



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 287**

51 Int. Cl.:  
**C01B 3/38** (2006.01)  
**B01J 8/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07006526 .3**  
96 Fecha de presentación : **29.03.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1842830**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.10.2007**

54 Título: **Aparato y método de reformado para la generación de gas de síntesis.**

30 Prioridad: **05.04.2006 US 398279**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**06.04.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**06.04.2011**

73 Titular/es: **AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.**  
**7201 Hamilton Boulevard**  
**Allentown, Pennsylvania 18195-1501, US**

72 Inventor/es: **Patel, Nitin Madhubhai;**  
**Dimartino, Stephen Paul, Sr.;**  
**Fogash, Kevin Boyle y**  
**Genkin, Eugene S.**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

**ES 2 356 287 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

Aparato y método de reformado para la generación de gas de síntesis

## ANTECEDENTES DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere, en general, al reformado de combustibles, y en particular a métodos y aparatos de reformado autotérmico para la producción de gas que contiene hidrógeno y óxidos de carbono, tal como gas de síntesis ("syngas") de metanol incluyendo, aunque sin limitación, la producción a gran escala de gas de síntesis.

10 La Figura 1 ilustra un reformado autotérmico típico de lecho de relleno vertical. Un suministro de hidrocarburo 24 se precalienta en un calentador 34. La corriente de hidrocarburo precalentado puede desulfurarse después en una operación unitaria separada (no mostrada). La corriente de hidrocarburo precalentado se mezcla con una porción de un suministro de vapor 32. La mezcla precalentada se combina con un suministro oxidante 26 dentro de un quemador individual 28. El suministro de oxidante (normalmente oxígeno, aire o una combinación) se precalienta en un calentador 36. La mezcla oxidante precalentada se mezcla con una porción del suministro de vapor 32 o la corriente podría añadirse antes del precalentador. La corriente y la mezcla oxidante se combinan con una mezcla de hidrocarburo precalentado dentro del quemador individual 28. Se forma una zona de oxidación parcial 22 (POX) dentro del recipiente reformador autotérmico 18. La oxidación parcial (POX) es la combustión no catalítica, subestequiométrica, de un hidrocarburo con un oxidante (por ejemplo, oxígeno o aire) para producir CO y H<sub>2</sub> (otros productos incluyen H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>). La corriente parcialmente oxidada en la zona POX encuentra un sistema de ladrillo diana 14 y avanza hacia un lecho catalítico de relleno 12. Las reacciones de reformado de metano con vapor y la conversión del gas de agua ocurren dentro del lecho catalítico de relleno. Un gas efluente entra en un arco de soporte de lecho 16 y deja al reformador como una corriente de gas de síntesis caliente 38. La corriente de gas de síntesis caliente puede refrigerarse en una caldera de calor residual de proceso 42. La corriente de gas de síntesis 38 puede después procesarse además según se requiera.

Los reformadores autotérmicos típicos se describen en el documento EP0936183 A2 y en la Patente de Estados Unidos N° 5.628.931 (Lednor).

25 Existen varios problemas asociados con el uso de lechos catalíticos de relleno 12 en reformadores autotérmicos convencionales 10, tales como el ilustrado en la Figura 1. En primer lugar, el lecho catalítico de relleno 12 puede causar caídas de presión apreciables, especialmente para procesos de flujos/expansiones aumentados. En segundo lugar, los diseños de reformador autotérmico convencional/reformador secundario están basados en una alta liberación térmica (en la zona POX) de un quemador individual 28 y requieren una gran protección refractaria para el recipiente vertical 18. Debido a los chorros de alta velocidad que provienen del quemador individual, el lecho catalítico requiere un sistema de ladrillo diana 14 para protección. A menudo, el fallo del sistema de ladrillo diana da como resultado el desgaste por rozamiento del lecho catalítico del lecho de relleno. También, el diseño de un solo quemador fuerza a todo el calor a tener que liberarse en una sola zona POX compacta, lo que da como resultado un gran pico de temperatura de llama. Además, las altas velocidades (bajo tiempo de residencia) en la zona POX pueden aumentar la formación de hollín y la degradación del catalizador. Tales condiciones de operación agresiva requieren inyección de vapor adicional, pre-reformado de suministros más pesados, etc. para permitir operaciones fiables, todas las cuales dan como resultado mayor capital y costes de operación.

40 Como se ha analizado anteriormente, la técnica anterior describe diversos diseños y mejoras que alivian algunos problemas asociados con el uso de lechos catalíticos de relleno en el reformado autotérmico convencional. Sin embargo, existe una necesidad de una solución más exhaustiva para los problemas presentados.

El uso de un monolito dentro de un combustor de una planta eléctrica de turbina de gas para producir gas de síntesis con alguna disposición combustible/oxidante antes de una zona de catalizador se describe en la Patente de Estados Unidos N° 4.618.451 (Gent). La patente describe un reformador autotérmico en el que el gas producto adecuado para la síntesis de metanol se integra con la turbina.

45 Un dispositivo con una cámara POX relativamente pequeña seguido de un lecho catalítico de reformado con introducciones de oxidante y combustible adicionales se describe en la Patente de Estados Unidos N° 5.632.787 (Boucot) y en la Patente de Estados Unidos N° 5733514 (Boucot). Una configuración es una disposición transversal en la que el reformador autotérmico con flujo descendente va seguido de una sección de flujo ascendente y después otro lecho catalítico de flujo descendente seguido de secciones de flujo ascendente y de flujo descendente adicionales. 50 Puede realizarse una combustión adicional en la última de las secciones de flujo descendente.

El documento EP0312754 B1 describe un reformador autotérmico horizontal, que usa una sección de catalizador vertical.

55 Otras patentes con relación a un monolito dentro de un reformador autotérmico implican inyectores mejorados u oxidación parcial catalítica. La oxidación parcial catalítica (CPOX) implica la combustión parcial de un hidrocarburo con un oxidante sobre un catalizador a temperaturas menores que para la oxidación parcial no catalítica. Por tanto, el proceso de reacción CPOX es significativamente diferente que el POX.

5 El uso de un monolito catalítico de reformado con vapor dentro de un reformador autotérmico, cuando se usa junto con un inyector se describe en la Patente de Estados Unidos N° 5.980.596 (Hershokowitz). El uso de un monolito de reformado con vapor junto con un monolito CPOX para la producción de amoniaco se describe en la Patente de Estados Unidos N° 4.863.707 (McShea, III). Un reformador secundario de monolito se describe en el documento EP206535 B1.

10 El reformado con la disposición 02 se describe en la Patente de Estados Unidos N° 6.059.995 (Topsoe) y un reformador autotérmico de aire de múltiples etapas se describe en la publicación de solicitud de Patente de Estados Unidos N° 2003/0200699 A1. El hidrocarburo CPOX con la disposición 02 se describe en el documento EPO0842894 B1.

15 La Patente de Estados Unidos N° 6.911.193 (Allison) describe el uso de la disposición 02 y la materia prima para una zona CPOX, seguida de una zona de reformado de metano con vapor (SMR). Un artículo en Chemical Engineering, septiembre de 2003, página 17, describe el uso de la disposición 02 para una mezcla de catalizadores CPOX y SMR.

20 Se desea tener un aparato y método para reformar un combustible que elimine las restricciones que limitan la capacidad de producción de gas de síntesis para un reformador autotérmico individual, incluyendo: diseño de un solo quemador, configuración de flujo vertical y la necesidad de una línea transferencia.

Se desea además tener un aparato y un método para reformar un combustible que permita un aumento en la producción del gas de síntesis a partir de un reformador, mientras que mitiga el problema de la formación de carbono.

25 Se desea aún más tener un aparato y un método para reformar un combustible en el que los requisitos para procesar el vapor y el oxidante sean menores que tales requisitos para reformadores autotérmicos convencionales.

Se desea aún más tener un aparato y un método para reformar un combustible que tiene una distribución térmica más uniforme que los reformadores autotérmicos de la técnica anterior y que permita el funcionamiento a mayores temperaturas de equilibrio, lo que da como resultado un mayor contenido de CO en el producto de gas de síntesis y mayores volúmenes de gas de síntesis.

30 Se desea aún más tener un aparato y un método para reformar un combustible que reduce la complejidad de la integración del reformador con el equipo de recuperación de calor aguas abajo, y que elimine la necesidad de una línea de transferencia costosa o de los tubos ascendentes requeridos en los reformadores tubulares aguas arriba.

Se desea aún más tener un aparato y un método para reformar un combustible que tenga mayor eficacia de reformado, flexibilidad adicional para controlar la proporción H<sub>2</sub>/CO y mejor fiabilidad que los procesos de reformado autotérmico convencionales.

Se desea aún más tener un aparato y un método para reformar un combustible que reduzcan los requisitos de inyección de vapor globales necesarios para mitigar el riesgo de la formación de carbono.

35 Se desea aún más tener un aparato y un método para reformar un combustible que consiga temperaturas de gas de síntesis efluente mayores que aquéllas para los reformadores y procesos autotérmicos convencionales, lo que da como resultado una mayor producción de monóxido de carbono (menor proporción H<sub>2</sub>/CO en el gas de síntesis).

Se desea aún más tener un método y un aparato para reformar un combustible que se permita tanto para configuraciones horizontales como de flujo ascendente (verticales).

40 Se desea aún más tener un método y un aparato para reformar un combustible que permita el uso de múltiples quemadores (cada uno menos complejo que un solo quemador) que operen en condiciones menos severas que las del quemador convencional único.

Se desea aún más tener un aparato y un método para reformar un combustible que elimine la necesidad de un sistema de ladrillo diana, tal como el usado típicamente en reformadores autotérmicos convencionales.

45 Se desea aún más tener un aparato y un método para reformar un combustible que opere más eficazmente que los reformadores y procesos autotérmicos convencionales, y que tenga menores gastos de capital y de operación que los reformadores y procesos autotérmicos convencionales.

Se desea también tener un aparato y un método para reformar un combustible que permita un mejor rendimiento que la técnica anterior, y que también supere muchas de las dificultades y desventajas de la técnica anterior para proporcionar resultados mejores y más ventajosos.

#### BREVE SUMARIO DE LA INVENCIÓN

50 La presente invención es un aparato y un método para reformar un combustible. Existen muchas realizaciones de la invención y muchas variaciones de estas realizaciones.

Una primera realización del aparato incluye cuatro elementos. El primer elemento es una primera zona de oxidación parcial que tiene al menos un quemador adaptado para oxidar parcialmente al menos una porción de un suministro de primera etapa del combustible con al menos una porción de una primera corriente de un oxidante en la primera zona de oxidación parcial, formando de esta manera un primer efluente parcialmente oxidado. El segundo elemento es una primera zona catalítica que contiene un primer catalizador y que está en comunicación fluida con la primera zona de oxidación parcial y está adaptado para recibir al menos una porción del primer efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la primera zona catalítica para formar un efluente de primera etapa. El tercer elemento es una segunda zona de oxidación parcial en comunicación fluida con la primera zona catalítica y adaptada para recibir al menos una porción del efluente de primera etapa. La segunda zona de oxidación parcial tiene al menos otro quemador adaptado para oxidar parcialmente al menos una porción de un suministro de segunda etapa del combustible o un suministro distinto de otro combustible con al menos una porción de una segunda corriente del oxidante u otro oxidante diferente en la segunda zona de oxidación parcial, formando de esta manera un segundo efluente parcialmente oxidado. El cuarto elemento es una segunda zona catalítica que contiene un segundo catalizador y que está en comunicación fluida con la segunda zona de oxidación parcial y adaptada para recibir al menos una porción del segundo efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la segunda zona catalítica para formar un efluente de segunda etapa.

Una segunda realización del aparato es similar a la primera realización pero incluye un elemento adicional. El elemento adicional es un medio para combinar, al menos, una porción de al menos un flujo de al menos un moderador con al menos una porción de al menos uno de (a) el suministro de primera etapa del combustible, (b) el suministro de segunda etapa del combustible u otro suministro diferente del otro combustible, (c) la primera corriente del oxidante y (d) la segunda corriente del oxidante o el otro oxidante. En una variación de esta realización, el al menos un moderador se selecciona entre el grupo que consiste en vapor, dióxido de carbono y mezclas de los mismos.

Una tercera realización del aparato es similar a la primera realización, pero incluye al menos un monolito protector entre al menos uno de (a) la primera zona de oxidación parcial y la primera zona catalítica y (b) la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica.

Existen muchas variaciones de la primera realización y de las otras realizaciones descritas anteriormente. En una variación, al menos uno del primer catalizador y del segundo catalizador es monolítico. En otra variación, el combustible es al menos en parte hidrocarburo. En otra variación adicional, el efluente de segunda etapa es un producto de gas de síntesis que contiene hidrógeno y monóxido de carbono.

En otra variación, al menos uno del primer catalizador y el segundo catalizador es un catalizador de reformado con vapor. En otra variación, al menos una de una reacción de reformado de metano con vapor y una reacción de conversión de gas de agua ocurre en al menos una de la primera zona catalítica y de la segunda zona catalítica.

En otra variación, al menos uno del oxidante y del otro oxidante se selecciona entre un grupo que consiste en oxígeno, aire, aire empobrecido en oxígeno, aire enriquecido en oxígeno, dióxido de carbono, vapor y metanol.

En otra variación, el aparato tiene un eje longitudinal a través de cada una de la primera zona de oxidación parcial, la primera zona catalítica, la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica y el eje longitudinal es sustancialmente horizontal.

En otra variación, al menos una de la primera zona catalítica y la segunda zona catalítica está en comunicación fluida con un dispositivo de recuperación de calor.

Los expertos en la materia reconocerán que existen muchas otras realizaciones y variaciones del aparato de la presente invención para reformar un combustible. Por ejemplo, una de tales otras realizaciones incluye una combinación de todos los elementos y limitaciones expuestas anteriormente para la primera, segunda y tercera realizaciones del aparato y las variaciones del mismo descritas anteriormente.

Una primera realización del método para reformar un combustible incluye múltiples etapas. La primera etapa es proporcionar un suministro de primera etapa del combustible. La segunda etapa es proporcionar un suministro de segunda etapa del combustible u otro suministro de otro combustible. La tercera etapa es proporcionar una primera zona de oxidación parcial que tiene al menos un quemador. La cuarta etapa es oxidar parcialmente al menos una porción del suministro de la primera etapa del combustible con al menos una porción de una primera corriente de un oxidante en la primera zona de oxidación parcial con el al menos un quemador, formando de esta manera un primer efluente parcialmente oxidado. La quinta etapa es proporcionar una primera zona catalítica que contiene un primer catalizador y que está en comunicación fluida con la primera zona de oxidación parcial. La sexta etapa es recibir en la primera zona catalítica al menos una porción del primer efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la primera zona catalítica para formar un efluente de primera etapa. La séptima etapa es proporcionar una segunda zona de oxidación parcial en comunicación fluida con la primera zona catalítica, teniendo la segunda zona de oxidación parcial al menos un quemador diferente. La octava etapa es recibir en la segunda zona de oxidación parcial al menos una porción del efluente de primera etapa. La novena etapa es oxidar parcialmente al menos una porción del suministro de segunda etapa del combustible o del otro suministro del otro combustible con al menos una porción de una segunda corriente del oxidante o un oxidante diferente en la segunda zona de oxidación parcial, formando de esta manera un segundo efluente parcialmente oxidado. La décima etapa es proporcionar una segunda zona catalítica que contiene un segundo

catalizador y que está en comunicación fluida con la segunda zona de oxidación parcial. La decimoprimer etapa es recibir en la segunda zona catalítica al menos una porción del segundo efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la segunda zona catalítica para formar un efluente de segunda etapa.

5 Una segunda realización del método es similar a la primera realización del método, pero incluye dos etapas adicionales. La primera etapa adicional es proporcionar, al menos, un flujo de al menos un moderador. La segunda etapa adicional es combinar, al menos, una porción del al menos un flujo de al menos un moderador con al menos porción de al menos uno de (a) el suministro de primera etapa del combustible, (b) el suministro de segunda etapa del combustible o el otro suministro del otro combustible, (c) la primera corriente del oxidante y (d) la segunda corriente del oxidante o el otro oxidante. En una variación de esta realización, el al menos un moderador se selecciona entre el grupo  
10 que consiste en vapor, dióxido de carbono y mezclas de los mismos.

Una tercera realización del método es similar a la primera realización del método, pero incluye la etapa adicional de proporcionar al menos un monolito protector entre al menos uno de (a) la primera zona de oxidación parcial y la primera zona catalítica y (b) la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica.

15 Existen muchas variaciones de la primera realización y de las otras realizaciones del método analizado anteriormente. En una variación, al menos uno del primer catalizador y el segundo catalizador es monolítico. En otra variación, el combustible es al menos en parte un hidrocarburo. En otra variación adicional, el efluente de segunda etapa es un producto de gas de síntesis que contiene hidrógeno y monóxido de carbono.

20 En otra variación, al menos uno del primer catalizador y el segundo catalizador es un catalizador de reformado con vapor. En otra variación adicional, al menos uno de una reacción de reformado de metano con vapor y una reacción de conversión de gas de agua ocurren en al menos una de la primera zona catalítica y la segunda zona catalítica.

En otra variación, al menos uno del oxidante y del otro oxidante se selecciona entre el grupo que consiste en oxígeno, aire, aire empobrecido en oxígeno, aire enriquecido en oxígeno, dióxido de carbono, vapor y metanol.

25 En otra variación, existe un eje longitudinal a través de cada una de la primera zona de oxidación parcial, la primera zona catalítica, la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica y el eje longitudinal es sustancialmente horizontal.

En otra variación, al menos una de la primera zona catalítica y de la segunda zona catalítica está en comunicación fluida con un dispositivo de recuperación de calor.

30 Los expertos en la materia reconocerán que existen muchas otras realizaciones y variaciones del método de la presente invención para reformar un combustible. Por ejemplo, una de tales realizaciones es un método que incluye todas las etapas y limitaciones expuestas anteriormente para la primera, segunda y tercera realizaciones del método y las variaciones del mismo descritas anteriormente.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención se describirá a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

35 La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra un proceso del reformador autotérmico convencional;

La Figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra una realización de la presente invención;

La Figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra otra realización de la presente invención;

La Figura 4 es una ilustración gráfica que compara los perfiles de temperatura en el lecho catalítico para un reformador autotérmico convencional y una realización de un reformador de múltiples etapas de la presente invención;

40 La Figura 5 es un diagrama esquemático que ilustra otra realización de la presente invención, ilustrando la integración de un reformador de múltiples etapas con un equipo de recuperación de calor; y

La Figura 6 es un diagrama esquemático que ilustra otra realización más de la presente invención ilustrando la integración de un dispositivo de recuperación de calor o intercambiador de calor con la primera y segunda etapas de un reformador de dos etapas de la presente invención.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

45 Un reformador autotérmico para la producción de gas de síntesis usado tanto como disposición de combustible como disposición de oxidante, un diseño de multi-quemador y un catalizador que es preferiblemente monolítico, y tiene preferiblemente una configuración de flujo horizontal. El reformador autotérmico elimina las restricciones significativas que limitan la capacidad de producción de gas de síntesis para un reformador autotérmico convencional, tal como: un diseño de quemador único (limitado por la obligación de un quemador individual); la configuración de flujo vertical (limitada por el peso del lecho catalítico y el tamaño del arco/cúpula de soporte); y la necesidad de una línea de transferencia (para transferir el gas de síntesis desde el reformador hasta el equipo aguas abajo).  
50

5 Como se usa en este documento, el término “combustible” incluye cualquier combustible que puede usarse como una materia prima para producir gas de síntesis u otros gases que contengan productos de hidrógeno y monóxido de carbono. El combustible puede ser un líquido, gas, sólido o mezcla de los mismos. Se puede usar un solo tipo de combustible, o múltiples tipos de combustible. Preferiblemente, al menos un tipo de los combustibles usados es en parte un hidrocarburo. Por ejemplo, los combustibles que se pueden usar solos o en combinación incluyen, aunque sin limitación, gas natural, metano, mezclas de hidrocarburos, hidrógeno y mezclas que contienen hidrógeno y combustible similares.

10 Como se usa en este documento, el término “oxidante” incluye cualquier gas, líquido, sólido y mezclas de los mismos que contienen cualquier forma de oxígeno que puede actuar como un agente de oxidación. Por ejemplo, los oxidantes que puedan usarse solos o en combinación incluyen, aunque sin limitación, aire; oxígeno, aire empobrecido en oxígeno, aire enriquecido en oxígeno, dióxido de carbono, vapor, metanol y oxidantes similares.

El reformado de un suministro de combustible en múltiples etapas permite un aumento en la producción del gas de síntesis desde el reformador, mientras que mitiga el problema de la formación de carbono. Además, los requisitos de vapor y oxidante del proceso global se reducen para el proceso.

15 La disposición tanto del suministro de oxidante como del suministro de combustible permite una distribución de liberación de calor controlada y menores picos de temperatura de llama. Las condiciones de operación menos agresivas permiten el uso de más catalizadores activos y eliminan la necesidad para secciones inertes del lecho catalítico y ladrillos diana protectores. Además, el proceso proporciona mayor flexibilidad operativa y comercial.

20 La disposición del suministro del oxidante así como del suministro de combustible permite también el uso de múltiples quemadores en lugar de un solo quemador complejo. En el diseño del multi-quemador, cada quemador funciona en condiciones menos severas que aquéllas del quemador único. La operación más agresiva puede conseguirse a medida que cada multi-quemador pueda hacerse funcionar en las condiciones del quemador único. Significativamente, la disposición del suministro de oxidante así como del suministro de combustible aumenta la temperatura de salida del reformador y produce gas de síntesis con mayores contenidos de CO y mayor volumen desde el reformador. Un aumento en la temperatura de salida en equilibrio no da como resultado necesariamente una mayor temperatura de llama en el interior del reactor de reformado debido al efecto de la disposición del diseño de multi-quemador, que también permite una distribución térmica más uniforme.

25 Una disposición de flujo horizontal usada en algunas realizaciones de la presente invención elimina la necesidad de cualquier soporte especial para el catalizador, y el uso de un catalizador monolítico (con caída de presión menor que un lecho de relleno) elimina la mayoría de los problemas de desgaste por fricción del catalizador. Un proceso de reformado autotérmico horizontal en etapas reduce también la complejidad de integrar el reformador con el equipo de recuperación de calor aguas abajo, y elimina la necesidad de una línea de transferencia expansiva o de los tubos elevadores requeridos en los reformadores tubulares aguas arriba (para el caso en el que se usa un reformador secundario). También tienen mayor eficacia de reformado, flexibilidad adicional para controlar la proporción H<sub>2</sub>/CO, y mayor fiabilidad que los procesos del reformador autotérmico convencionales.

30 El reformador autotérmico usa un monolito catalítico de reformado con vapor en lugar de un lecho de relleno convencional de un catalizador de reformado con vapor dentro de un reformador autotérmico convencional (oxidación parcial no catalítica seguida de un lecho catalítico). El uso de un monolito catalizador en lugar de un catalizador de lecho fijo convencional tiene las siguientes ventajas:

- 40 - caída de presión reducida;
- mayor área superficial eficaz para el mismo volumen de catalizador;
- la diferente estructura de relleno reduce sustancialmente el desgaste por fricción del catalizador debido a la expansión térmica;
- 45 - no existe necesidad de ladrillos refractarios diana - eliminando de esta manera la posibilidad de introducir ladrillos diana debido al desgaste por fricción;
- la porción (inerte) superior del lecho monolítico organiza las trayectorias de flujo para la porción de catalizador de aguas abajo del lecho;
- la alta conductividad térmica del monolito permite un perfil de temperatura más uniforme dentro de la zona de reacción (en comparación con el lecho de relleno) y, de esta manera, puede alcanzarse una mayor temperatura de equilibrio eficaz; y
- 50 - todas las ventajas anteriores dan como resultado un mejor rendimiento de reformado.

Un catalizador monolítico proporciona también gran flexibilidad en el diseño de la configuración del reformador autotérmico/reformador secundario para las condiciones específicas del diagrama de flujo (diseño horizontal y de flujo ascendente). Más significativamente, permite la disposición organizada de procesos de reformado autotérmico en

etapas/secundarios.

Además, la presente invención reduce los requisitos de inyección de vapor global necesarios para mitigar el riesgo de la formación de carbono. La adición de vapor se requiere sólo en la primera etapa, mientras que las etapas aguas abajo pueden funcionar sin inyección de vapor. La primera etapa producirá vapor que puede usarse para mitigar el riesgo de la formación de dióxido de carbono en las etapas posteriores.

Los expertos en la materia reconocerán que se pueden usar otros moderadores además de vapor. Por ejemplo, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se puede usar como un moderador solo o en combinación con vapor u otro moderador.

Con referencia a los dibujos, una realización de la presente invención implica el uso de un monolito catalizador con un reformador autotérmico de hidrocarburo 50, como se muestra en la Figura 2. Un suministro de hidrocarburo 101 se precalienta en un calentador 120. La corriente de hidrocarburo precalentado 102 se puede mezclar con una porción de suministro de vapor 108. La mezcla de vapor e hidrocarburo 103 se puede disponer para diferentes quemadores 110. Una porción de la mezcla de hidrocarburo precalentado 104 se combina con una porción del oxidante 180 dentro de un quemador 110. El suministro oxidante 105 (normalmente oxígeno, aire o una combinación) se precalienta en un calentador 121. El oxidante precalentado 106 se mezcla con una porción de suministro de vapor 108 o se podría añadir vapor antes del precalentador. La mezcla de vapor y oxidante 107 se puede disponer para diferentes quemadores 110. Una porción del oxidante 181 se puede disponer para diferentes zonas del quemador. La corriente de oxidante 182 se puede combinar con la corriente de hidrocarburo 191 en los quemadores 110 antes de la primera zona catalítica 113. La primera zona catalítica 113 comprende una zona de catalizador monolítico. Los productos de la combustión parcial dentro de la primera zona de combustión 111 entran a la primera zona catalítica 113. Antes de cualquier zona catalítica, se puede proporcionar un monolito no catalíticamente activo o protector 112. Dentro de la primera zona catalítica 113, ocurren las reacciones de reformado de metano con vapor y de conversión de gas de agua.

El gas producto entra después a la segunda zona de oxidación parcial 151 en la que los quemadores adicionales 110 proporcionan calor. La corriente de oxidante 183 se puede combinar con la corriente de hidrocarburo 192 dentro de los quemadores 110 dentro de la segunda zona de oxidación parcial 151. Una corriente de moderador 199 de vapor o de otro moderador (por ejemplo, dióxido de carbono) se puede combinar con la corriente de hidrocarburo 192. Los productos de combustión parcial en la segunda zona de combustión parcial 151 entran a la segunda zona catalítica 114. Dentro de la segunda zona catalítica 114, ocurren las reacciones de reformado de metano con vapor y de conversión de gas de agua. El gas producto después deja la segunda zona catalítica 114 y entra a una caldera de calor residual de proceso 116 u otro dispositivo de recuperación de calor (o de intercambio de calor). El producto de gas de síntesis 117 puede después procesarse adicionalmente, según se requiera.

Con propósitos ilustrativos únicamente, sólo se muestran dos zonas de oxidación parcial y dos catalíticas con disposición de oxidante y de hidrocarburo en la Figura 2. Sin embargo, se puede añadir cualquier número de zonas catalíticas adicionales y zonas de oxidación parcial.

Además, el suministro de hidrocarburo 101 se puede disponer para diferentes zonas de oxidación parcial (como se muestra) o se puede suministrar preferentemente a sólo una zona. Se muestra una configuración horizontal, pero se puede hacer funcionar un diseño de flujo ascendente vertical con el monolito catalizador. Puede proporcionarse una pluralidad de quemadores dentro de cada zona de oxidación parcial.

Tanto el suministro de oxidante como el suministro de hidrocarburo se disponen en al menos dos secciones del reactor autotérmico. El monolito catalizador permite el uso de múltiples secciones de catalizador en una configuración horizontal.

La Figura 3 muestra otra realización de un reformador autotérmico 50 de la presente invención. El suministro de hidrocarburo 201 se precalienta en un calentador 220. La corriente de hidrocarburo precalentada 202 se puede mezclar con una porción del suministro de vapor 208. La mezcla de vapor e hidrocarburo 203 se puede disponer en diferentes quemadores 210. Una porción de la mezcla de hidrocarburo precalentado 204 se combina con una porción del oxidante 280 dentro de un quemador 210. El suministro de oxidante 205 (normalmente oxígeno, aire o una combinación) se precalienta en un calentador 221. El oxidante precalentado 206 se mezcla con una porción del suministro de vapor 208 o podría añadirse vapor antes del precalentador. La mezcla de vapor y oxidante 207 se puede disponer para diferentes quemadores 210. Una porción del oxidante 281 se puede disponer en zonas del quemador. La corriente de oxidante 282 se puede combinar con la corriente de hidrocarburo 291 dentro de los quemadores 210 antes de la primera zona catalítica 213. La zona catalítica 213 comprende una zona catalítica monolítica. Los productos de combustión parcial dentro de la primera zona de combustión parcial 211 entran a la primera zona catalítica 213. Antes de cualquier zona catalítica, puede proporcionarse un monolito no catalíticamente activo o protector 212. Dentro de la primera zona catalítica 213 ocurren las reacciones de reformado de metano con vapor y de gas de agua.

El gas producto entra después en la segunda zona de oxidación parcial 251 en la que los quemadores adicionales 210 proporcionan calor. La corriente de oxidante 283 se puede combinar con la corriente de hidrocarburo 292 dentro de los quemadores 210 dentro de la segunda zona de oxidación parcial 251. Los productos de combustión parcial dentro de la segunda zona de combustión parcial 251 entran a la segunda zona catalítica 214. Dentro de la segunda zona catalítica 214 ocurren las reacciones de reformado de metano con vapor y de conversión de gas de agua.

El gas producto deja después la segunda zona catalítica 214 y entra a una caldera de calor residual de proceso 216 u otro dispositivo de recuperación de calor (o de intercambio de calor). El producto de gas de síntesis 217 puede procesarse después adicionalmente como se requiera.

5 La disposición adicional del hidrocarburo es posible puesto que una porción del hidrocarburo precalentado 202X puede disponerse a cualquiera de los quemadores. Con propósitos ilustrativos únicamente, en la Figura 3 sólo se muestran dos zonas de oxidación parcial y dos catalíticas, con disposición de oxidante y de hidrocarburo. Sin embargo, puede añadirse cualquier número de zonas catalíticas adicionales y de zonas de oxidación parcial.

10 También, el suministro de hidrocarburo 201 se puede disponer en las diferentes zonas de oxidación parcial (como se muestra) o suministrarse preferentemente a sólo una zona. Se muestra una configuración horizontal, pero el diseño de flujo ascendente vertical puede hacerse funcionar con el monolito catalizador. Puede proporcionarse una pluralidad de quemadores 210 dentro de cada zona de oxidación parcial.

15 La Tabla 1 muestra las condiciones de proceso típicas para un reformador autotérmico de lecho de relleno vertical convencional, tal como el mostrado en la Figura 1. Un quemador individual dentro del diseño convencional limita la porción total. Por tanto, la máxima temperatura de salida presentada por un reformador autotérmico vertical de lecho de relleno es de aproximadamente 1050°C (1922°F). Las temperaturas de efluentes mayores requerirían temperaturas significativamente mayores en la zona POX 22 de la Figura 1. Adicionalmente, se necesitarían incluso mayores proporciones de vapor a carbono para evitar la formación de hollín. La disposición de la carga de combustión dentro de un reformador autotérmico de lecho de relleno vertical no es práctica debido a la zona de arco de soporte 16.

TABLA 1

20 Condiciones de Proceso para un Reformador Autotérmico Convencional

•	Tentrada/Tsalida	482/1010°C (900/1850°F)
•	Vapor/Carbono	0,6 - 3,0
•	Presión	20,68 bar - 31,03 bar (300-450 psig)
•	Oxígeno/Carbono	0,5 - 75
•	H <sub>2</sub> /CO	2,0 - 4,0
•	Catalizador	Cerámico al 9% p Níquel
•	Quemador	Oxígeno/Combustible

25 La presente invención resuelve el problema de conseguir mayores de temperaturas del efluente de gas de síntesis, reduciendo el pico de carga de combustión y dispersando/disponiendo la carga en diferentes zonas dentro del reactor. El uso de un catalizador monolítico facilita la disposición usada en diversas realizaciones de la presente invención. La estructura fija del monolito permite configuraciones horizontales o de flujo ascendente. La configuración horizontal no requiere ningún arco de soporte, puesto que el monolito es su propio soporte. Por tanto, se pueden usar una serie de zonas POX y zonas catalíticas. Las múltiples zonas de oxidación parcial minimizan el pico de combustión en cualquier zona. Por tanto, la temperatura de llama adiabática puede moderarse mediante la selección de la cantidad de suministro, oxidante y cualquier suministro secundario a cualquier zona POX. Esto permite el uso de múltiples quemadores (cada uno menos complejo que un quemador único) que funcionan en condiciones menos severas que el quemador único convencional. Debido a que se reduce el momento eficaz en la primera zona POX, el sistema de ladrillo diana no es necesario y puede eliminarse o reemplazarse por una sección de monolito bajo o inactivo.

30 Una comparación de los perfiles de temperatura dentro del lecho catalítico para un reformador autotérmico convencional ("proceso ATR actual") y una realización de un reformador en etapas ("ATR de dos etapas") de la presente invención se ilustra en la Figura 4. Como se muestra, la realización de la presente invención consigue mayores temperaturas de salida de gas de síntesis mientras mantiene temperaturas internas máximas más bajas en el reformador. Esto se consigue mediante la disposición apropiada del oxidante así como del combustible.

35 Los diseños de reformador autotérmico multi-etapa para diversas realizaciones de la presente invención permiten la integración con el equipo de recuperación de calor aguas abajo dentro de un proceso común y eliminan la necesidad de una línea de transferencia. Por ejemplo, con referencia a la realización mostrada en la Figura 5, la configuración de esta realización permite un acoplamiento cerrado del reactor reformador con el equipo de recuperación de calor aguas abajo 216, que puede ser cualquier equipo de proceso. Por ejemplo, una caldera de calor residual de proceso o un intercambiador de calor de convención podrían reducir la temperatura del gas de síntesis por debajo de la región de formación de carbono, mientras que recupera el calor de la corriente de gas de síntesis.

40 Son posibles tanto diseños de integración simétricos como asimétricos. Los diseños simétricos con un número



igual de etapas de reformado a cada lado de una unidad de recuperación de calor tienen particular importancia para la generación de gas de síntesis a gran escala.

5 La Figura 5 ilustra un diseño de integración simétrico que combina dos reformadores autotérmicos de dos etapas integrados con un dispositivo de recuperación de calor 216 o intercambiador de calor. En la Figura 6 se muestra otro diseño de integración simétrico, en el que existe un dispositivo de recuperación de calor 216 o intercambiador de calor entre la primera y segunda etapas de un reformador autotérmico de dos etapas.

10 La Tabla 2 a continuación compara las condiciones de operación para un reformador autotérmico convencional ("ATR de un solo lecho") con las condiciones de operación para dos realizaciones ("SHARP-2 lechos") de la presente invención. ("ATR") es una abreviatura para el reformador autotérmico y "SHARP" es una abreviatura para el proceso de reformado autotérmico horizontal en etapas). La temperatura del efluente (Tsalida) para el reformador autotérmico vertical de un solo lecho convencional es 1050°C (1922°F). Ambas realizaciones de la presente invención suministran el 40% de suministro de hidrocarburo a la primera zona POX, con el balance suministrado a la segunda zona POX. La primera realización de la presente invención mantiene la misma temperatura efluente que la unidad convencional, 1050°C (1922°F), mientras que en la segunda realización, la temperatura del efluente aumenta a 1148°C (2100°F). La disposición de oxidante se controla para mantener una temperatura del efluente máxima de 982°C (1800°F) desde la primera zona catalítica.

20 Una ventaja inherente de las diversas realizaciones de la presente invención es que el agua formada en la primera zona catalítica puede usarse para aumentar eficazmente la proporción de vapor a carbono en la segunda zona catalítica. Para la misma temperatura del efluente (ATR frente a SHARP, realización 1), la temperatura de llama adiabática en la realización 1 de SHARP es de 1912°C, es decir, (3474°F) es 33°C (92°F) menor que para el ATR, que es 1963°C, es decir (3566°F). También, se necesitan menos oxígeno (9072 kg/h) (~20.000 lbs/h) y vapor (~45359 kg/h) (~100.000 lbs/h) para el proceso de la realización 1 de SHARP para la misma producción de gas de síntesis que en el proceso ATR de un solo lecho convencional. El requisito de menor vapor global, pero mayor vapor local a O2, permite un menor importe de CO2 al proceso.

25 La segunda realización de la presente invención (realización 2 de SHARP), aumentó la temperatura del efluente del reactor a 1148°C (2100°F), lo que aumentó el requisito O2 a aproximadamente el mismo que aquel para el caso ATR de un solo lecho, a aproximadamente 181.436 kg/h (400.000 lbs/h). La mayor temperatura del efluente redujo el requisito de importe de CO2 a aproximadamente 1089 kgmol/h (2400 lbmol/h) o en un 45%. La reducción concomitante de CO2 en el gas de síntesis reduce en gran medida el tamaño del equipo de separación de CO2 aguas abajo.

Tabla 2. Comparación de las Condiciones de Operación

		ATR de un solo lecho	SHARP - 2 lechos	
División de suministro	%		40/60	40/60
T salida lecho 1			982 (1800)	982 (1800)
T salida ATR	°C (F)	1050 (1922)	1050 (1922)	1148 (2100)
Suministro	kgmol/h (lbmol/h)	8.841 (19.493)	8.747 (19.283)	8.798 (19.396)
Vapor de Proceso	kg/h (lb/h)	171.439 (377.958)	126.791 (279.527)	127.537 (281.170)
Oxígeno	kg/h (lb/h)	181.813 (400.830)	172.652 (380.633)	182.914 (403.257)
S/C Preferida		0,6	0,6	0,6
S/C Lecho 1		1,0	1,0	1,0
S/C Lecho 2			1,283	1,256
O2/C Lecho 1		0,64	0,594	0,588
O2/C Lecho 2			0,609	0,665

		ATR de un solo lecho	SHARP - 2 lechos	
Vp/O2 Lecho 1		1,57	1,68	1,70
Vp/O2 Lecho 2			2,11	1,89
T entrada Lecho 1	°C (F)	1963 (3566)	1912 (3474)	1924 (3496)
T entrada Lecho 2	°C (F)		1891 (3436)	2005 (3642)
H2 a Quemador 1	% (en húmedo)	4,3	4,4	4,5
H2 a Quemador 2	% (en húmedo)		25,7	26,3
Efluente ATR	kgmol/h (lbmol/h)	39279 (86596)	35806 (78939)	35739 (78791)
CO2 en efluente	kgmol/h (lbmol/h)	3020 (6660)	2273 (5012)	1945 (4288)
Baño de CH4	% (seco) 0,33		0,51	0,12
Importe CO2	kgmol/h (lbmol/h)	2423 (5342)	1817 (4005)	1331 (2935)
Comp. rec. CO2	kW	7511	5631	4127

Aunque este documento se ha ilustrado y descrito con referencia a ciertas realizaciones específicas, sin embargo, la presente invención no tiene por objeto limitarse a los detalles mostrados. En lugar de ello, pueden realizarse diversas modificaciones en los detalles dentro del alcance y ámbito de los equivalentes de las reivindicaciones.

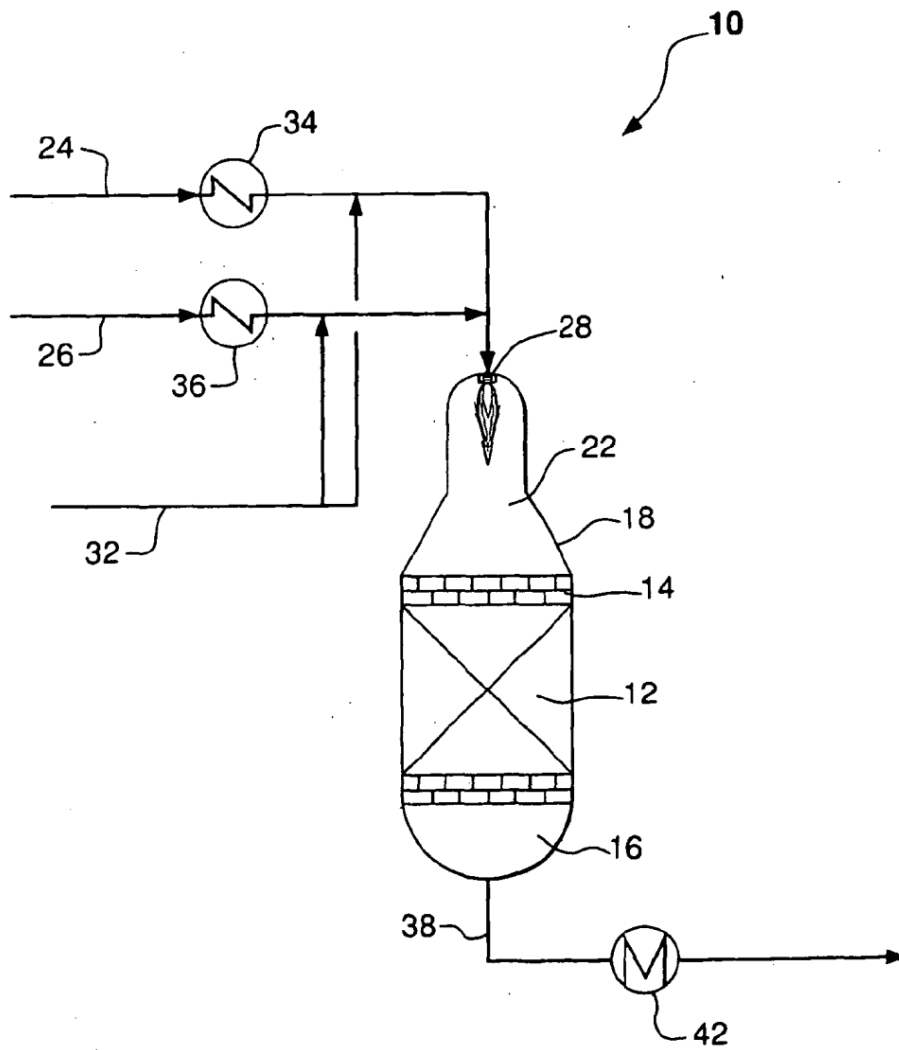
## REIVINDICACIONES

1. Un aparato para reformar un combustible, que comprende:
- 5 una primera zona de oxidación parcial que tiene al menos un quemador adaptado para oxidar parcialmente al menos una porción de un suministro de primera etapa del combustible con al menos una porción de una primera corriente de un oxidante en la primera zona de oxidación parcial, formando de esta manera un primer efluente parcialmente oxidado;
- 10 una primera zona catalítica que contiene un primer catalizador y que está en comunicación fluida con la primera zona de oxidación parcial y adaptada para recibir al menos una porción del primer efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la primera zona catalítica para formar un efluente de primera etapa;
- 15 una segunda zona de oxidación parcial en comunicación fluida con la primera zona catalítica y adaptada para recibir al menos una porción del efluente de primera etapa, teniendo la segunda zona de oxidación parcial al menos un quemador diferente adaptado para oxidar parcialmente al menos una porción de un suministro de segunda etapa del combustible u otro suministro de un combustible diferente con al menos una porción de una segunda corriente del oxidante u otro oxidante en la segunda zona de oxidación parcial, formando de esta manera un segundo efluente parcialmente oxidado; y
- 20 una segunda zona catalítica que contiene un segundo catalizador y que está en comunicación fluida con la segunda zona de oxidación parcial y adaptada para recibir al menos una porción del segundo efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la segunda zona catalítica para formar un efluente de segunda etapa.
2. El aparato de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
- 25 un medio para combinar al menos una porción de al menos un flujo de al menos un moderador con al menos una porción de al menos uno de
- a) el suministro de primera etapa del combustible,
- b) el suministro de segunda etapa del combustible u otro suministro de otro combustible,
- c) la primera corriente del oxidante, y
- d) la segunda corriente del oxidante o el otro oxidante.
3. El aparato de la reivindicación 2, en el que el al menos un moderador se selecciona entre el grupo que consiste en vapor, dióxido de carbono y mezclas de los mismos.
4. El aparato de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente al menos un monolito protector entre al menos uno de
- 30 a) la primera zona de oxidación parcial y la primera zona catalítica, y b) la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica.
5. El aparato de la reivindicación 1, en el que al menos uno del primer catalizador y del segundo catalizador es monolítico.
6. El aparato de la reivindicación 1, en el que el aparato tiene un eje longitudinal a través de cada una de la primera zona de oxidación parcial, la primera zona catalítica, la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica, y en el que el eje longitudinal es sustancialmente horizontal.
- 35 7. El aparato de la reivindicación 1, en el que al menos una de la primera zona catalítica y de la segunda zona catalítica está en comunicación fluida con un dispositivo de recuperación de calor.
8. El aparato de la reivindicación 1, en el que el combustible es al menos en parte un hidrocarburo.
9. El aparato de la reivindicación 1, en el que al menos uno del oxidante y el otro oxidante se selecciona entre un grupo que consiste en oxígeno, aire, aire empobrecido en oxígeno, aire enriquecido en oxígeno, dióxido de carbono, vapor y metanol.
- 40 10. El aparato de la reivindicación 1, en el que el efluente de segunda etapa es un producto de gas de síntesis que contiene hidrógeno y monóxido de carbono.
11. El aparato de la reivindicación 1, en el que al menos uno del primer catalizador y del segundo catalizador es un catalizador de reformado con vapor.
- 45 12. El aparato de la reivindicación 1, en el que al menos una de una reacción de reformado de metano con vapor y de conversión de gas de agua ocurre en al menos una de la primera zona catalítica y la segunda zona catalítica.

13. El aparato de la reivindicación 1 para reformar un combustible de hidrocarburo, que comprende:
- 5 una primera zona de oxidación parcial que tiene al menos un quemador adaptado para oxidar parcialmente al menos una porción de un suministro de primera etapa del combustible con al menos una porción de una primera corriente de un oxidante en la primera zona de oxidación parcial, formando de esta manera un primer efluente parcialmente oxidado;
- una primera zona catalítica que contiene un primer catalizador y que está en comunicación fluida con la primera zona de oxidación parcial y adaptada para recibir al menos una porción del primer efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la primera zona catalítica para formar un efluente de primera etapa;
- 10 una segunda zona de oxidación parcial en comunicación fluida con la primera zona catalítica y adaptada para recibir al menos una porción del efluente de primera etapa, teniendo la segunda de oxidación parcial al menos otro quemador, adaptado para oxidar parcialmente al menos una porción de un suministro de segunda etapa del combustible de hidrocarburo u otro suministro de un combustible diferente con al menos una porción de una segunda corriente del oxidante u otro oxidante en la segunda zona catalítica de oxidación parcial, formando de esta manera un segundo efluente parcialmente oxidado; y
- 15 una segunda zona catalítica que contiene un segundo catalizador y que está en comunicación fluida con la segunda zona de oxidación parcial y adaptada para recibir al menos una porción del segundo efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la segunda zona catalítica para formar un producto de gas de síntesis que contiene hidrógeno y monóxido de carbono;
- 20 un medio para combinar al menos una porción de al menos un flujo de al menos un moderador con al menos una porción de al menos uno de
- a) el suministro de primera etapa del combustible de hidrocarburo,
- b) el suministro de segunda etapa de combustible de hidrocarburo o el otro suministro del otro combustible,
- c) la primera corriente del oxidante, y
- 25 d) la segunda corriente del oxidante o el otro oxidante,
- en el que el al menos un moderador se selecciona entre el grupo que consiste en vapor, dióxido de carbono y mezclas de los mismos;
- al menos un monolito protector entre al menos uno de
- a) la primera zona de oxidación parcial y la primera zona catalítica, y
- 30 b) la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica,
- en el que al menos uno del primer catalizador y el segundo catalizador es monolítico y
- en el que el aparato tiene un eje longitudinal a través de cada una de la primera zona de oxidación parcial, la primera zona catalítica, la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica, y en el que el eje longitudinal es sustancialmente horizontal, y
- 35 en el que al menos uno del oxidante y del otro oxidante se selecciona entre un grupo que consiste en oxígeno, aire, aire empobrecido en oxígeno, aire enriquecido en oxígeno, dióxido de carbono, vapor y metanol.
14. Un método para reformar un combustible, que comprende las etapas de: proporcionar un suministro de primera etapa del combustible;
- proporcionar un suministro de segunda etapa del combustible u otro suministro de otro combustible;
- 40 proporcionar una primera zona de oxidación parcial que tiene al menos un quemador;
- oxidar parcialmente al menos una porción del suministro de primera etapa del combustible con al menos una porción de una primera corriente de un oxidante en la primera zona de oxidación parcial con el al menos un quemador, formando de esta manera un primer efluente parcialmente oxidado;
- 45 proporcionar una primera zona catalítica que contiene un primer catalizador y que está en comunicación fluida con la primera zona de oxidación parcial;
- recibir en la primera zona catalítica al menos una porción del primer efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la primera zona catalítica para formar un efluente de primera etapa;

- proporcionar una segunda zona de oxidación parcial en comunicación fluida con la primera zona catalítica, teniendo la segunda zona de oxidación parcial al menos otro quemador;
- recibir en la segunda zona de oxidación parcial al menos una porción del efluente de primera etapa;
- 5 oxidar parcialmente al menos una porción del suministro de segunda etapa del combustible o el otro suministro del otro combustible con al menos una porción de una segunda corriente del oxidante u otro oxidante en la segunda zona de oxidación parcial, formando de esta manera un segundo efluente parcialmente oxidado;
- proporcionar una segunda zona catalítica que contiene un segundo catalizador y que está en comunicación fluida con la segunda zona de oxidación parcial; y
- 10 recibir en la segunda zona catalítica al menos una porción del segundo efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la segunda zona catalítica para formar un efluente de segunda etapa.
15. El método de la reivindicación 14, que comprende las etapas adicionales de:
- proporcionar al menos un flujo de al menos un moderador; y
- combinar al menos una porción del al menos un flujo del al menos un moderador con al menos una porción de al menos uno de
- 15 a) el suministro de primera etapa del combustible,
- b) el suministro de segunda etapa del combustible u otro suministro del otro combustible,
- c) la primera corriente del oxidante, y
- d) la segunda corriente del oxidante o el otro oxidante.
- 20 16. El método de la reivindicación 15, en el que el al menos un moderador se selecciona entre el grupo que consiste en vapor, dióxido de carbono y mezclas de los mismos.
17. El método de la reivindicación 14, que comprende la etapa adicional de: proporcionar al menos un monolito protector entre al menos uno de
- a) la primera zona de oxidación parcial y la primera zona catalítica, y
- b) la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica.
- 25 18. El método de la reivindicación 14, en el que al menos uno del primer catalizador y el segundo catalizador es monolítico.
19. El método de la reivindicación 14, en el que existe un eje longitudinal a través de cada una de la primera zona de oxidación parcial, la primera zona catalítica, la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica, y en el que el eje longitudinal es sustancialmente horizontal.
- 30 20. El método de la reivindicación 14, en el que al menos una de la primera zona catalítica y de la segunda zona catalítica está en comunicación fluida con un dispositivo de recuperación de calor.
21. El método de la reivindicación 14, en el que el combustible es al menos en parte un hidrocarburo.
22. El método de la reivindicación 14, en el que al menos uno del oxidante y el otro oxidante se selecciona entre el grupo que consiste en oxígeno, aire, aire empobrecido en oxígeno, aire enriquecido en oxígeno, dióxido de carbono, vapor y metanol.
- 35 23. El método de la reivindicación 14, en el que el efluente de la segunda etapa es un producto de gas de síntesis que contiene hidrógeno y monóxido de carbono.
24. El método de la reivindicación 14, en el que al menos uno del primer catalizador y el segundo catalizador es un catalizador de reformado con vapor.
- 40 25. El método de la reivindicación 14, en el que al menos una de una reacción de reformado de metano con vapor y una reacción de conversión de gas de agua ocurren en al menos una de la primera zona catalítica y de la zona segunda zona catalítica.
26. El método de la reivindicación 14 para reformar un combustible de hidrocarburo, que comprende las etapas de:
- proporcionar un suministro de primera etapa del combustible de hidrocarburo;
- 45 proporcionar un suministro de segunda etapa del combustible de hidrocarburo u otro suministro de otro

- combustible;
- proporcionar una primera zona de oxidación parcial que tiene al menos un quemador;
- 5 oxidar parcialmente al menos una porción del suministro de primera etapa del combustible de hidrocarburo con al menos una porción de una primera corriente de un oxidante en la primera zona de oxidación parcial con el al menos un quemador, formando de esta manera un primer efluente parcialmente oxidado;
- proporcionar una primera zona catalítica que contiene un primer catalizador y que está en comunicación fluida con la primera zona de oxidación parcial;
- 10 recibir en la primera zona catalítica al menos una porción del primer efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la primera zona catalítica para formar un efluente de primera etapa;
- proporcionar una segunda zona de oxidación parcial en comunicación fluida con la primera zona catalítica, teniendo la segunda zona de oxidación parcial al menos otro quemador;
- recibir en la segunda zona de oxidación parcial al menos una porción del efluente de primera etapa;
- 15 oxidar parcialmente al menos una porción del suministro de segunda etapa del combustible de hidrocarburo o el otro suministro del otro combustible con al menos una porción de una segunda corriente del oxidante u otro oxidante en la segunda zona de oxidación parcial, formando de esta manera un segundo efluente parcialmente oxidado;
- proporcionar una segunda zona catalítica que contiene un segundo catalizador y que está en comunicación fluida con la segunda zona de oxidación parcial;
- 20 recibir en la segunda zona catalítica al menos una porción del segundo efluente parcialmente oxidado, que reacciona en la segunda zona catalítica para formar un producto de gas de síntesis que contiene hidrógeno y monóxido de carbono;
- proporcionar al menos un flujo de al menos un moderador;
- combinar al menos una porción del al menos un flujo de al menos un moderador con al menos una porción de al menos uno de
- 25 a) el suministro de primera etapa del combustible,  
 b) el suministro de segunda etapa del combustible o el otro suministro del otro combustible,  
 c) la primera corriente del oxidante, y  
 d) la segunda corriente del oxidante o del otro oxidante, en el que el al menos un moderador se selecciona entre el grupo que consiste en vapor, dióxido de carbono y mezclas de los mismos;
- proporcionar al menos un monolito protector entre al menos una de
- 30 a) la primera zona de oxidación parcial y la primera zona catalítica, y  
 b) la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica,
- en el que al menos uno del primer catalizador y el segundo catalizador es monolítico y,
- 35 en el que el aparato tiene un eje longitudinal a través de cada una de la primera zona de oxidación parcial, la primera zona catalítica, la segunda zona de oxidación parcial y la segunda zona catalítica, y en el que el eje longitudinal es sustancialmente horizontal, y
- en el que al menos uno del oxidante y el otro oxidante se selecciona entre el grupo que consiste en oxígeno, aire, aire empobrecido en oxígeno, aire enriquecido en oxígeno, dióxido de carbono, vapor y metanol.



**FIG. 1**  
Técnica Anterior

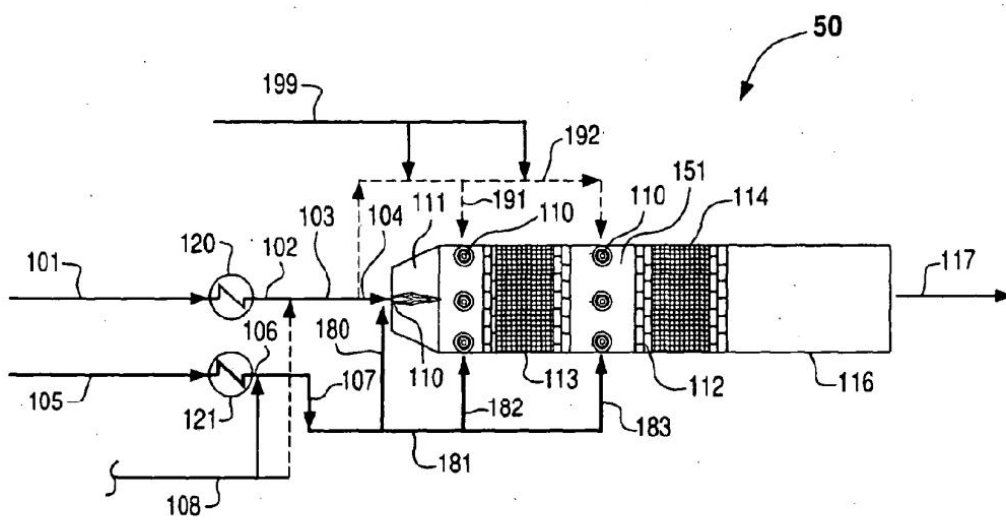


FIG. 2



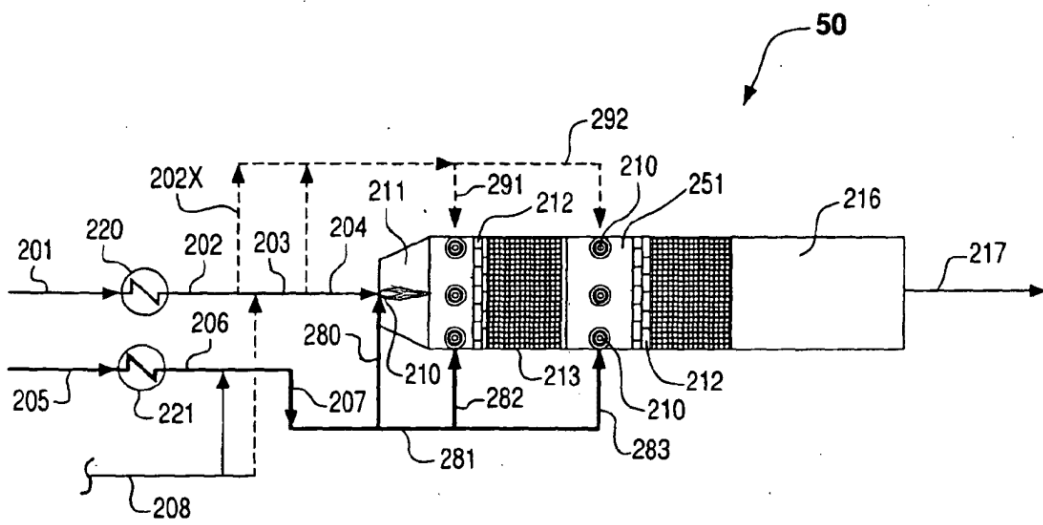


FIG. 3

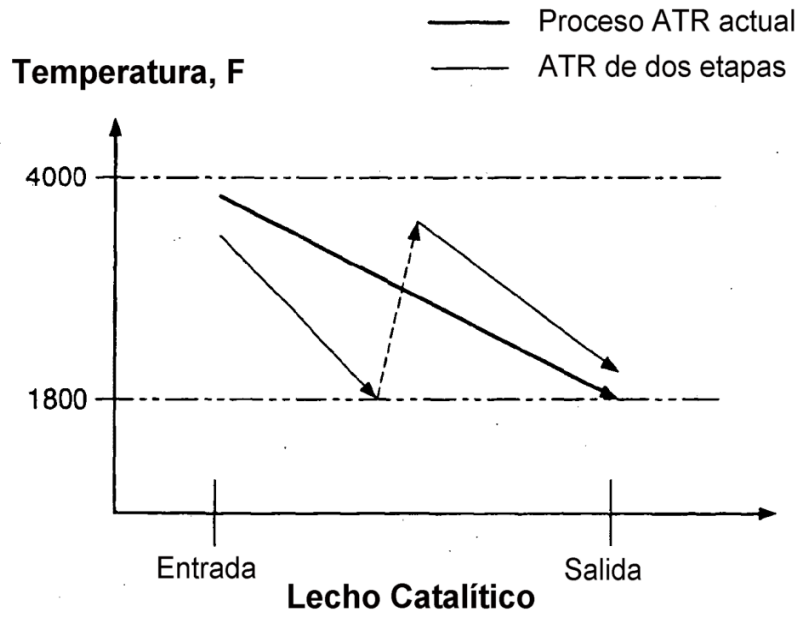


FIG. 4

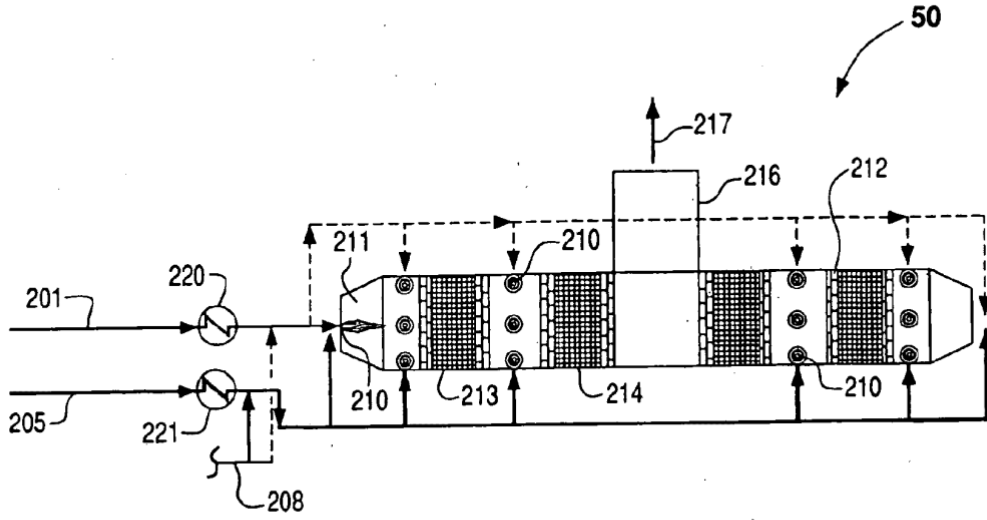


FIG. 5

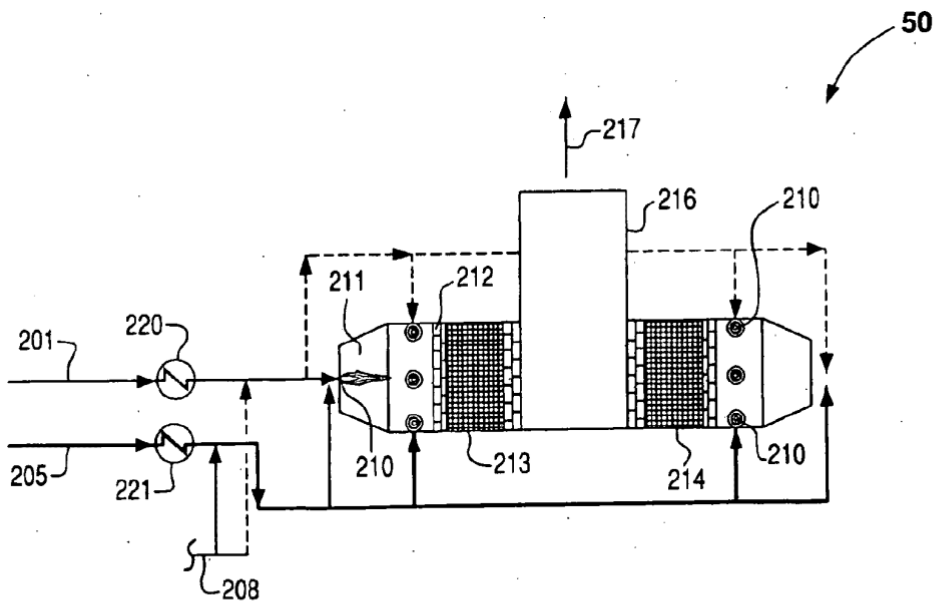


FIG. 6