presión con una válvula de control de presión en respuesta a la comparación de la presión medida con el criterio de referencia de la presión. Como se muestra en la figura 1, la presión de la corriente de agua de alimentación de la caldera 20 en el intercambiador de calor 14 se puede mantener mediante una válvula de control de presión 70. La presión se mantiene para evitar ebullición de la corriente de agua de alimentación de la caldera en el intercambiador de calor.

La presión se puede medir, por ejemplo, por un transductor de presión, y se compara con el criterio de referencia por el controlador de presión 25. El controlador de presión 25 puede enviar una señal a la válvula de control de presión 70 para ajustar la presión en respuesta a la presión medida. El controlador de presión 25 y la válvula de control de presión 70 pueden ser dispositivos independientes o una sola unidad.

El criterio de la presión de referencia puede ser, por ejemplo, una presión de referencia o un rango de presión de referencia. El criterio de la presión de referencia puede incluir una zona muerta. Cualquier criterio o criterios de presión de referencia adecuados pueden ser utilizados.

La temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera 20 antes de la vaporización instantánea puede

ser controlada en cualquier número de maneras.

Por ejemplo, cuando la corriente de agua de alimentación de la caldera se divide en una primera porción 22 y una segunda porción 24, la primera porción 22 tiene una primera velocidad de flujo de masa, F_1 , y la segunda porción 24 del vapor de agua de alimentación de la caldera tiene una segunda velocidad de flujo de masa, F_2 . Después de calentar la primera porción 22, la primera porción y la segunda porción se mezclan con una proporción de la tasa de flujo de masa, $\frac{F_1}{F_2}$

Para controlar la temperatura, el método puede comprender además la medición de la temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera 20 después de la mezcla y antes de la vaporización instantánea. La temperatura se puede medir, por ejemplo, por un termopar como parte de un controlador de temperatura 15. La temperatura medida puede entonces ser comparada con un criterio de temperatura de referencia de control de temperatura 15. El criterio de temperatura de referencia puede ser, por ejemplo, una temperatura de referencia o un rango de temperatura de referencia. El criterio de la temperatura de referencia puede incluir una zona muerta. Cualquier criterio o criterios de temperatura de referencia adecuados pueden ser utilizados.

En respuesta a la comparación de la temperatura medida al criterio de temperatura de referencia, la proporción de la tasa de flujo de masa, $\frac{F_1}{F_2}$, se incrementa cuando la temperatura medida es menor que la requerida por el criterio de temperatura de referencia, y la proporción de la tasa de flujo de masa, $\frac{F_1}{F_2}$, se reduce cuando la temperatura

medida es mayor que la requerida por el criterio de temperatura de referencia. Como se muestra en la figura 1, las velocidades de flujo de masa relativas de la primera porción 22 y la segunda porción 24 están reguladas por válvula 50. El controlador 15 envía una señal a la válvula 50 sensible a la comparación de la temperatura medida al criterio de la temperatura de referencia para aumentar o disminuir la tasa de flujo de masa del agua de alimentación de la caldera desviada alrededor de intercambiador de calor 14. Alternativamente válvula 50 se puede colocar en la línea de la primera porción de la corriente de agua de alimentación de la caldera.

Pasar una mayor porción de la corriente de agua de alimentación de la caldera a través del intercambiador de calor 14 aumenta la temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera, mientras que desviar una mayor porción de la corriente de agua de alimentación de la caldera en todo el intercambiador de calor 14 disminuye la temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera antes de la vaporización instantánea.

Alternativamente, la temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera 20 puede ser controlada mediante la regulación de la tasa de flujo de masa de la corriente de reformado 30 y/o la tasa de flujo de masa de la corriente de gas producto de la combustión 32 que se utiliza para calentar la corriente de agua de alimentación de la caldera 20 en el intercambiador de calor 14. En esta alternativa, el método comprende la medición de la temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera 20 después del calentamiento y antes de la vaporización instantánea. La temperatura se puede medir, por ejemplo, por un termopar como parte del controlador de temperatura 15. La temperatura medida puede entonces ser comparada con un criterio de temperatura de referencia de control de temperatura 15. El criterio de temperatura de referencia puede ser, por ejemplo, una temperatura de referencia o un rango de temperatura de referencia. El criterio de la temperatura de referencia puede incluir una zona muerta. Cualquier criterio o criterios de temperatura de referencia adecuados pueden ser utilizados.

En respuesta a la comparación de la temperatura medida al criterio de la temperatura de referencia, la tasa de flujo de masa de la corriente de reformado 30 y/o la corriente de gas producto de la combustión 32 que se pasa al intercambiador de calor 14 se incrementa cuando la temperatura medida es menor que la requerida por el criterio de temperatura de referencia, y la tasa de flujo de masa de la corriente de reformado 30 y/o la corriente de gas producto de la combustión 32 que se pasa al intercambiador de calor 14 se reduce cuando la temperatura medida es mayor que la requerida por el criterio de temperatura de referencia.

La tasa de masa de la corriente de reformado 30 y/o la corriente de gas producto de la combustión 32 puede ser regulada mediante la formación de una corriente de desviación 31 de reformado y/o una corriente de desviación 33 de los gases producto de combustión y la regulación de las velocidades de flujo de masa usando la válvula 60. El controlador 15 envía una señal a la válvula 60 sensible a la comparación de la temperatura medida al criterio de la temperatura de referencia para aumentar o disminuir la tasa de flujo de masa de reformado y/o gas producto de la combustión desviada alrededor del intercambiador de calor 14.

El control de la temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera antes de la vaporización instantánea puede incluir una combinación de los métodos de control descritos anteriormente, pero esto puede añadir una complejidad innecesaria al método.

El criterio de la temperatura de referencia utilizado por el controlador 15 se puede ajustar en respuesta a la presión de vapor en el recipiente 90. Esto proporciona el beneficio/ventajas de controlar la cantidad de corriente de ventilación 94 a un nivel deseado que logra tanto el nivel de purgado de aire requerido y reducir al mínimo la pérdida de energía y agua en la corriente de ventilación.

5 El método puede comprender además la medición de una presión representativa de la presión de vapor en el recipiente 90. La presión de vapor se puede medir en el recipiente 90 y/o en la línea de salida desde el recipiente 90. La presión de vapor puede ser medida por un transductor de presión como parte del controlador de presión 45.

10 El método puede comprender entonces, además, comparar la presión medida a un criterio presión de referencia para la presión de vapor en el recipiente 90. Un controlador 45 envía una señal para cambiar el criterio predeterminado de la temperatura para requerir una temperatura medida más alta cuando la presión medida es menor que el requerido por el criterio de la presión de referencia de la presión de vapor en el recipiente 90 y para cambiar el criterio predeterminado de la temperatura requerida a una temperatura medida más baja cuando la presión medida es mayor que la requerida por el criterio de la presión de referencia de la presión de vapor en el recipiente 90.

20 El criterio de presión de referencia puede ser, por ejemplo, una presión de referencia o un rango de presión de referencia. El criterio de la presión de referencia puede incluir zona muerta. Cualquier criterio o criterios de presión de referencia adecuados pueden ser utilizados.

25 El nivel del líquido en el recipiente 90 puede ser controlado por el controlador de nivel 35. El controlador de nivel 35 detecta el nivel de líquido en el recipiente 90 y controla la velocidad de corriente de alimentación de agua 10 a través de la válvula 38.

30 A medida que el método se integra con un proceso de reformado catalítico con vapor, el reformado puede separarse en un adsorbedor de fluctuación de presión para formar un gas producto de hidrógeno y un gas residual de fluctuación de presión de adsorción, y el gas residual de fluctuación de presión de adsorción se puede quemar con un gas oxidante externo a la pluralidad de tubos del reformador que contienen catalizador en el horno reformador formando de ese modo la corriente de gas producto de la combustión.

Ejemplos

35 Los procesos para el purgado de aire el agua se simularon utilizando software de simulación por ordenador para determinar el efecto de modificaciones del proceso en la eficiencia energética.

Ejemplo 1 - Caso comparativo

40 La figura 3 es un diagrama de flujo de proceso para un caso comparativo. Las condiciones de la corriente en varios puntos (A-F) en el diagrama de flujo del proceso se enumeran en la Tabla 1.

45 El agua de alimentación de la caldera 220 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto A se pasa a través del intercambiador de calor 214 para intercambiar calor por transferencia de calor indirecto con una corriente de proceso caliente 230. Después del intercambio de calor, el agua de alimentación de la caldera tiene las condiciones de proceso indicadas en el punto B.

Tabla 1. Condiciones de la corriente para el Ejemplo 1.

Corriente	Tasa de flujo (kg/h)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
A	136,078	50	205
B	136,078	97	136
C	158,758	97	343
D	4,041	148	446
E	794	108	136
F	298,082	103	136

50 El agua de alimentación de la caldera 220 se introduce en el purgador de aire 290 por debajo de la sección de separación 280 y el líquido de agua 228 se acumula en la parte inferior del purgador de aire 290. El agua de composición 210 que tiene condiciones de proceso indicadas en el punto C se introduce en la parte superior del purgador de aire 290 por encima de la sección de separación 280. El vapor 200 que tienen las condiciones del proceso indicadas en el punto D se introduce por debajo de la sección de separación 280 del purgador de aire 290 para separar los gases disueltos del agua de composición 210. Una corriente de ventilación 294 que comprende los gases disueltos y que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto E se extrae de la parte superior del purgador de aire 290. El agua de alimentación de la caldera 240 que tiene condiciones de proceso en el punto F se extrae de la parte inferior del purgador de aire 290.

La energía recuperada a partir de una corriente de gas de proceso caliente es 7,5 MW, que es la misma que la ganancia de entalpía por el agua de alimentación de la caldera que va desde el punto A al punto B.

Ejemplo 2 - Caso comparativo

5 La figura 3 es un diagrama de flujo de proceso para otro caso comparativo. Las condiciones de la corriente en varios puntos (A-F) en el diagrama de flujo del proceso se enumeran en la Tabla 2. En comparación con el Ejemplo 1, la presión de las corrientes A y B se incrementa.

10 El agua de alimentación de la caldera 220 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto A se pasa a través del intercambiador de calor 214 para intercambiar calor por transferencia de calor indirecto con una corriente de proceso caliente 230. Después del intercambio de calor, el agua de alimentación de la caldera tiene las condiciones de proceso indicadas en el punto B.

15 Tabla 2. Condiciones de la corriente para el Ejemplo 2.

Corriente	Tasa de flujo (kg/h)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
A	136,078	50	1,135
B	136,078	97	1,066
C	158,758	97	343
D	4,041	148	446
E	794	108	136
F	298,082	103	136

20 El agua de alimentación de la caldera 220 se introduce en purgador de aire 290 y el líquido de agua 228 se acumula en la parte inferior del purgador de aire 290. El agua de composición 210 que tiene las condiciones de proceso indicadas en el punto C se introduce en la parte superior del purgador de aire 290 por encima de la sección de separación 280. El vapor 200 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto D se introduce por debajo de la sección de separación 280 del purgador de aire 290 para separar los gases disueltos del agua de compensación 210. La corriente de ventilación 294 que comprende los gases disueltos y que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto E se extrae de la parte superior del purgador de aire 290. El agua de alimentación de la caldera 240 que tiene condiciones de proceso en el punto F se extrae de la parte inferior del purgador de aire 290.

30 La energía recuperada a partir de una corriente de gas de proceso caliente 230 es de 7,5 MW, que es la misma que la ganancia de entalpía en la formación de la corriente B a partir de la corriente A. La energía recuperada es la misma que en el ejemplo 1 a pesar de que la presión de los corrientes A y B se incrementa en comparación con el ejemplo 1. Estos resultados muestran que la presión tiene un efecto pequeño sobre la entalpía de la corriente B.

Ejemplo 3 - Caso de vaporización instantánea

35 El ejemplo 3 se describe utilizando el diagrama de flujo de proceso de la figura 1.

Las condiciones de la corriente en varios puntos (A-F) en el diagrama de flujo del proceso de la figura 1 se enumeran en la Tabla 3 junto con los resultados de la simulación para este caso.

40 El agua de alimentación de la caldera 20 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto A se pasa a través del intercambiador de calor 14 para el intercambio de calor por transferencia de calor indirecto con una corriente de proceso caliente 30, 32 resultante en agua de alimentación de la caldera 20 que tiene las condiciones de proceso indicadas en el punto B.

45 Tabla 3. condiciones de la corriente para el Ejemplo 3.

Corriente	Tasa de flujo (kg/h)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
A	136,078	50	1,135
B	136,078	124	1,066
C	158,758	97	343
D	-	-	-
E	794	108	136
F	294,042	108	136

50 El agua de alimentación de la caldera 20 se introduce en el recipiente 90 por debajo de la sección de separación 80 y por encima de la piscina de agua líquida. La alimentación de agua 10 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto C se introduce en la parte superior de recipiente 90 por encima de la sección de separación 80. No se añade vapor adicional al recipiente 90. El vapor 26 vaporizado de forma instantáneamente del agua de

alimentación de la caldera separa los gases de alimentación de agua 10 disueltos. La corriente de ventilación 94 que comprende los gases disueltos y que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto E se extrae de la parte superior del recipiente 90 mientras que el agua de alimentación de la caldera 40 que tiene condiciones de proceso indicadas en el punto F se extrae de la parte inferior del recipiente 90.

5 La energía recuperada a partir de la corriente de proceso caliente para el ejemplo 3 (caso de vaporización instantánea) es 11,8 MW frente a solo 7,5 MW para el ejemplo 1 (caso comparativo) que resulta en una mejor eficiencia energética global para el proceso.

10 **Ejemplo 4 - Vaporización instantánea con inyección de vapor**

El ejemplo 4 se describe utilizando el diagrama de flujo de proceso de la figura 4.

15 En el ejemplo 4, el 20 % de la energía requerida para formar el vapor de agua en la corriente de ventilación es proporcionado por la corriente de agua de alimentación de la caldera y el 80 % es proporcionado por inyección de vapor.

Las condiciones de la corriente en varios puntos (A-F) en el diagrama de flujo del proceso de la figura 4 se enumeran en la Tabla 4 junto con los resultados de la simulación para este caso.

20 Tabla 4. Condiciones de la corriente para el Ejemplo 4.

Corriente	Tasa de flujo (kg/h)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
A	136,078	50	1135
B	136,078	111,5	1066
C	158,758	97	343
D	3,233	148	446
E	794	108	136
F	297,277	108	136

25 El agua de alimentación de la caldera 420 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto A se pasa a través del intercambiador de calor 414 para intercambiar calor por transferencia de calor indirecto con una corriente de proceso caliente 430 resultante en agua para la caldera 420 que tiene las condiciones de proceso indicadas en el punto B.

30 El agua de alimentación de la caldera 420 se introduce en el recipiente 490 por debajo de la sección de separación 480 y por encima de la piscina de agua líquida. La alimentación de agua 410 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto C se introduce en la parte superior del recipiente 490. El vapor se vaporiza instantáneamente del agua de alimentación de la caldera formando de este modo vapor 426 y agua líquida residual 428. El vapor 400 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto D se introduce en el recipiente 490 por debajo de la sección de separación 480 y por encima de la piscina de agua líquida. El vapor inyectado y el vapor instantáneamente vaporizado a partir del agua de alimentación de la caldera separan los gases disueltos del agua de compensación 410. La corriente de ventilación 494 que comprende los gases disueltos y que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto E se extrae de la parte superior del purgador de aire 490. El agua de alimentación de la caldera 440 que tiene las condiciones de proceso en el punto F se extrae de la parte inferior del recipiente 490.

40 La energía recuperada a partir de la corriente de proceso caliente para el ejemplo 4 (vaporización instantánea con el caso de la inyección de vapor) es 9,8 MW frente a solo 7,5 MW para el ejemplo 1 (caso comparativo) que resulta en una mejor eficiencia energética global para el proceso.

45 **Ejemplo 5 - Vaporización instantánea con inyección de vapor**

El ejemplo 5 se describe utilizando el diagrama de flujo de proceso de la figura 4.

50 En el Ejemplo 5, el 50 % de la energía requerida para formar el vapor de agua en la corriente de ventilación 494 es proporcionado por la corriente de agua de alimentación de la caldera 420 y el 50 % se proporciona por la corriente de inyección de vapor 400.

Tabla 5. Condiciones de la corriente para el Ejemplo 5.

Corriente	Tasa de flujo (kg/h)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
A	136,078	50	1135
B	136,078	116.3	1066
C	158,758	97	343

Corriente	Tasa de flujo (kg/h)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
D	2,020	148	446
E	794	108	136
F	296,064	108	136

Las condiciones de la corriente en varios puntos (A-F) en el diagrama de flujo del proceso de la figura 4 se enumeran en la Tabla 5, junto con los resultados de la simulación para este caso.

- 5 El agua de alimentación de la caldera 420 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto A se pasa a través del intercambiador de calor 414 para intercambiar calor por transferencia de calor indirecto con una corriente de proceso caliente 430 resultante en agua para caldera 420 que tiene las condiciones de proceso indicadas en el punto B.
- 10 El agua de alimentación de la caldera 420 se introduce en el recipiente 490 por debajo de la sección de separación 480 y por encima de la piscina de agua líquida. La alimentación de agua 410 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto C se introduce en la parte superior del recipiente 490. El vapor se vaporiza instantáneamente del agua de alimentación de la caldera formando de este modo vapor 426 y agua líquida residual 428. El vapor 400 que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto D se introduce en el recipiente 490 por debajo de la
- 15 sección de separación 480 y por encima de la piscina de agua líquida. El vapor inyectado y el vapor que se vaporiza instantáneamente del agua de alimentación de la caldera separan los gases disueltos del agua de compensación 410. La corriente de ventilación 494 que comprende los gases disueltos y que tiene las condiciones del proceso indicadas en el punto E se extrae de la parte superior del recipiente 490. El agua de alimentación de la caldera 440 que tiene condiciones de proceso en el punto F se extrae de la parte inferior del recipiente 490.
- 20 La energía recuperada a partir de la corriente de proceso caliente para el ejemplo 5 (vaporización instantánea con el caso de la inyección de vapor) es 10,5 MW en comparación con solo 7,5 MW para el ejemplo 1 (caso comparativo) lo que resulta en una eficiencia energética global mejor para el proceso cuando el agua de alimentación de la caldera es vaporizada instantáneamente.
- 25

REIVINDICACIONES

1. Un método para eliminar los gases disueltos a partir de una alimentación de agua (20) en un proceso de reformado catalítico con vapor, comprendiendo el método:

(a) calentar una primera porción (22) o la totalidad de una corriente de agua de alimentación de la caldera (20) en un intercambiador de calor (14) por transferencia de calor indirecto con al menos una de una corriente de reformado (30) a partir del proceso de reformado con vapor catalítico y una corriente de gas producto de combustión (32) del proceso de reformado de vapor catalítico;

caracterizado por que

(b) la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) es vaporizada instantáneamente formando de ese modo vapor (26) y un agua líquida residual (28), la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) teniendo una primera temperatura y una primera presión antes de la vaporización instantánea;

(c) los gases disueltos se separan de la alimentación de agua (10) con el vapor (26) formado en la etapa (b) formando de esta manera el agua de alimentación de la caldera adicional a partir de la alimentación de agua (12); y

(d) el agua de alimentación de la caldera adicional (12) se combina con el agua líquida residual (28) para su uso como agua de alimentación de la caldera (40) en el proceso de reformado con vapor catalítico.

2. El método de la reivindicación 1, donde los gases disueltos separados de la alimentación de agua (10) forman gases en una corriente de ventilación (84) que también contiene vapor, y donde al menos 20 % de la energía requerida para convertir el agua a una presión y temperatura de la alimentación de agua (10) en vapor de agua a una tasa de flujo de masa, presión y temperatura de la corriente de ventilación (84) es proporcionada por la corriente de agua de alimentación de la caldera (20).

3. El método de la reivindicación 2, donde al menos el 50 % de la energía requerida para convertir el agua a una presión y temperatura de la alimentación de agua (10) en vapor de agua a una velocidad de flujo de masa, presión y temperatura de la corriente de ventilación (84) está provista por la corriente de agua de alimentación de la caldera (20).

4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde las primeras temperaturas oscilan de 110 °C a 155 °C y las primeras presiones oscilan de 450 kPa a 1500 kPa.

5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el agua de alimentación de la caldera vaporizada instantáneamente en la etapa (b) se proyecta a una presión inferior a 450 kPa.

6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde la primera porción (22) o la totalidad de la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) calentada en la etapa (a) tiene una temperatura de menos de 95 °C y una presión comprendida entre 450 kPa a 1500 kPa antes del calentamiento.

7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además:

medir la primera presión;

comparar la primera presión medida a un criterio de presión de referencia para la primera presión; y

ajustar la primera presión con una válvula de control de presión (25) en respuesta a la comparación de la primera presión medida con el criterio de la presión de referencia para la primera presión.

8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde la primera porción (22) de la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) se calienta en el intercambiador de calor (14) y una segunda porción (24) de la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) pasa por el intercambiador de calor (14); el método comprendiendo además:

(e) mezclar la primera porción (22) de la corriente de agua de alimentación de la caldera con la segunda porción (24) de la corriente de agua de alimentación de la caldera antes de la etapa (b).

9. El método de la reivindicación 8, donde la primera porción (22) de la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) tiene una primera velocidad de flujo de masa, F_1 , y la segunda porción (24) del vapor de agua de alimentación de la caldera (20) tiene una segunda velocidad de flujo de masa, F_2 , donde la primera porción (22) y

segunda porción (24) se mezclan con una proporción de la tasa de flujo de masa, $\frac{F_1}{F_2}$, el método comprendiendo

además:

medir la temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) antes de la etapa (b) y después

de la etapa (e);

comparar la temperatura medida con un criterio predeterminado de la temperatura;

aumentar la proporción de la tasa de flujo de masa, $\frac{F_1}{F_2}$, cuando la temperatura medida es inferior a la requerida

por el criterio predeterminado de la temperatura; y

- 5 disminuir la proporción de la tasa de flujo de masa, $\frac{F_1}{F_2}$, cuando la temperatura medida es mayor que la requerida por el criterio de temperatura de referencia.

10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde la tasa de flujo de masa de la al menos una de la corriente de reformado (30) y la corriente de gas producto de la combustión (32) que pasan al intercambiador de calor (14) se regula para controlar la calefacción entre la primera porción (22) o la totalidad de la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) y la al menos una de la corriente de reformado (30) y la corriente de gas producto de la combustión (32).

- 15 11. El método de la reivindicación 10, que comprende además:

medir la temperatura de la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) antes de la etapa (b);

comparar la temperatura medida con un criterio predeterminado de la temperatura;

- 20 aumentar la tasa de flujo de masa de la al menos una de la corriente de reformado (30) y la corriente de gas producto de la combustión (32) que pasan al intercambiador de calor (14) cuando la temperatura medida es menor que la requerida por el criterio de temperatura de referencia; y

disminuir la tasa de flujo de masa de la al menos una de la corriente de reformado (30) y la corriente de gas producto de la combustión (32) que pasan al intercambiador de calor (14) cuando la temperatura medida es mayor que la requerida por el criterio de temperatura de referencia.

- 25 12. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, donde la corriente de agua de alimentación de la caldera vaporizada instantáneamente en la etapa (b) es vaporizada instantáneamente en un recipiente (90), comprendiendo además el método:

medir una presión representativa de la presión de vapor en el recipiente (90);

- 30 comparar la presión medida con un criterio de la presión de referencia de la presión de vapor en el recipiente (90);

cambiar el criterio de temperatura de referencia para requerir una temperatura medida más alta cuando la presión medida es menor que la requerida por el criterio de la presión de referencia de la presión de vapor en el recipiente (90); y

- 35 cambiar el criterio de temperatura de referencia para requerir una temperatura medida más baja cuando la presión medida es mayor que la requerida por el criterio de la presión de referencia de la presión de vapor en el recipiente (90).

- 40 13. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, donde la primera porción (22) o la totalidad de la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) se calienta en el intercambiador de calor (14) por transferencia de calor indirecto con la corriente de reformado (30), el método que comprendiendo además:

separar la corriente de reformado (30) del intercambiador de calor (14) en un adsorbedor de fluctuación de presión para formar un gas producto de hidrógeno y un gas residual de presión de adsorción de fluctuación.

- 45 14. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, donde la primera porción (22) o la totalidad de la corriente de agua de alimentación de la caldera (20) se calienta en el intercambiador de calor (14) por transferencia de calor indirecto con la corriente de gas producto de la combustión (32), el método comprendiendo además:

separar una corriente de reformado (30) del proceso de reformado con vapor catalítico, dicha corriente de reformado puede ser la corriente de reformado (30) de la etapa (a), en un adsorbedor de fluctuación de presión para formar un gas producto de hidrógeno y un gas residual de presión de adsorción de fluctuación; y

- 50 la combustión del gas residual de adsorción de la fluctuación de la presión con un gas oxidante externo a una pluralidad de tubos de reformado catalítico que contiene en un horno de reformado, formando de esta manera la corriente de gas producto de la combustión (32).

55

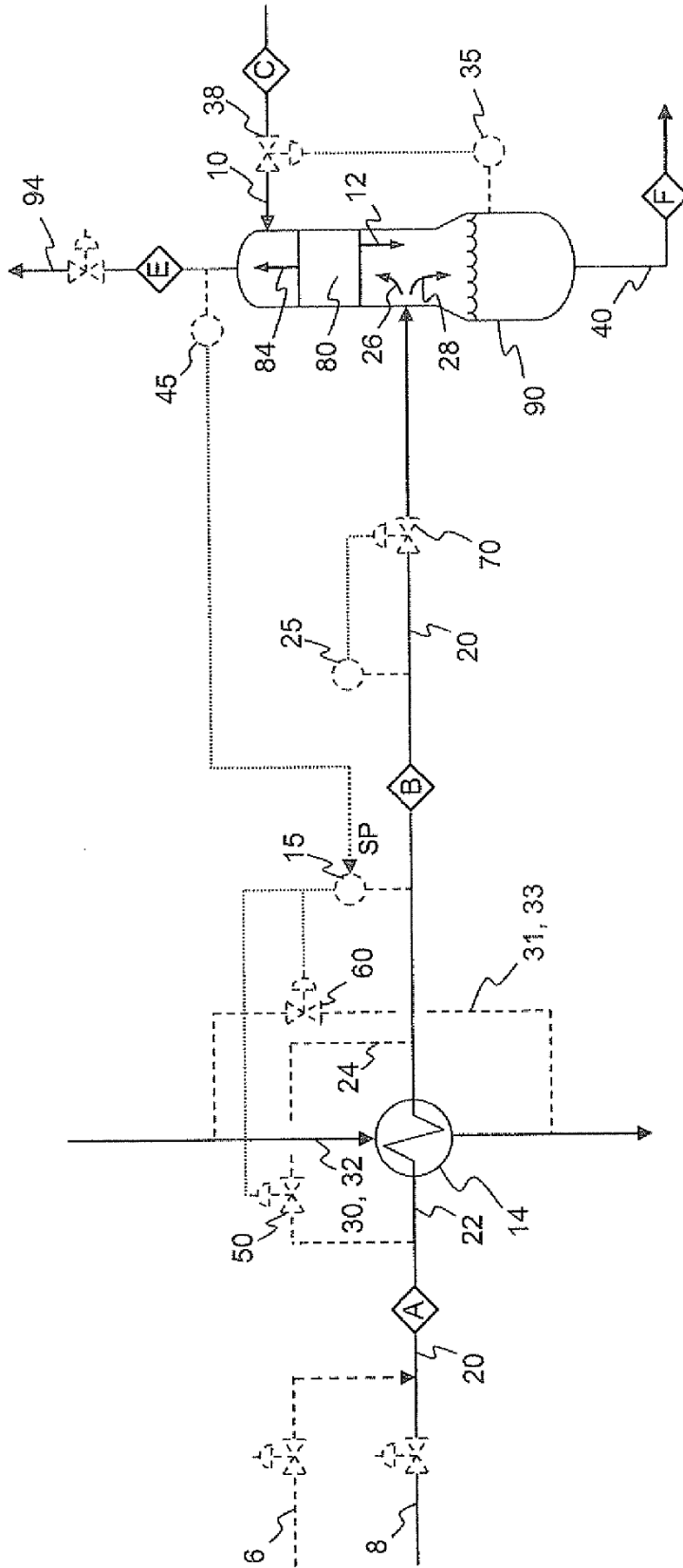


FIG. 1

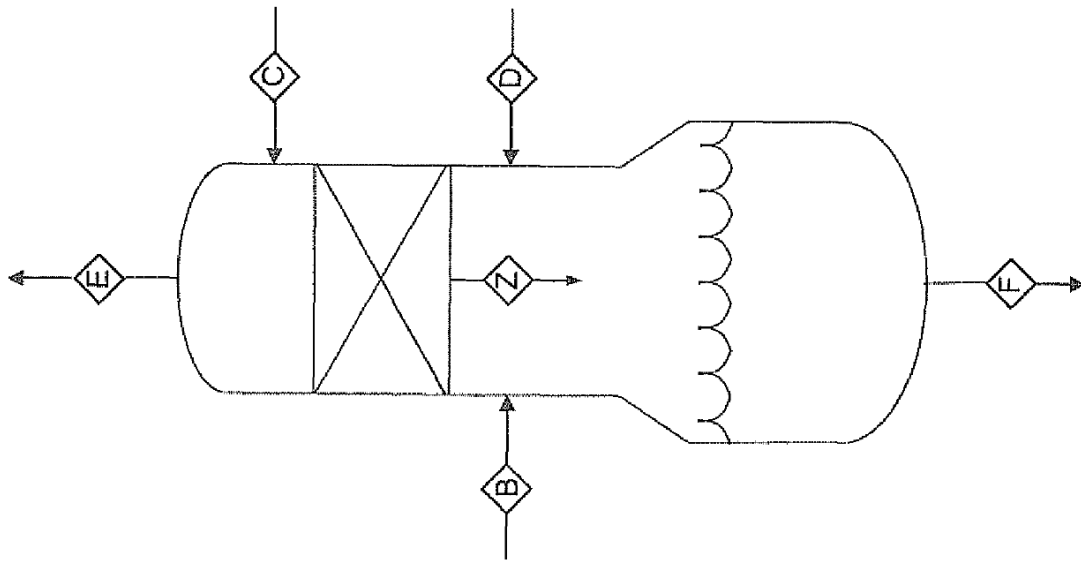


FIG. 2

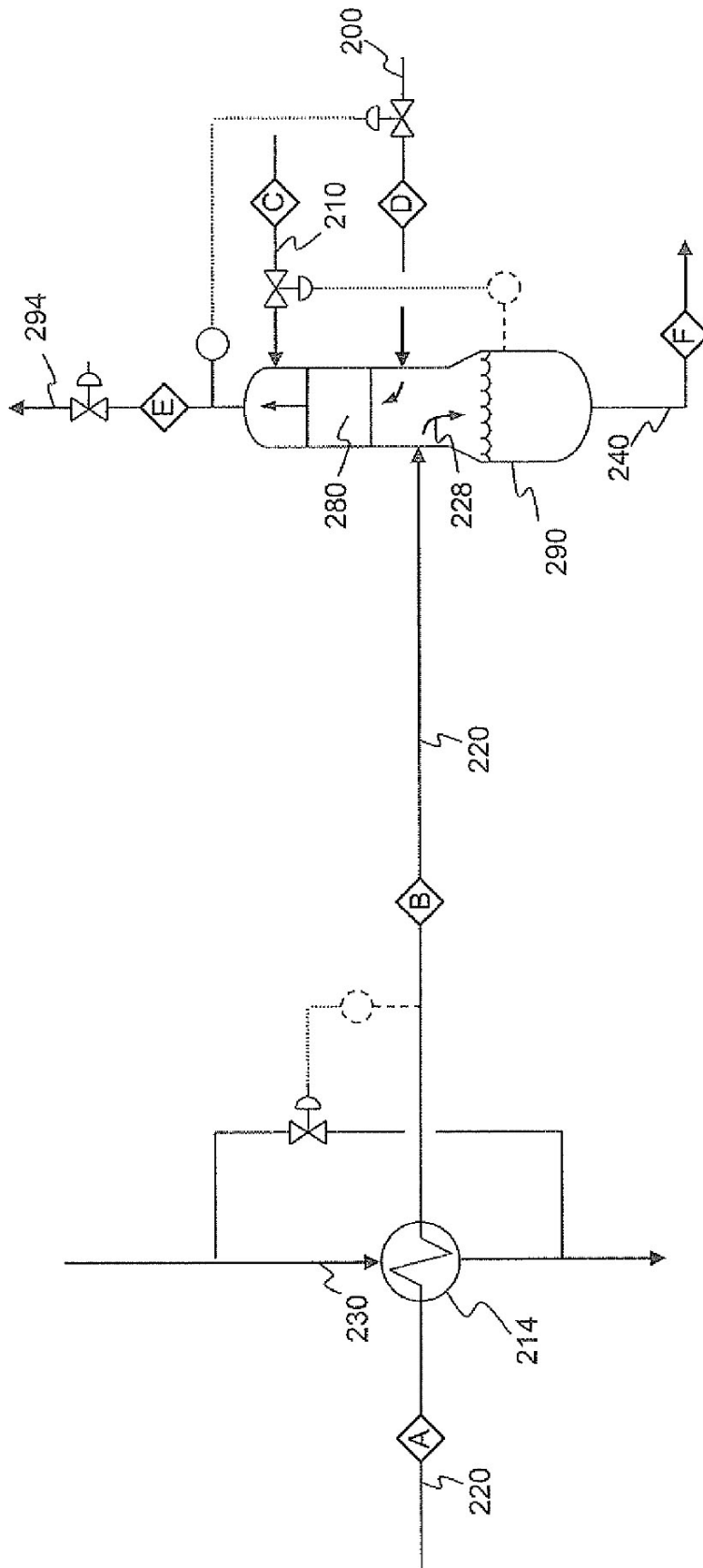


FIG. 3 - Caso comparativo

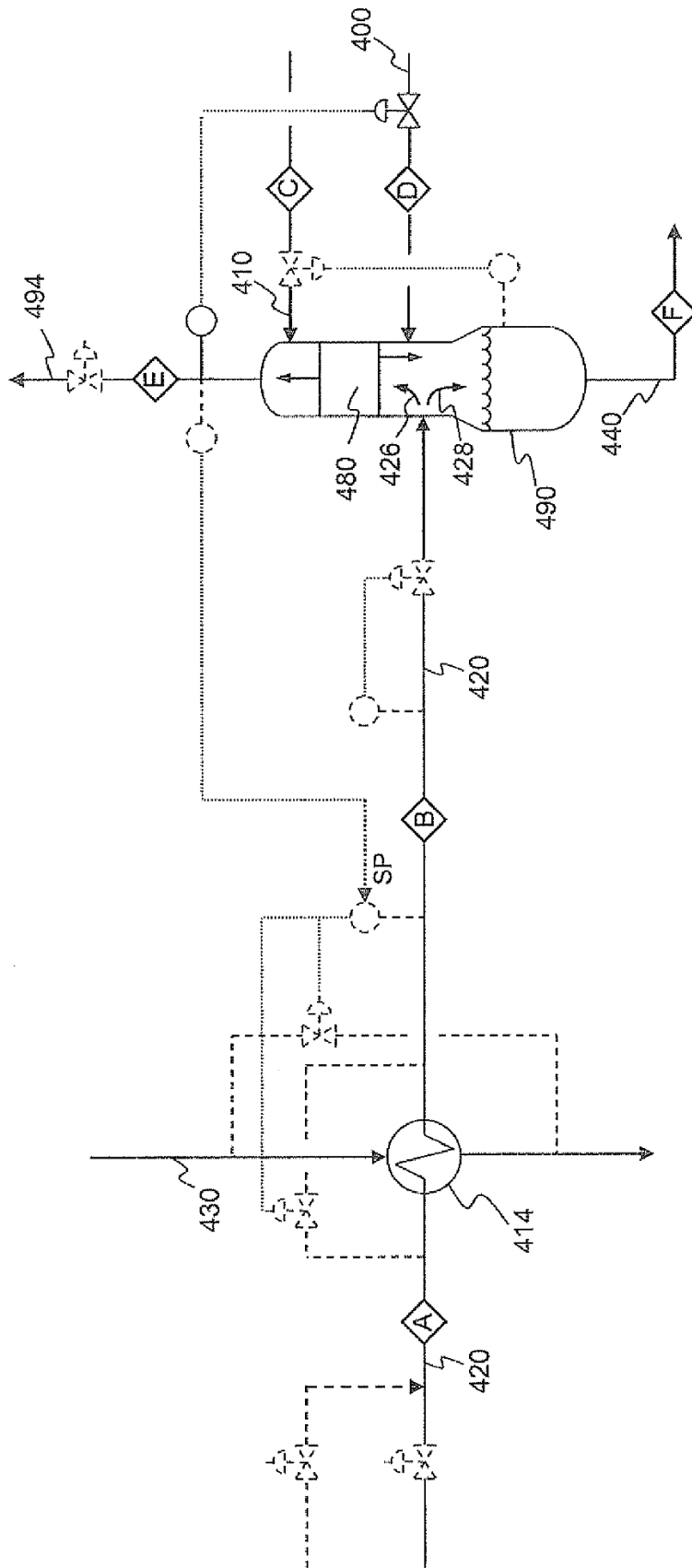


FIG. 4