

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 707**

51 Int. Cl.:

**C01B 3/38** (2006.01)

**B01J 8/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.06.2013 PCT/US2013/045665**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.12.2013 WO13188671**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.06.2013 E 13731235 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019 EP 2861529**

54 Título: **Reformador con vapor**

30 Prioridad:  
**14.06.2012 US 201261659898 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.02.2020**

73 Titular/es:  
**NUVERA FUEL CELLS, LLC (100.0%)  
129 Concord Road, Building 1  
Billerica, MA 01821, US**

72 Inventor/es:  
**ZHAO, JIAN, L.;  
KIM, CHANGSIK y  
SHI, YANLONG**

74 Agente/Representante:  
**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 743 707 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

Reformador con vapor

Campo técnico

5 La presente divulgación se relaciona con un reformador con vapor para la producción de un reformado de hidrógeno, un módulo de reactor para usar en los reformadores con vapor, y métodos para producir un reformado de hidrógeno usando el reformador o módulo.

Antecedentes

10 La reforma con vapor es un método para producir hidrógeno a partir de hidrocarburos, tal como el metano. La química básica del reformador de vapor utiliza una reacción impulsada por temperatura, de un hidrocarburo con agua para producir un "gas de síntesis", una mezcla principalmente de hidrógeno, agua, monóxido de carbono y dióxido de carbono, así como nitrógeno para la síntesis de amoníaco. Este gas de síntesis a veces se conoce más generalmente como un "reformado" en el que el nitrógeno puede ser solo una pequeña cantidad de traza de un elemento.

15 Un "reformador con vapor" o "conjunto quemador/reformador" puede comprender dos regiones de flujo. La primera región puede proporcionar energía térmica a partir de gases calientes, producidos, por ejemplo, por la combustión de combustible y oxígeno, y llamada la "zona del quemador". La segunda región permite una reacción de reforma con vapor endotérmica entre combustible y vapor, y se denomina "zona de reforma", "módulo de reforma" o "tubos de reforma". Estas dos regiones de flujo usualmente están físicamente separadas por un límite de intercambio de calor.

20 Un desafío en el reformador con vapor es transferir suficiente energía a través del límite de intercambio de calor para mantener la reacción a la temperatura de reacción deseada. La temperatura de reacción afecta el equilibrio de conversión de hidrocarburos y la cinética de reacción. Una temperatura de reacción más alta en la zona de reforma corresponde a una menor resistencia a la transferencia de calor, mayor conversión de hidrocarburos y una menor cantidad de hidrocarburo residual que queda en el reformado. Esta reacción puede acelerarse utilizando un catalizador que contenga un material tal como, por ejemplo, níquel, un metal precioso u otro material que contenga un promotor especial.

25 Las altas temperaturas de reacción, sin embargo, pueden causar tensión térmica severa, corrosión, fluencia y fatiga en los componentes metálicos del límite de intercambio de calor y/o catalizador. Por el contrario, las bajas temperaturas de reacción en la zona de reforma pueden reducir la tensión del metal, la corrosión, la fluencia y la fatiga, y conducir a conversiones de hidrocarburos más bajas. Mayores cantidades de hidrocarburos en el reformado pueden causar dificultades en una etapa posterior de separación de hidrógeno. Además, cuantos más hidrocarburos quedan en el reformado, menos eficiente se vuelve el sistema reformador con vapor. Esto conduce a un mayor coste de hidrógeno y un mayor nivel de emisiones de dióxido de carbono (un gas de efecto invernadero) por unidad de hidrógeno producido.

30 Los reformadores con vapor industriales a gran escala a menudo usan múltiples tubos de reformador como el límite de intercambio de calor, rodeados por módulos de quemadores de estilo de "impacto de gas caliente". Se puede encender una mezcla de quemador de combustible-aire en el espacio alrededor de los tubos, ya sea directamente hacia los tubos de reformador, a lo largo de ellos, o en paralelo a los tubos reformadores desde la parte superior y/o desde la parte inferior.

35 Las zonas de reformado de tales reformadores con vapor a menudo funcionan a alta temperatura (> 850 ° C) y presión (tan alta como ~30 bar), que funcionan continuamente con pocos ciclos de arranque y apagado para prolongar la vida útil de los tubos. Para controlar el perfil de temperatura a lo largo de los tubos del reactor, los grandes reformadores industriales a veces usan múltiples cabezales de quemador a lo largo de los tubos de reformador para evitar las altas temperaturas locales que típicamente se requieren si se usa un solo quemador.

40 Debido al gran coste de construcción de plantas de reforma centralizadas, muchos estudios económicos de una economía de hidrógeno han observado las ventajas potenciales de la producción de hidrógeno distribuido a menor escala para su uso en, por ejemplo, aparatos u otros dispositivos. Para muchas aplicaciones, es probable que la demanda de hidrógeno sea intermitente (ejemplos no limitativos incluyen una estación de combustible de hidrógeno que sirve a una flota de celdas de combustible o vehículos aptos para GNC/H<sub>2</sub>, a un aparato de repostaje de hidrógeno a escala residencial, un aparato comercial de hidrógeno, un dispositivo de producción de reformado, un dispositivo combinado de calor y energía (CHP) y un dispositivo combinado de calor, hidrógeno y energía (CHHP)). Para funcionar de manera eficiente, estos dispositivos productores de hidrógeno deben iniciarse y detenerse muchas veces mientras mantienen su rendimiento e integridad estructural. Los reformadores a pequeña escala generalmente no pueden permitirse el gasto, la demanda de espacio y la complejidad de la combustión por etapas, y a menudo usan una combustión in situ de una sola etapa para suministrar calor a la reacción de reforma. Sin embargo, la combustión en una sola etapa a menudo resulta en temperaturas altas localizadas en los tubos de reformador. Los frecuentes ciclos de arranque y apagado y las desviaciones de temperatura exponen repetidamente los componentes del reformador a gradientes térmicos severos y picos de temperatura, los cuales causan grandes tensiones térmicas, que inducen potencialmente fallas en un período de tiempo relativamente corto. Además, la efectividad de la transferencia de calor

disminuye a lo largo de la dirección del flujo de los productos de combustión debido a su temperatura descendente (es decir, la teoría de la transferencia de calor establece que el componente radiante del flujo de calor aumenta con la temperatura hasta la 4ta potencia).

5 El documento EP 0435642 divulga un aparato de reforma para hidrocarburos que incluye un primer paso anular que forma un paso de gas de reserva exterior lleno con un catalizador para reformar un gas de reserva; un segundo paso anular dispuesto justo dentro del primer paso anular en relación concéntrica con el mismo, que forma un paso exterior de gas reformado; un tercer paso anular dispuesto justo dentro del segundo paso anular en relación concéntrica con el mismo, que forma un paso interior de gas reformado; un cuarto paso anular dispuesto justo dentro del tercer paso anular en relación concéntrica con el mismo, que forma un paso interior de gas de reserva lleno con el catalizador para reformar el gas de reserva; una primera porción de comunicación para comunicar un extremo axial del primer paso anular con un extremo axial del cuarto paso anular para guiar el gas de reserva desde el paso de gas de reserva exterior al paso de gas de reserva interior; una segunda porción de comunicación para comunicar otro extremo axial del cuarto paso anular con un extremo axial del tercer paso anular para guiar un gas reformado generado desde el paso de gas de reserva interior al paso de gas reformado interior; una tercera porción de comunicación para comunicar otro extremo axial del tercer paso anular con un extremo axial del segundo paso anular para guiar el gas reformado desde el paso de gas reformado interior al paso de gas reformado exterior; un primer paso de gas de combustión formado justo dentro del cuarto paso anular, para calentar el cuarto paso anular; y un segundo paso de gas de combustión formado justo fuera del primer paso anular, para calentar el primer paso anular; en el que una dirección de flujo del gas de reserva en el paso de gas de reserva exterior es contraria a la de un gas de combustión en el segundo paso de gas de combustión; una dirección de flujo del gas de reserva en el paso de gas de reserva interior es contraria a la de un gas de combustión en el primer paso de gas de combustión; una dirección de flujo del gas reformado en el paso de gas reformado interior es contraria a la del gas de reserva en el paso de gas de reserva interior; y una dirección de flujo del gas reformado en el paso de gas reformado exterior es contraria a la del gas de reserva en el paso de gas de reserva exterior.

25 El documento US 2010/0239925 divulga un dispositivo de reforma y un sistema de celda de combustible, en el que el encendido y la combustión en una sección del quemador se estabiliza suministrando a la sección del quemador el gas combustible dependiendo de la temperatura de la sección de reformado en el momento de una operación de arranque y después de que la generación de vapor comienza en una sección del evaporador. En el momento de una operación de arranque y después de que los medios de detección de generación de vapor detectan la generación de vapor, un dispositivo de control de un dispositivo de reforma ejecuta el control para cambiar las combustiones de al menos el primer gas combustible y el segundo gas combustible en la sección del quemador con base en el estado de la sección del quemador y la temperatura de la sección de reformado en el momento de detectar la generación de vapor, así como en la temperatura de la sección de reformado después del tiempo posterior a la misma.

35 Los documentos EP 2354088 y US2007/0028522 se relaciona con reformadores con vapor que comprenden miembros de conducto radiante y módulos de reactor.

#### Resumen

En contraste con los reformadores con vapor de la técnica anterior, la presente divulgación proporciona una arquitectura de reformador con vapor rentable (capital reducido, mayor eficiencia y vida útil mejorada) en la que al menos una zona de quemador está diseñada y configurada para promover transferencia de calor radiante y convectivo, tanto en general a lo largo del límite de intercambio de calor, como preferentemente en la dirección del flujo. Los reformadores con vapor divulgados aquí pretenden superar estas y otras limitaciones de los sistemas anteriores. Por consiguiente, un objeto de la presente divulgación es proporcionar un reformador con vapor para la producción de un reformado de hidrógeno. El reformador con vapor definido en las reivindicaciones comprende una concha que tiene una cavidad, y una fuente de calor configurada para calentar un fluido, en el que la concha comprende: un miembro de conducto radiante al menos parcialmente dispuesto dentro de la cavidad y que comprende al menos un material emisor térmicamente para proporcionar una superficie emisora de radiación dentro de la cavidad, donde el miembro del conducto radiante comprende un primer extremo en comunicación fluida con la cavidad, un segundo extremo en comunicación fluida con la fuente de calor y un paso que se extiende generalmente a través del conducto radiante para guiar el fluido calentado desde la fuente de calor a la cavidad; módulos de reactor al menos parcialmente dispuestos dentro de la cavidad para recibir calor suministrado por el fluido calentado, y ubicados alrededor del miembro de conducto radiante para recibir calor radiante suministrado por el miembro de conducto radiante, en el que cada uno de los módulos de reactor comprende un lecho catalítico reformador; y al menos un miembro aislante dispuesto dentro de la cavidad para reflejar el calor radiante desde el miembro del conducto radiante y el fluido calentado de regreso a los módulos del reactor, cuya superficie está conformada para ajustarse a la forma individual de los módulos del reactor; en el que un conjunto de módulos de reactor rodea el miembro de conducto radiante, y el al menos un miembro aislante comprende formas de arco, cuyo número coincide con el número de módulos de reactor; en el que el miembro de conducto radiante está configurado para irradiar calor desde el fluido calentado atravesando el paso del conducto radiante hacia la cavidad.

60 La concha puede comprender además al menos un deflector dispuesto sobre el primer extremo del miembro de conducto. En algunas realizaciones, el al menos un deflector puede interponerse entre el primer extremo del miembro de conducto y los módulos del reactor.

La porción superior de la concha cilíndrica puede comprender al menos una abertura configurada para recibir un módulo de reactor cilíndrico que se extiende dentro de la cavidad para recibir el calor suministrado por el fluido calentado.

5 En algunas realizaciones, una porción de los módulos del reactor dispuestos dentro de la cavidad puede colgar libremente dentro de la cavidad sin unión a la cavidad. En algunas realizaciones, una porción de los módulos del reactor que reside fuera de la concha cilíndrica se puede unir de forma individual y de forma extraíble a la porción superior de la concha cilíndrica. En otras realizaciones, una porción del módulo del reactor que reside fuera de la concha cilíndrica se puede unir de forma individual y de forma extraíble a la porción inferior de la concha cilíndrica. En algunas realizaciones, esto puede permitir la inserción, extracción y/o sustitución individual de los módulos del reactor.

10 La concha puede comprender además al menos un reflector dispuesto sobre el al menos un miembro aislante. En algunas realizaciones, el al menos un reflector puede interponerse entre el al menos un miembro aislante y los módulos del reactor.

15 Un método para producir hidrógeno comprende calentar un fluido con la fuente de calor de los reformadores con vapor divulgados anteriormente, comunicar el fluido calentado a través del miembro del conducto radiante a la cavidad para calentar los módulos del reactor, y reformar al menos una porción de un reactivo en los módulos del reactor hasta un reformado de hidrógeno. El método puede comprender calentar el miembro de conducto de los reformadores con vapor divulgados anteriormente con la fuente de calor e irradiar calor desde el miembro de conducto a los módulos del reactor.

20 El método también puede comprender calentar el fluido con la fuente de calor, calentar el miembro del conducto radiante con el fluido calentado, irradiar calor desde el miembro del conducto a los módulos del reactor y reformar al menos una porción de una corriente de reactivo en los módulos del reactor hasta un reformado de hidrógeno.

25 Un módulo de reactor puede comprender una concha termoconductora que tiene una cavidad, y un conjunto de tubo dispuesto al menos parcialmente dentro de la cavidad. El conjunto de tubo puede comprender al menos un lecho catalítico dispuesto dentro de la cavidad para recibir el calor conducido por la concha térmicamente conductora, comprendiendo el al menos un lecho catalítico al menos un catalizador de reformado. El catalizador de reformado puede comprender al menos uno de un catalizador de reformado a vapor, un catalizador de reformado previa al vapor, un catalizador de oxidación, un catalizador de oxidación parcial y un catalizador de cambio de agua-gas. El catalizador de reformado puede ser de cualquier forma o estructura y de cualquier tamaño apropiado, incluyendo, por ejemplo, espumas, monolitos, esferas, tabletas, cilindros, estrellas, trilóbulos, lóbulos cuádruples, pellas, panales, cubos, placas, fieltros, partículas, polvos, formas estructuradas, espuma entrecruzada, pellas/astillas/discos de espuma, sobre metal, aleación de metal y/o soporte cerámico, y combinaciones de los mismos. El catalizador de reformado puede colocarse o recubrirse en un convertidor de calor catalítico, soporte de metal o aleación metálica, o en nanotubos de carbono en cualquiera de los anteriores.

35 El conjunto de tubo también puede comprender al menos un primer canal configurado para proporcionar al menos una corriente de reactivo a al menos una porción del al menos un lecho catalítico, y al menos un segundo canal configurado para proporcionar al menos una corriente de producto desde al menos una porción del al menos un lecho catalítico. El conjunto de tubo también puede comprender al menos una pared divisoria interpuesta entre al menos una porción del al menos un primer canal y al menos una porción del al menos un segundo canal. El calor puede intercambiarse a través de la al menos una pared divisoria entre al menos una porción de la corriente de producto y al menos una porción de la corriente de reactivo. Dicho intercambio de calor ocurre sustancialmente dentro de la cavidad. Al menos una porción de la corriente de reactivo puede convertirse en al menos una corriente de producto cuando al menos una porción de la corriente de reactivo interactúa con al menos una porción del al menos un catalizador de reformado.

45 Un módulo de reactor puede comprender un primer conducto de fluido que tiene un primer extremo que incluye un puerto de salida de producto, un segundo extremo y un paso que se extiende generalmente entre el primer extremo y el segundo extremo del primer conducto de fluido en el que al menos parte del paso del primer conducto de fluido incluye al menos un catalizador de reformado, un segundo conducto de fluido que tiene un primer extremo, un segundo extremo y un paso que se extiende generalmente entre el primer extremo y el segundo extremo del segundo conducto de fluido, un tercer conducto de fluido que tiene un primer extremo, un segundo extremo y un paso que se extiende generalmente entre el primer extremo y el segundo extremo del tercer conducto de fluido, y un cuarto conducto de fluido que tiene un primer extremo que incluye un puerto de entrada de reactivo, un segundo extremo y un paso que se extiende generalmente entre el primer extremo y el segundo del cuarto conducto de fluido. Los segundos extremos de los conductos de fluido primero y cuarto pueden estar conectados de manera fluida, los segundos extremos de los conductos de fluido tercero y segundo pueden estar conectados de manera fluida, y los primeros extremos de los conductos de fluido cuarto y tercero pueden estar conectados de manera fluida. Al menos parte del paso del cuarto conducto de fluido puede incluir al menos un catalizador de reformado.

55 El primer conducto de fluido puede estar al menos parcialmente ubicado dentro del paso del segundo conducto de fluido, el segundo conducto de fluido puede estar ubicado al menos parcialmente dentro del paso del tercer conducto de fluido, y el tercer conducto de fluido puede estar al menos parcialmente ubicado dentro del paso del cuarto conducto de fluido.

El primer extremo del primer conducto de fluido puede incluir un puerto de entrada de reactivo. El primer extremo del segundo conducto de fluido puede incluir un puerto de salida del producto.

5 Los objetivos y ventajas adicionales de la presente divulgación se expondrán en parte en la descripción que sigue, y en parte serán obvios a partir de la descripción, o pueden aprenderse mediante la práctica de la divulgación. Los objetos y ventajas de la presente divulgación se realizarán y alcanzarán por medio de los elementos y combinaciones particularmente señalados en las reivindicaciones adjuntas.

Debe entenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son solo a manera de ejemplo y explicativas y no son restrictivas de la divulgación, como se reivindica.

Breve descripción de los dibujos

10 Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de esta especificación, ilustran realizaciones de la presente divulgación y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la divulgación.

La Figura 1 representa una vista interior en corte transversal de un reformador con vapor.

La Figura 2 representa una vista interior en corte transversal de una realización de un reformador con vapor de la presente divulgación.

15 La Figura 3 representa un primer extremo de una concha de un reformador con vapor de la presente divulgación.

La Figura 4 representa una realización de un miembro aislante de la presente divulgación.

La Figura 5 representa una vista interior en corte transversal de una realización de un reformador con vapor de la presente divulgación.

La Figura 6 representa una vista interna en corte transversal de un módulo de reactor.

20 La Figura 7 representa una realización de un reformador con vapor de la presente divulgación que además comprende al menos un deflector.

La Figura 8 representa una vista interior en corte transversal de una realización de un reformador con vapor de la presente divulgación que comprende además al menos un deflector y al menos un reflector.

Descripción de las realizaciones

25 La Figura 1 representa un reformador 1 con vapor que comprende una concha 10, en el que parte o la totalidad de la concha 10 puede estar construida de metal, cerámica, polímeros de alta temperatura o similares. Se pueden usar varios métodos de fabricación para producir la concha 10. Por ejemplo, la fabricación puede incluir tuberías de metal, láminas de metal laminadas, placas de metal de soldadura u otros métodos conocidos en la técnica. La concha 10 se puede formar en formas cilíndricas, circulares, rectangulares, oblongas, elípticas, cuadradas, rectangulares u otras formas geométricas, y cuya forma en sección transversal puede variar a lo largo de su longitud.

30 El reformador 1 con vapor incluye una fuente 30 de calor configurada para calentar un fluido suministrado a una cavidad 20 contenida dentro de la concha 10. La fuente 30 de calor puede producir un gas caliente por cualquier medio conocido en la técnica, tal como quemando un combustible, convirtiendo electricidad en calor, utilizando energía solar, o combinaciones de los mismos. En una realización, la fuente 30 de calor es una fuente de calor de alta temperatura.

35 La fuente 30 de calor se puede ubicar cerca de un segundo extremo de la concha 10 como se muestra en la Figura 1. La fuente 30 de calor también se puede ubicar en cualquier extremo de la concha 10, o lejos del reformador 1 con vapor.

40 El reformador 1 con vapor también comprende el miembro 40 de conducto que comprende un primer extremo 42, un segundo extremo 44 y un paso 46 que se extiende generalmente entre el primer extremo 42 y el segundo extremo 44. El miembro 40 de conducto puede incluir un tubo cilíndrico, tubería, o cualquier otra estructura. El miembro 40 de conducto puede tener formas circulares, rectangulares, oblongas, elípticas u otras formas geométricas y cuya sección transversal puede variar a lo largo de su longitud. El tamaño y la forma del miembro 40 de conducto pueden variar a lo largo de su longitud para cambiar la geometría (por ejemplo, el área de flujo de sección transversal) del paso de flujo, así como el límite de intercambio de calor expuesto a la transferencia de calor radiante. En algunos casos, el

45 segundo extremo 44 puede aceptar un fluido como entrada, y el primer extremo 42 de 44 puede descargar un fluido como salidas hacia la cavidad 20.

50 El conducto 40 está configurado para irradiar calor hacia la cavidad 20. Por ejemplo, (1) los materiales de construcción pueden elegirse (por ejemplo, en función de la conductividad y/o emisividad térmica) para influir en los gradientes térmicos en el miembro 40 de conducto (que afecta la distribución de la temperatura de la superficie y la emisión radiante asociada); y/o (2) la forma y las características de la superficie (por ejemplo, rugosidad, textura, contorno o recubrimientos que mejoran o reducen la emisividad) del miembro 40 de conducto pueden alterarse para mejorar o reducir la intensidad y/o direccionalidad del flujo de calor radiante local. El conducto 40 puede construirse de metal,

- aleación de metal y material inorgánico tal como vidrio, porcelana, cerámica, carburo de silicio y combinaciones de los mismos, y fabricarse mediante métodos conocidos en la técnica. El miembro 40 de conducto puede incluir materiales que son robustos bajo ciclos térmicos, altas temperaturas y choque térmico, y que tienen características favorables de transferencia de calor. El miembro 40 de conducto puede comprender al menos un material emisor térmicamente seleccionado de metal, aleación metálica, porcelana, vidrio, cerámica, carburo de silicio, y combinaciones de los mismos. Ejemplos no limitativos de metal incluyen tungsteno, níquel, cromo, hierro, aluminio y acero inoxidable. Ejemplos no limitativos de aleaciones metálicas incluyen aleaciones que comprenden al menos uno de níquel, hierro, cobalto, cromo, molibdeno, tungsteno, silicio, manganeso, aluminio, carbono y mezclas o combinaciones de los mismos.
- 5
- 10 Una aleación de metal comprende 57 % de níquel, hasta 3 % de hierro, hasta 5% de cobalto, 22% de cromo, 2% de molibdeno, 14% de tungsteno, 0.4% de silicio, 0.5% de manganeso, 0.3% de aluminio, 0.10% de carbono, 0.015% de boro, y 0.01% de lantano y se vende como, por ejemplo, Haynes 230®. Otra aleación de metal comprende 75% de níquel, 3% de hierro, hasta 2% de cromo, 16% de cobalto, hasta 0.2% de silicio, hasta 0.5% de manganeso, 4.5% de aluminio, 0.04% de carbono, 0.01 % de itrio, y hasta 0.1 % de circonio y se vende como, por ejemplo, Haynes 214®.
- 15 Otra aleación de metal comprende 20% de níquel, 31% de hierro, 18% de cromo, 22% de cobalto, 3% de molibdeno, 2.5% de tungsteno, 0.4% de silicio, 1% de manganeso, 0.2% de aluminio, 0.10% de carbono, 0.2% de nitrógeno, 0.6% de tántalo, 0.02% de lantano, y 0.01% de circonio, y se vende como, por ejemplo, Haynes 556®. Otra aleación de metal comprende 11% de níquel, 65% de hierro, 21% de cromo, hasta 0.8% de manganeso, 1.7 % de silicio, 0.17% de nitrógeno, 0.07% de carbono y se vende como, por ejemplo, 253MA®. Otra aleación de metal comprende 33% de hierro, 37% de níquel, hasta 3% de cobalto, 25% de cromo, hasta 2.5% de molibdeno, hasta 2.5% de niobio, 0.7% de manganeso, 0.7% de silicio, 0.6% de silicio, 0.20% de nitrógeno, 0.05% de aluminio, 0.05% de carbono, y 0.004% de boro, y se vende como, por ejemplo, aleación Haynes HR-120®. Otra aleación de metal comprende 37% de níquel, 29% de cobalto, 28% de cromo, hasta 2% de hierro, 2.75% de silicio, 0.5% de manganeso, 0.5% de titanio, 0.05% de carbono, hasta 1% de tungsteno, hasta 1% de molibdeno, y hasta 1% de niobio, y se vende como, por ejemplo, aleación Haynes
- 20
- 25 HR-160®. El al menos un material térmicamente emisor puede ser carburo de silicio.

El miembro 40 de conducto puede comprender un tubo sólido. Sólido como se usa aquí indica no permeable al flujo de gas en el que el fluido calentado que ingresa al miembro 40 conducto que comprende un tubo sólido solo puede ingresar a la cavidad 20 atravesando el paso 46 y el segundo extremo 44.

- 30 El segundo extremo 44 del miembro 40 de conducto está en comunicación fluida con la fuente 30 de calor. El primer extremo 42 está en comunicación fluida con la cavidad 20. El miembro 40 de conducto puede sellarse periféricamente en el segundo extremo 44, donde acepta entradas de la fuente 30 de calor, para prevenir la derivación del fluido, es decir, para prevenir que el fluido fluya desde el interior del conducto 40 al exterior del conducto 40 a través de un camino que no pasa por el primer extremo 42.

- 35 La convección es el movimiento colectivo concertado de conjuntos de moléculas dentro de fluidos (es decir, líquidos, gases) y reids. La transferencia de calor por convección es la transferencia de calor por el movimiento molecular del fluido en la superficie del límite de transferencia. La transferencia de calor por convección no ocurre a través de un material sólido. La transferencia de calor ocurrida a través de un sólido, líquido o gas estancado se llama transferencia de calor conductiva. La radiación térmica, otro tipo de transferencia de calor, es la radiación electromagnética generada por el movimiento térmico de partículas cargadas en la materia. Por lo tanto, un material sólido caliente puede calentar otro material sólido sin hacer contacto físico por transferencia de calor radiante.
- 40

- El calor puede comunicarse de por convección desde la fuente 30 de calor a la cavidad 20 mediante el flujo del fluido calentado desde la fuente 30 de calor a través del miembro 40 de conducto hacia la cavidad 20. El miembro 40 de conducto puede contener y dirigir el flujo de fluido, por ejemplo, una combinación de combustible, oxidante, inertes y productos de combustión desde la fuente 30 de calor que calienta al miembro 40 de conducto. El calor se puede transferir por convección y de manera radiante a la región que limita al miembro 40 de conducto. El miembro 40 de conducto, que puede tener una temperatura superficial muy alta, puede actuar como una fuente de calor radiante. Como tal, una porción sustancial del miembro 40 de conducto puede emitir calor de manera radiante a las superficies circundantes. Por lo tanto, en ciertos casos, una superficie del miembro de conducto radiante sólido está en comunicación de fluido caliente con superficies de aceptación de calor dentro de la cavidad mientras emite energía radiante a las superficies circundantes de un módulo de reactor y un miembro de aislamiento. La longitud del miembro del conducto radiante puede estar cerca de la longitud de los módulos del reactor dentro de la cavidad. La longitud del miembro del conducto radiante puede afectar la transferencia de calor radiante.
- 45
- 50

- El reformador 1 con vapor comprende módulos 50 de reactor para la conversión catalítica de una corriente de reactivo en una corriente de reformado de hidrógeno. Una porción del módulo de reactor dispuesto dentro de la cavidad está ubicada alrededor del miembro del conducto radiante para recibir el calor radiante suministrado por la superficie radiante del miembro del conducto radiante sólido. El módulo 50 de reactor puede incluir un tubo cilíndrico, tubería o cualquier otra estructura. El módulo 50 de reactor puede tener formas circulares, rectangulares, oblongas, elípticas u otras formas geométricas y cuya forma de sección transversal puede variar a lo largo de su longitud. El tamaño y la forma de cada módulo 50 de reactor pueden variar a lo largo de su longitud para cambiar la geometría (por ejemplo, el área de flujo de sección transversal) del paso de flujo, así como el límite de intercambio de calor expuesto a la transferencia de calor radiante.
- 55
- 60

El módulo de reactor 50 puede estar construido de al menos un material termoconductor. Por ejemplo, el módulo 50 de reactor puede comprender al menos un material de emisividad y/o capacidad de absorción de conductividad térmica y radiante seleccionado de metal, aleación metálica, porcelana, vidrio, cerámica, carburo de silicio y combinaciones de los mismos. El reformador 50 puede comprender una aleación de alta temperatura y puede construirse mediante

5 corte, soldadura, colada o cualquier otro método conocido en la técnica. Ejemplos no limitativos de metal incluyen tungsteno, níquel, cromo, hierro, aluminio, acero inoxidable y mezclas o combinaciones de los mismos. Ejemplos no limitativos de aleaciones metálicas incluyen aleaciones que comprenden al menos uno de níquel, hierro, cobalto, cromo, molibdeno, tungsteno, silicio, manganeso, aluminio, carbono y mezclas o combinaciones de los mismos.

Una aleación de metal comprende 57 % de níquel, hasta 3 % de hierro, hasta 5% de cobalto, 22% de cromo, 2% de molibdeno, 14% de tungsteno, 0.4% de silicio, 0.5% de manganeso, 0.3% de aluminio, 0.10% de carbono, 0.015% de boro, y 0.01% de lantano y se vende como, por ejemplo, Haynes 230®. Otra aleación de metal comprende 75% de níquel, 3% de hierro, hasta 2% de cromo, 16% de cobalto, hasta 0.2% de silicio, hasta 0.5% de manganeso, 4.5% de aluminio, 0.04% de carbono, 0.01 % de itrio, y hasta 0.1% de circonio y se vende como, por ejemplo, Haynes 214®. Otra aleación de metal comprende 20% de níquel, 31% de hierro, 18% de cromo, 22% de cobalto, 3% de molibdeno,

10 2.5% de tungsteno, 0.4% de silicio, 1% de manganeso, 0.2% de aluminio, 0.10% de carbono, 0.2% de nitrógeno, 0.6% de tántalo, 0.02% de lantano, y 0.01% de circonio, y se vende como, por ejemplo, Haynes 556®. Otra aleación de metal comprende 11% de níquel, 65% de hierro, 21% de cromo, hasta 0.8% de manganeso, 1.7 % de silicón, 0.17% de nitrógeno, 0.07% de carbono y se vende como, por ejemplo, 253MA®. Otra aleación de metal comprende 33% de hierro, 37% de níquel, hasta 3% de cobalto, 25% de cromo, hasta 2.5% de molibdeno, hasta 2.5% de niobio, 0.7% de manganeso, 0.7% de silicio, 0.6% de silicio, 0.20% de nitrógeno% de aluminio, 0.05% de carbono, y 0.004% de boro, y se vende como, por ejemplo, aleación Haynes HR-120®. Otra aleación de metal comprende 37% de níquel, 29% de cobalto, 28% de cromo, hasta 2% de hierro, 2.75% de silicio, 0.5% de manganeso, 0.5% de titanio, 0.05% de carbono, hasta 1% de tungsteno, hasta 1% de molibdeno, y hasta 1% de niobio, y se vende como, por ejemplo, aleación de Haynes HR-160®. Un módulo de reactor puede comprender una superficie de alta capacidad de absorción para

15 20 25 aceptar energía radiante de la superficie del miembro de conducto radiante.

La longitud del miembro 40 de conducto puede ser igual o menor que la longitud de un módulo 50 de reactor que puede afectar la transferencia de calor radiante. En otros casos, la longitud del miembro 40 de conducto puede ser mayor que la longitud de un módulo 50 de reactor. En este caso, el factor de control de la transferencia de calor radiante puede ser la escasez del área superficial del miembro 40 de conducto. Los módulos 50 de reactor comprenden

30 al menos un catalizador de reformado tal como un catalizador de reformado de metano a vapor, un reformado previo al vapor, una oxidación, oxidación parcial o un catalizador de cambio de agua-gas. El catalizador de reformado puede llenar el lecho catalítico, totalmente o parcialmente, en cualquier forma discutida anteriormente, tal como medio catalítico granular, en pellas, y recubierto sobre un material de soporte tal como una espuma insertada en el lecho catalítico. El lecho catalítico reformador puede absorber energía radiante de la superficie del miembro de conducto radiante a través de la superficie de alta capacidad de absorción del módulo 50 de reactor.

35

Los módulos 50 de reactor están dispuestos al menos parcialmente dentro de la cavidad 20 para recibir el calor suministrado por el fluido calentado, y están ubicados sobre el miembro 40 de conducto para recibir el calor radiante suministrado por el miembro 40 de conducto. Los productos de combustión de la fuente 30 de calor que salen del primer extremo 42 del miembro 40 de conducto pueden entrar en contacto directo con las superficies exteriores del

40 módulo 50 de reformado. El calor puede comunicarse por convección desde la fuente 30 de calor a la cavidad 20 y los módulos 50 de reactor por el flujo del fluido calentado desde la fuente 30 de calor a través del miembro 40 de conducto hacia la cavidad 20.

En el funcionamiento en estado estacionario de un reformador con vapor de la presente divulgación, los módulos 50 de reactor pueden recibir calor que comprende calor convectivo desde el fluido calentado y calor radiante irradiado por el miembro 40 de conducto. En algunas realizaciones, el calor radiante comprende aproximadamente 10% hasta

45 aproximadamente 90% del calor total recibido por los módulos 50 de reactor en el funcionamiento en estado estacionario de un reformador con vapor de la presente divulgación. Como se usa aquí, se entiende que el estado estacionario indica condiciones operativas que generalmente son constantes con el tiempo. Por ejemplo, el calor radiante puede comprender aproximadamente 20% hasta aproximadamente 80%, aproximadamente 30% hasta

50 aproximadamente 70%, aproximadamente 40% hasta aproximadamente 60%, aproximadamente 50% hasta aproximadamente 90%, aproximadamente 60% hasta aproximadamente 90%, aproximadamente 70% hasta aproximadamente 90%, aproximadamente 80% hasta aproximadamente 90%, aproximadamente 60% hasta aproximadamente 80%, aproximadamente 60% hasta aproximadamente 70%, o aproximadamente 70% hasta

55 aproximadamente 80% del calor total recibido por los módulos del reactor en la operación en estado estacionario de un reformador con vapor de la presente divulgación. En otras realizaciones, el calor radiante comprende aproximadamente 10%, aproximadamente 20%, aproximadamente 30%, aproximadamente 40%, aproximadamente 50%, aproximadamente 60%, aproximadamente 70%, aproximadamente 80% o aproximadamente 90% del calor total recibido por los módulos de reactor en funcionamiento en estado estacionario de un reformador con vapor de la presente divulgación.

En algunas realizaciones, la cantidad de calor radiante del calor total recibido por los módulos del reactor excede la cantidad de calor convectivo del calor total recibido por los módulos 50 de reactor en la operación en estado estacionario de un reformador con vapor de la presente divulgación. Por ejemplo, la cantidad de calor radiante recibido

60

5 por los módulos del reactor puede ser aproximadamente 10% hasta aproximadamente 200% o mayor, aproximadamente 20% hasta aproximadamente 180% o mayor, aproximadamente 30% hasta aproximadamente 170% o mayor, aproximadamente 40% hasta aproximadamente 160% o mayor, aproximadamente 50% hasta aproximadamente 150% o mayor, aproximadamente 60% hasta aproximadamente 140% o mayor, aproximadamente 70% hasta aproximadamente 130% o mayor, aproximadamente 80% hasta aproximadamente 120% o mayor, aproximadamente 90% hasta aproximadamente 110% o mayor que la cantidad de calor convectivo recibido por los módulos del reactor en la operación en estado estacionario de un reformador con vapor de la presente divulgación. En algunas realizaciones, el calor radiante es aproximadamente 100%, aproximadamente 200%, aproximadamente 300%, aproximadamente 400% o aproximadamente 450% o mayor que la cantidad de calor convectivo recibido por los módulos 50 de reactor en la operación en estado estacionario de un reformador con vapor de la presente divulgación.

10 El reformador 1 con vapor comprende miembros aislantes dentro o sobre su superficie interna para proteger la concha 10 y reducir la pérdida de calor. Un miembro 60 aislante está dispuesto sobre una superficie interna de la concha 10 y módulos 50 de reactor. En otras realizaciones, la concha 10 también puede comprender un miembro 65 aislante dispuesto sobre la superficie interna de la concha 10 sobre una porción superior de la cavidad 20. Los miembros 60 y 65 aislantes pueden comprender un material cerámico refractario. Por ejemplo, en algunas realizaciones (1) se pueden elegir los materiales de construcción (por ejemplo, con base en la conductividad térmica y/o la emisividad) para influir en los gradientes térmicos en los miembros 60 y 65 aislantes (que afecta la distribución de la temperatura de la superficie y la emisión radiactiva asociada); y/o (2) la forma y las características de la superficie (por ejemplo, rugosidad, textura, contorno o recubrimiento que mejoran o reducen la emisividad) de los miembros 60 y 65 aislantes pueden alterarse para mejorar o reducir la intensidad y/o direccionalidad del flujo de calor radiante local.

15 Los miembros 65 y 60 aislantes pueden hacerse por métodos tales como mecanizado, colada u otros métodos conocidos en la técnica. Los miembros 60 y 65 aislantes pueden tener formas circulares, rectangulares, oblongas, elípticas u otras formas geométricas y cuya sección transversal puede variar a lo largo de su longitud. En algunas realizaciones, el tamaño y la forma de los miembros 60 y 65 aislantes pueden variar a lo largo de su longitud para cambiar la geometría (por ejemplo, el área de flujo en sección transversal) del paso de flujo, así como el límite de intercambio de calor expuesto a la transferencia de calor radiante.

20 La Figura 2 representa una realización de la presente divulgación en la que el conducto 40 radiante puede ser un único tubo cilíndrico hecho de carburo de silicio, colocado en el centro de una serie de módulos 50 de reformado. El fluido caliente puede fluir a través del paso 46 del conducto 40 desde la parte inferior del conducto hasta la parte superior del conducto como se representa por la flecha que atraviesa el paso 46, calentando una superficie del conducto 40. Como tal, el conducto 40 con superficies calentadas sirve como un radiador activo. Las flechas del conducto 40 al módulo 50 de reactor representan la transferencia de calor radiante, y las flechas desde el miembro 60 aislante al módulo 50 de reactor representan el calor radiante reflejado de regreso a los módulos 50 de reactor. Los módulos 50 de reactor rodean el conducto 40 calentado para la transferencia de calor radiante de superficie a superficie. Los gases calientes, al salir del conducto 40, giran y pasan sobre los módulos 50 de reactor, primero transversalmente y luego en paralelo para proporcionar una transferencia de calor por convección como lo indica la flecha que sale del paso 46 y las flechas curvas a lo largo de los módulos 50 de reactor. En algunas realizaciones, la transferencia de calor por convección indicada por la flecha que sale del paso 46 y las flechas curvas a lo largo de los módulos 50 de reactor se produce alrededor de la circunferencia de los módulos 50 de reactor.

25 La alta radiación de la superficie del conducto 40 puede calentar efectivamente la porción inferior de los módulos 50 de reformado donde la temperatura de la superficie puede ser más baja. La radiación también puede suavizar los gradientes de temperatura en los módulos 50 de reactor en una porción sustancial de su longitud. La temperatura de los gases calientes que salen del conducto 40 puede ser generalmente más baja que la que no produce radiación en la pared del conducto. La combinación de radiación de superficie a superficie y transferencia de calor por convección puede mantener la temperatura máxima de las paredes del módulo a una temperatura más baja y con el mismo servicio de transferencia de calor, una consideración clave para lograr una mayor vida útil del reformador.

30 La Figura 3 representa una realización de la presente divulgación en la que el primer extremo 90 de la concha 10 incluye una pluralidad de aberturas 70, en el que cada abertura 70 puede configurarse para recibir módulos 50 de reactor. En algunas realizaciones, los módulos 50 de reactor pueden insertarse individualmente para extenderse dentro de la cavidad 20 de la concha 10.

35 La Figura 4 representa una vista en sección transversal de la realización mostrada en la Figura 2. Como se muestra, una superficie del miembro 60 aislante puede diseñarse para proporcionar una geometría de superficie reflectante radiante. Una superficie frente a una porción de módulos 50 de reactor dispuesta dentro de la cavidad 20 está conformada para ajustarse a la forma de dicha porción de módulos 50 de reactor y dimensionada para proporcionar espacio 25 entre dicha porción de módulos 50 de reactor y dicha superficie del miembro 60 aislante. Los medios térmicos de alta temperatura pueden fluir a través del espacio 25 a una velocidad óptima teniendo en cuenta las tasas de transferencia de calor por convección, la uniformidad del flujo, la caída de presión, la tolerancia mecánica, los requisitos de ensamblaje y el coste. En algunas realizaciones, la geometría del al menos un miembro aislante proporciona que los haces radiantes de la superficie del elemento radiante que llegan a la superficie de los módulos del reactor sean interceptados y desviados por la superficie del miembro de aislamiento a los módulos del reactor. El



al menos un miembro aislante comprende formas de arco cuyo número puede coincidir con el número de los módulos del reactor. La longitud del al menos un miembro de aislamiento puede ser aproximadamente igual o sustancialmente igual a la longitud de la concha cilíndrica para la reflexión radiante y la protección de la concha metálica.

5 La Figura 5 representa otra realización de la presente divulgación en la que una porción de los módulos 150 de reactor que permanece fuera de la cavidad 120 puede unirse de forma individual y de forma extraíble a la porción 190 superior de la concha 100. Por ejemplo, la porción 152 puede unirse a la porción 190 superior por medios tales como abrazaderas, pernos u otros mecanismos conocidos en la técnica. En algunas realizaciones, la porción 152 se puede unir de manera desmontable a la porción 190 superior sin soldar y puede tener la ventaja de una rápida extracción y/o reemplazo de los módulos 50 de reactor como un método para dar servicio al reformador con vapor. En otras realizaciones, la porción 152 se puede unir de manera desmontable a la porción 180 inferior (no representada).

10 En algunas realizaciones, la porción 154 de los módulos 150 de reactor dispuestos dentro de la cavidad 120 cuelga libremente dentro del espacio interior sin unirse a la superficie interna de la concha cerca de la porción 180 inferior de la concha 100. En una realización, la porción 154 puede estar unida a la superficie interna de la porción 180 inferior de concha de la concha 100, por ejemplo, con tuberías flexibles (no representadas), que son conductos de gas flexibles entre dos puntos de conexión que permiten la expansión y/o desplazamiento térmico diferencial, o medios de otro modo conocidos en la técnica. En otras realizaciones, la porción 154 de los módulos 150 el reactor dispuestos dentro de la cavidad 120 cuelga libremente dentro del espacio interior sin unirse a la superficie interna de la concha cerca de la porción 180 inferior de la concha 100. En una realización, la porción 154 está libre de tales conexiones dentro de la cavidad como, por ejemplo, tuberías flexibles.

20 En algunas realizaciones, la porción 180 inferior puede comprender la abertura 185 en la que el conducto 140 se puede unir en el segundo extremo 144 del conducto 140. En algunas realizaciones, un puerto de entrada de reactivo y un puerto de salida de producto de los módulos del reactor están ambos conectados a la porción superior de los módulos del reactor o la parte inferior de los módulos del reactor. En otras realizaciones, un puerto de entrada de reactivo y un puerto de salida de producto están en diferentes porciones de los módulos del reactor.

25 En otra realización, la bobina 160 de enfriamiento puede enfriar la corriente de escape que sale del reformador. En algunas realizaciones, la bobina de enfriamiento se puede separar del conjunto quemador/reformador.

La Figura 6 representa otra realización de un módulo 50 de reformado de la presente divulgación. En esta realización, los módulos 50 de reactor pueden ser un recipiente con una superficie exterior diseñada para aceptar la entrada térmica de la región exterior (por ejemplo, radiación desde la superficie del miembro 40 de conducto y los miembros 30 60 y 65 de aislamiento, y convección de gases calientes desde el miembro 40 de conducto (sin foto)). La entrada térmica puede pasar al menos un catalizador de reformado, impulsando la reacción de reforma endotérmica. El módulo 50 de reactor puede ser un recipiente, tubo, tubería, conducto u otra estructura como se discutió anteriormente.

Los módulos 50 de reactor pueden instalarse o reemplazarse desde el exterior del reformador. Cada módulo 50 de reactor se puede instalar desde la parte superior o desde la parte inferior del reformador. La forma exterior del módulo 35 puede ser redonda, cuadrada, triangular o cualquier otra forma. Los módulos 50 de reactor pueden construirse con materiales tales como cualquier material inorgánico tal como vidrio, cerámica, aceros inoxidables, aleaciones exóticas, aleaciones metálicas como se describió anteriormente, etc., dependiendo de la presión y temperatura de operación.

En esta realización, los módulos 50 de reactor pueden comprender una cavidad y contienen una multiplicidad de espacios de flujos anidados juntos y configurados de tal manera que inducen múltiples flujos de contracorriente. En algunas realizaciones, los espacios de flujo anidados comprenden un conjunto de tubos dispuesto al menos 40 parcialmente dentro de la cavidad del reformador 50. Específicamente, los módulos 50 de reactor incluyen un primer conducto de fluido que, en esta realización, es la concha 200 que incluye un primer extremo 210, un segundo extremo 220, y un paso que se extiende generalmente entre el primer extremo 210 y el segundo extremo 220. Los módulos 50 de reactor también pueden comprender un segundo conducto 250 de fluido dispuesto dentro del paso del primer conducto de fluido. El segundo conducto 250 de fluido incluye el primer extremo 252, el segundo extremo 254 y el 45 paso 256.

Un tercer conducto 260 de fluido puede estar dispuesto dentro del paso 256 del segundo conducto 250 de fluido e incluye un primer extremo 262, un segundo extremo 264 y un paso 266. Un cuarto conducto 270 de fluido puede estar 50 dispuesto dentro del paso 266 del tercer conducto 260 de fluido e incluye un primer extremo 272, un segundo extremo 274 y un paso 276. El paso del primer conducto 200 de fluido también puede comprender un lecho 230 catalítico reformador que puede comprender al menos un catalizador de reformado. El primer extremo 272 del cuarto conducto 270 de fluido incluye además el puerto 310 de entrada de reactivo, y el primer extremo 210 del primer conducto 200 de fluido incluye el puerto 320 de salida de producto.

55 El segundo extremo 220 del primer conducto 200 de fluido y el segundo extremo 274 del cuarto conducto 270 de fluido pueden estar conectados de manera fluida permitiendo que el flujo de fluido de una corriente reactiva pase a través del cuarto conducto 270 de fluido al lecho 230 catalítico reformador. En algunas realizaciones, el puerto 310 de entrada de reactivo y el cuarto conducto 270 de fluido pueden funcionar como un primer canal configurado para proporcionar una corriente reactiva a al menos una porción del lecho 230 catalítico.

El lecho 230 catalítico reformador puede conectarse de manera fluida al segundo conducto 250 de fluido en el primer extremo 252 permitiendo que el flujo de fluido de una corriente de producto pase desde el lecho 230 catalítico al segundo conducto 250 de fluido. El segundo extremo 264 del tercer conducto 260 de fluido y el segundo extremo 254 del segundo conducto 250 de fluido pueden estar conectados de manera fluida permitiendo que el flujo de fluido de una corriente de producto pase del segundo conducto 250 de fluido al tercer conducto 260 de fluido. El primer extremo 210 del primer conducto 200 de fluido y el primer extremo 262 del tercer conducto 260 de fluido pueden conectarse de manera fluida permitiendo que el flujo de fluido de una corriente de producto pase desde el tercer conducto 260 de fluido al primer conducto 200 de fluido y fuera del puerto 320 de salida de reactivo. En algunas realizaciones, el segundo conducto 250 de fluido, el tercer conducto 260 de fluido y el primer conducto 200 de fluido pueden funcionar como un segundo canal configurado para pasar una corriente reactiva desde el lecho 230 catalítico al puerto 320 de salida de reactivo.

Una corriente de producto caliente que pasa del lecho 230 catalítico reformador, a través del segundo conducto 250 de fluido, y el tercer conducto 260 de fluido puede precalentar una corriente reactiva que pasa a través del cuarto conducto 270 de fluido a contracorriente al flujo de corriente del producto, por transferencia de calor entre la corriente del producto y la corriente reactiva. La corriente de producto caliente que pasa desde el lecho 230 catalítico reformador también puede calentar todo o parte del lecho 230 catalítico reformador a través de la cantidad significativa de superficie de la pared del segundo conducto 250 de fluido contiguo con el lecho 230 catalítico reformador.

La realización de módulos de reactor representada en la Figura 6, que comprende pasos de flujo concéntricos, internos, a contracorriente divididos por el segundo conducto 250 de fluido, el tercer conducto 260 de fluido y el cuarto conducto 270 de fluido, puede proporcionar temperaturas relativamente bajas en ambos extremos de la concha 200. Tal perfil de temperatura puede aliviar los requisitos de soldadura y permitir el uso de materiales de menor coste en comparación con aleaciones exóticas costosas bajo ciertos intervalos de presión de operación. Por lo tanto, los módulos 50 de reactor pueden construirse con tuberías y tapas de acero inoxidable comunes y fabricarse mediante soldadura y otros métodos conocidos en la técnica. El segundo conducto 250 de fluido, el tercer conducto 260 de fluido y el cuarto conducto 270 de fluido pueden construirse con tuberías o tubos de acero inoxidable comunes como SS316, y fabricarse mediante soldadura u otros métodos conocidos en la técnica. Estos materiales y métodos de fabricación pueden utilizarse debido a los diferenciales de baja presión a través de las paredes de los tres conductos anteriores.

Además, la corriente relativa de reactivo fría se puede alimentar a través del cuarto conducto 270 de fluido sin reducir la temperatura del lecho 230 catalítico reformador. Esto permite la recuperación de calor interna de alta eficiencia desde una corriente de producto caliente a una corriente de reactivo fría. Además, la transferencia de calor interna puede aliviar la necesidad de un intercambiador de calor externo para enfriar una corriente de producto caliente y precalentar una corriente de reactivo fría, simplificando de ese modo un reformador con vapor tal como, por ejemplo, un reformador con vapor de la presente divulgación.

La Figura 7 representa otra realización de un reformador con vapor de la presente divulgación. En esta realización, la concha puede comprender además al menos un deflector 300 dispuesto sobre el primer extremo del conducto 40. El deflector 300 también puede interponerse entre el conducto 40 radiante y los módulos 50 de reacción.

Sin desear limitarse a ninguna teoría en particular, la diferencia de temperatura entre un punto caliente en la pared frontal del módulo 50 de reacción frente a los gases calientes que salen del conducto 40 y el lado posterior del módulo 50 de reacción puede alcanzar más de 100°C. Esta diferencia de temperatura puede hacer que el módulo de reacción se deforme en la dirección radial y haga contacto (con cierta fuerza) con el miembro 60 aislante. Esta deformación puede cambiar el comportamiento del flujo cerca de la parte inferior del módulo 50 de reacción (brecha más estrecha entre el miembro 60 aislante y el módulo 50 de reacción), pero también puede dañar el miembro 60 aislante cuando aumenta la diferencia de temperatura. En esta realización, el deflector 300 puede impedir que el gas 310 de combustión caliente que sale del conducto 40 por el impacto en el módulo 50 de reacción al reflejar los gases 320 calientes y enviar más flujo de gas caliente a la parte posterior del módulo 50 de reacción a lo largo de la ruta 330, lo que puede dar como resultado una temperatura de pared frontal inferior del módulo 50 de reacción y transferencia de calor convectiva mejorada en la parte posterior del módulo 50 de reacción.

Los deflectores 300 pueden tener cualquier tamaño, forma y/o área de sección transversal adecuada para, por ejemplo, impedir que el conducto 40 de salida de gas de combustión caliente impacte en el módulo 50 de reacción, y/o envíe más flujo de gas caliente a la parte posterior del módulo 50 de reacción, y/o reduzca la diferencia de temperatura sobre el módulo 50 de reacción, de modo que cualquier deformación radial pueda disminuirse.

La Figura 8 representa otra realización más de un reformador con vapor de la presente divulgación. En esta realización, el miembro 60 aislante puede comprender además al menos un reflector 400 dispuesto sobre el primer extremo del conducto 40. El reflector 400 también puede interponerse entre el miembro 60 aislante y los módulos 50 de reacción y puede ubicarse en cualquier posición sobre el miembro 60 aislante.

Sin desear estar sujeto a ninguna teoría particular, el reflector 400 puede reflejar la energía de radiación en la parte posterior del módulo 50 de reactor con respecto al conducto 40, lo que da como resultado una diferencia de temperatura más baja entre la parte frontal y posterior del módulo 50 de reactor en relación con el conducto 40. Esto también puede reducir cualquier deformación radial en la parte inferior de los módulos 50 de reactor.

El reflector 400 puede tener cualquier tamaño, forma y/o área de sección transversal adecuada para, por ejemplo, reflejar la energía de radiación en la parte posterior del módulo 50 de reactor con respecto al conducto 40, de modo que se pueda disminuir cualquier deformación radial.

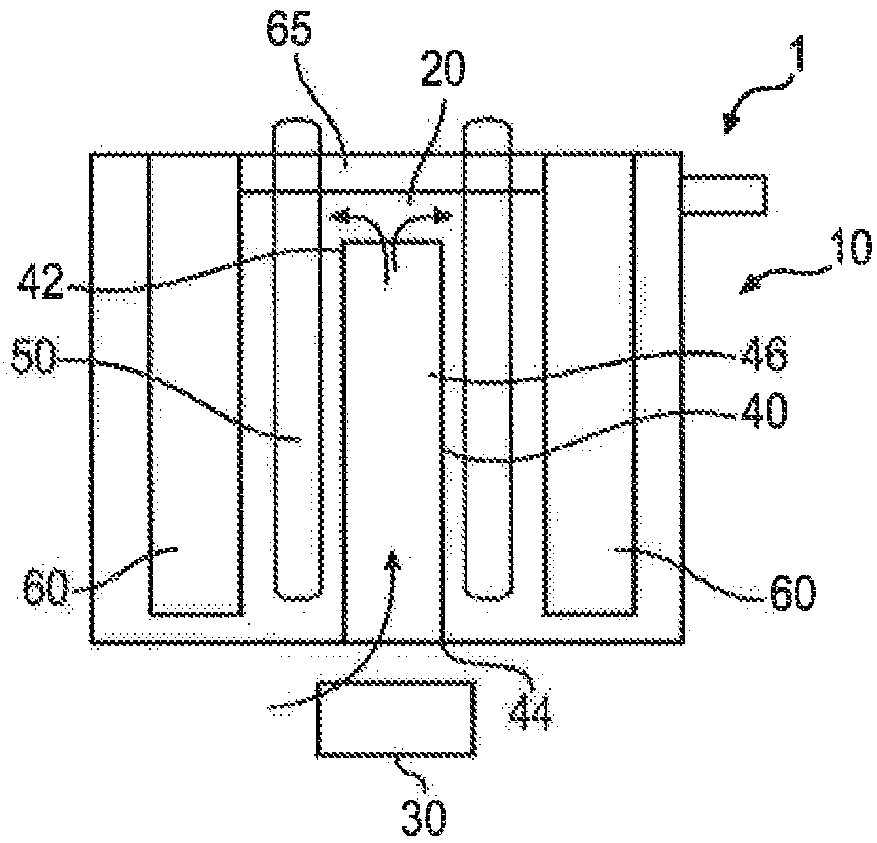
5 En algunas realizaciones, el reflector 400 y el deflector 300 pueden comprender cada uno independientemente al menos un material de alta conductividad y alta emisividad, cada uno seleccionado independientemente de un metal, una porcelana, una aleación de metal, un vidrio, una cerámica, un carburo de silicio y combinaciones de los mismos como se discutió anteriormente con respecto al conducto 40. En una realización, el reflector 400 comprende un carburo de silicio.

10 En algunas realizaciones, el deflector 300 y el reflector 400 pueden comprender cada uno independientemente una aleación de alta temperatura, y pueden construirse mediante corte, soldadura, colada o cualquier otro método conocido en la técnica. Ejemplos no limitativos de metal incluyen tungsteno, níquel, cromo, hierro, aluminio, acero inoxidable, y mezclas o combinaciones de los mismos como se discutió anteriormente con respecto a los módulos 50 de reactor. Los ejemplos no limitativos de aleaciones metálicas incluyen aleaciones que comprenden al menos uno de níquel, hierro, cobalto, cromo, molibdeno, tungsteno, silicio, manganeso, aluminio, carbono y mezclas o combinaciones de los mismos como se discutió anteriormente con respecto a los módulos 50 de reactor.

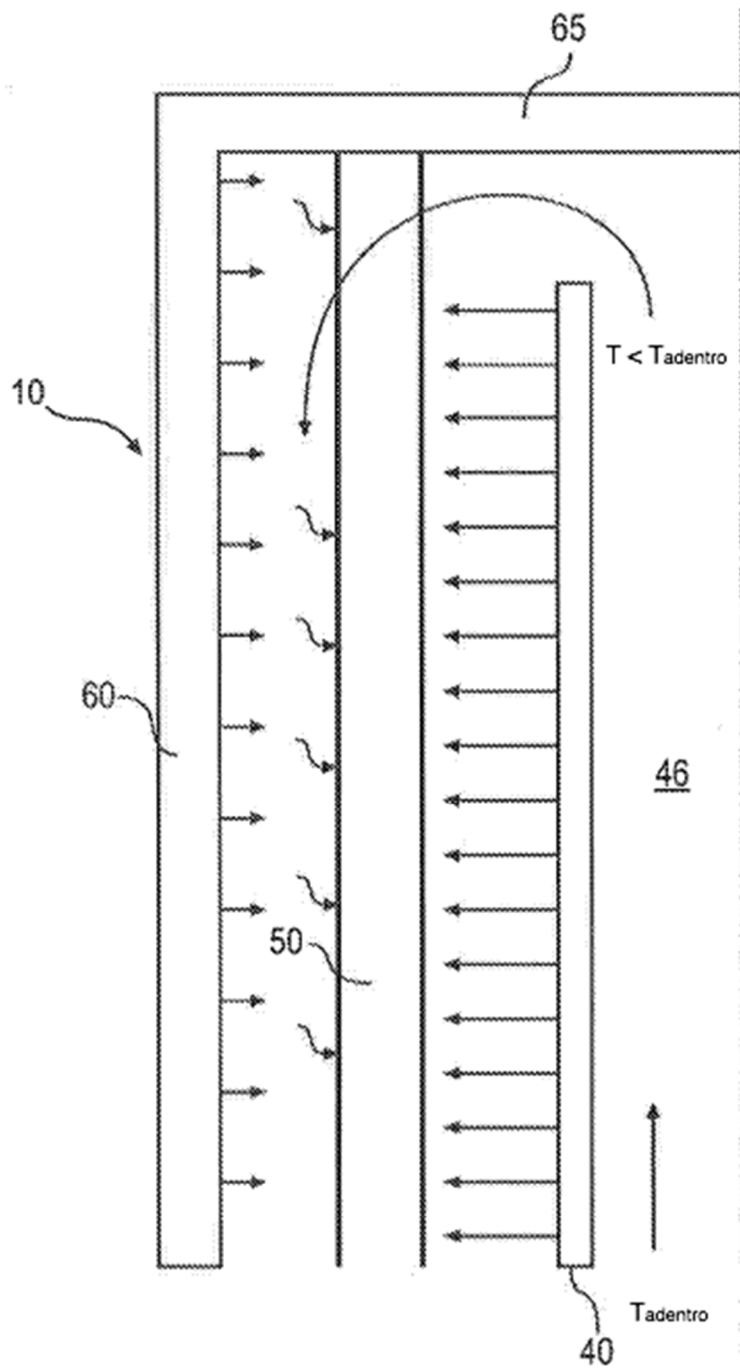
15 Otras realizaciones de la presente divulgación serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la consideración de la especificación y la práctica de los conceptos divulgados aquí.

**REIVINDICACIONES**

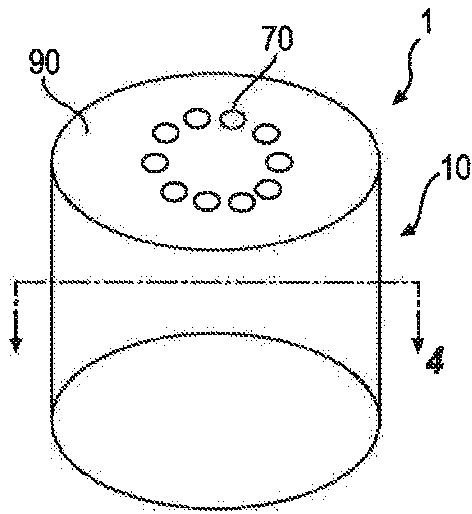
1. Un reformador con vapor para la producción de un reformado de hidrógeno, que comprende:  
una concha (10) que tiene una cavidad (20) y una fuente (30) de calor configurada para calentar un fluido,  
en el que la concha (10) comprende:
- 5 un miembro (40) de conducto radiante dispuesto al menos parcialmente dentro de la cavidad (20) y que comprende al menos un material térmicamente emisor para proporcionar una superficie emisora de radiación dentro de la cavidad (20), comprendiendo el miembro (40) de conducto radiante  
un primer extremo (42) en comunicación fluida con la cavidad (20),  
un segundo extremo (44) en comunicación fluida con la fuente (30) de calor, y
- 10 un paso (46) que se extiende generalmente a través del conducto (40) radiante para guiar el fluido calentado desde la fuente (30) de calor a la cavidad (20);  
módulos (50) de reactor al menos parcialmente dispuestos dentro de la cavidad (20) para recibir calor suministrado por el fluido calentado, y ubicados sobre el miembro (40) de conducto radiante para recibir calor radiante suministrado por el miembro (40) de conducto radiante,
- 15 en el que cada uno de los módulos (50) de reactor comprende un lecho catalítico reformador; y  
al menos un miembro (60) aislante dispuesto dentro de la cavidad (20) para reflejar el calor radiante desde el miembro (40) de conducto radiante y el fluido calentado de regreso a los módulos (50) de reactor, cuya superficie está conformada para conformarse a la forma individual de los módulos (50) de reactor;
- 20 caracterizado porque un conjunto de módulos (50) de reactor rodea el miembro (40) de conducto radiante, y el al menos un miembro (60) aislante comprende formas de arco, cuyo número coincide con el número de módulos de reactor;  
en el que el miembro (40) de conducto radiante está configurado para irradiar calor desde el fluido calentado que atraviesa el paso (46) del conducto (40) radiante hacia la cavidad (20).
- 25 2. El reformador con vapor de la reivindicación 1, en el que el al menos un material térmicamente emisor se selecciona del grupo que consiste en un metal, una porcelana, una aleación de metal, un vidrio, una cerámica, un carburo de silicio y combinaciones de los mismos.
3. El reformador con vapor de la reivindicación 2, en el que el al menos un material térmicamente emisor es carburo de silicio.
- 30 4. El reformador con vapor de la reivindicación 1, en el que el lecho catalítico reformador comprende al menos uno de un catalizador de reformado a vapor, un catalizador de reformado previa al vapor, un catalizador de oxidación, un catalizador de oxidación parcial y un catalizador de desplazamiento de agua-gas.
5. El reformador con vapor de la reivindicación 1, en el que un primer extremo (90) de la concha (10) incluye al menos una abertura (70) configurada para recibir los módulos (50) del reactor.
- 35 6. El reformador con vapor de la reivindicación 5, en el que porciones (154) de los módulos (150) de reactor dispuestos dentro de la cavidad (120) cuelgan libremente dentro de la cavidad (120).
7. El reformador con vapor de la reivindicación 6, en el que los módulos (150) están unidos individualmente y extraíblemente al primer extremo (190) de la concha (100).
8. El reformador con vapor de la reivindicación 1, en el que la longitud del miembro (40) de conducto radiante es igual o mayor que la longitud del lecho catalítico reformador.
- 40 9. El reformador con vapor de la reivindicación 1, en el que la longitud del miembro (40) de conducto radiante es igual o menor que la longitud del lecho catalítico reformador.
10. El reformador con vapor de la reivindicación 1, en el que la fuente (30) de calor está ubicada en uno de un primer extremo de la concha (10) y un segundo extremo de la concha (10).



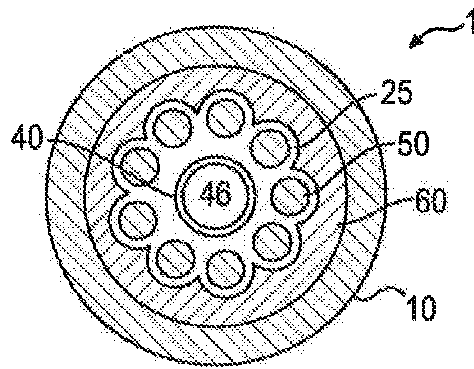
**FIG. 1**



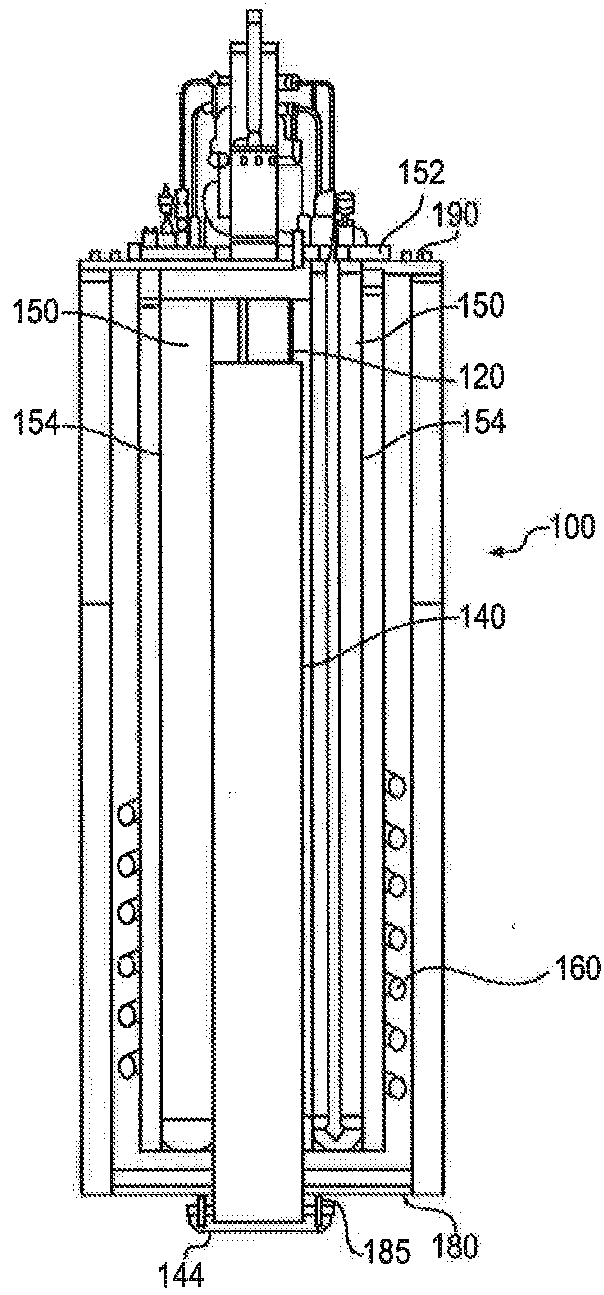
**FIG. 2**



**FIG. 3**

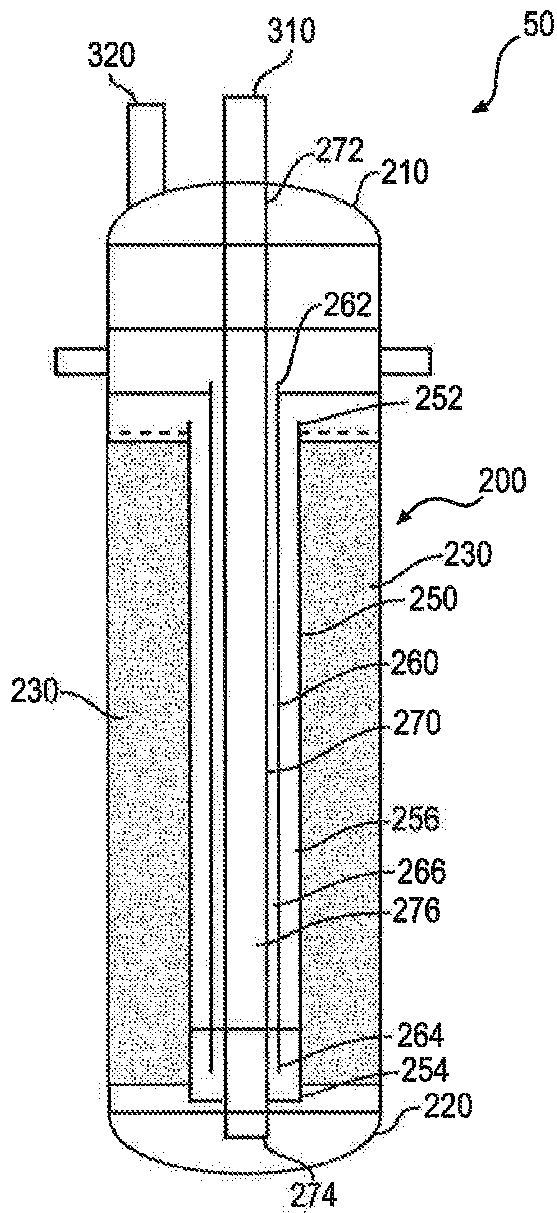


**FIG. 4**

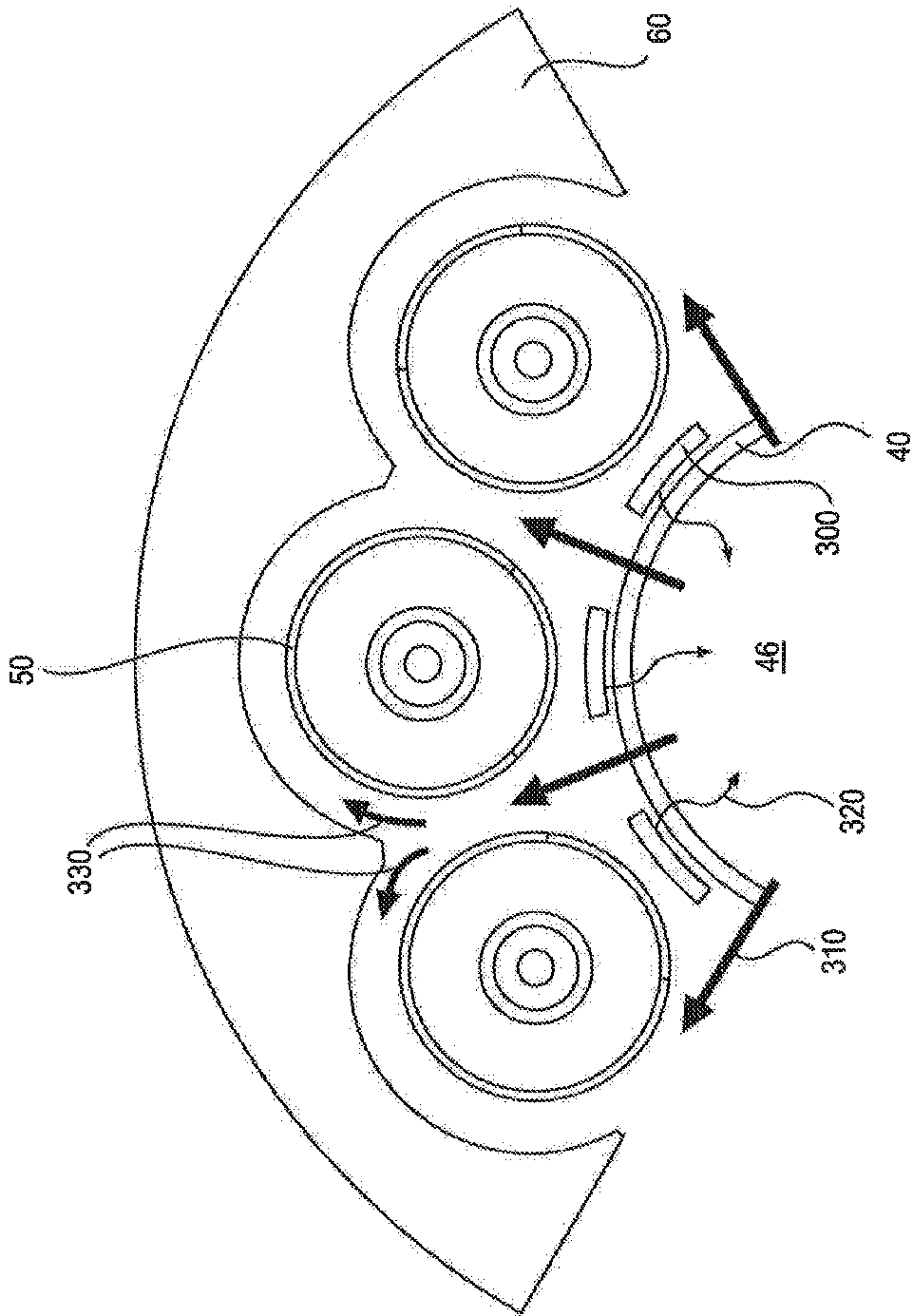


**FIG. 5**

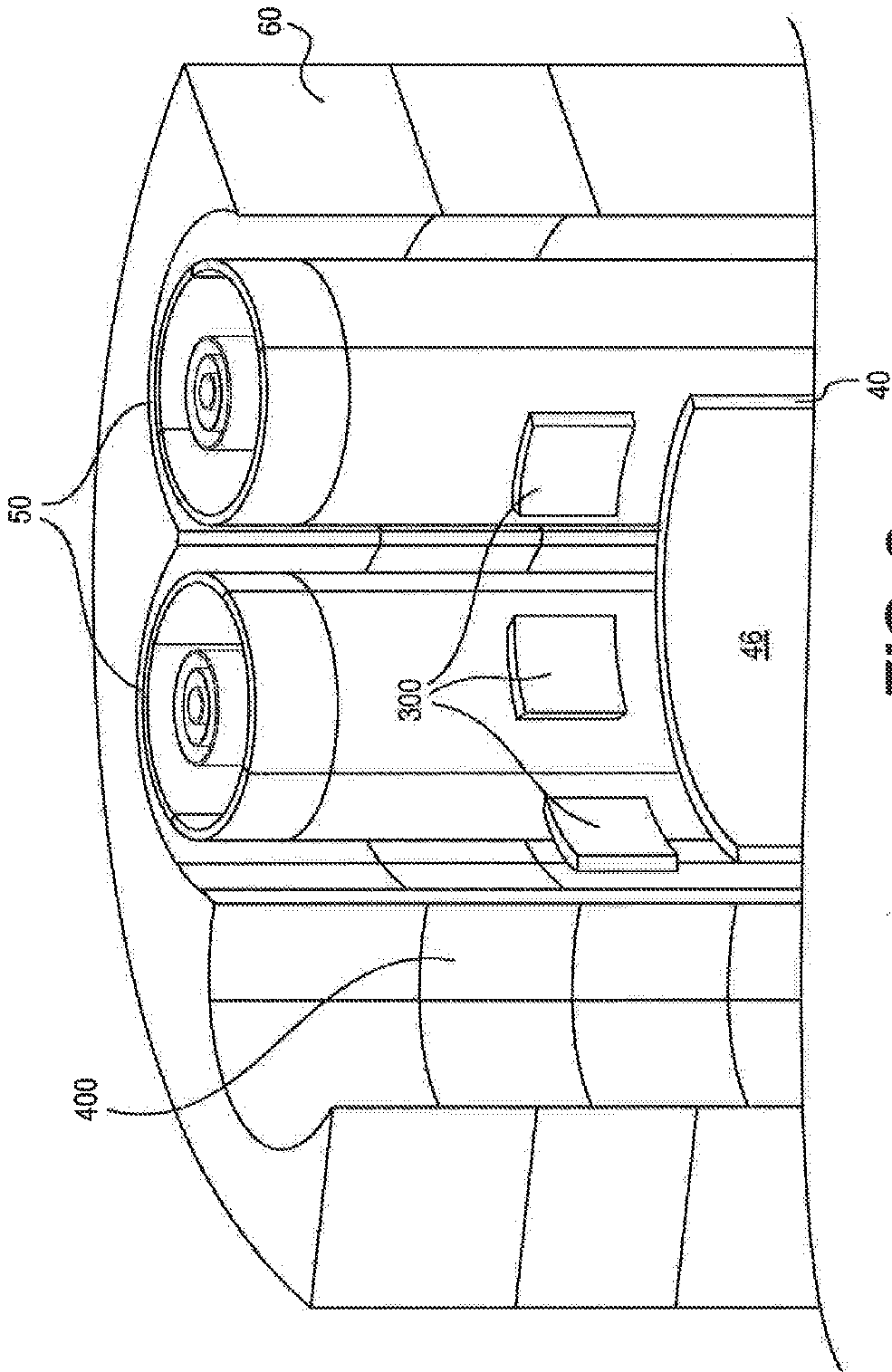




**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**