

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 434 666**

21 Número de solicitud: 201331239

51 Int. Cl.:

B01J 8/06 (2006.01)

C01B 3/34 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

07.08.2013

43 Fecha de publicación de la solicitud:

16.12.2013

71 Solicitantes:

ABENGOA HIDRÓGENO, S.A. (100.0%)
C/ Energía Solar, 1 Campus Palmas Altas
41014 Sevilla ES

72 Inventor/es:

SCHOLTEN, Anton;
WESTERNDORP, Gerard;
GARCÍA GÓMEZ, Covadonga;
GALLARDO GARCÍA-ORTA, Victoria;
MARTÍN BETANCOURT, Mariana y
JIMÉNEZ DOMÍNGUEZ, M^a Ángeles

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes**

57 Resumen:

Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes integrado con una pila de combustible que comprende un colector de alimentación y distribución de reactivos (1), unos tubos de reacción (6) alrededor de los que circulan unos gases calientes, al menos dos intercambiadores de calor integrados en los tubos de reacción (6) y un colector de flujo de gas de reformado (18). La distribución del gas de reactivos se realiza de forma homogénea a todos los tubos de reacción (6) gracias al empleo de una placa de distribución (5) situada en la brida de conexión (2) del colector de alimentación y distribución de reactivos (1) y a un anillo de restricción de flujo (3) situado en la línea de entrada de gas de reactivos que elimina la lateralidad del flujo de gas de reactivos antes de llegar a la placa de distribución (5).

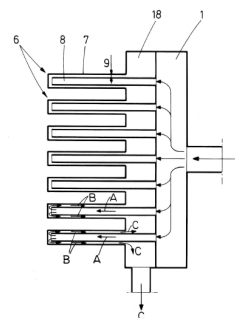


FIG. 4

**REFORMADOR MULTITUBULAR PARA UN SISTEMA DE REFORMADO DE
HIDROCARBUROS Y ALCOHOLES**

DESCRIPCIÓN

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se puede incluir en el campo técnico de los reactores de reformado, conocidos como reformadores, y más concretamente a los que están diseñados para ser incorporados en un sistema de reformado de bioetanol para la producción de corrientes ricas en hidrógeno aptas para alimentar pilas de combustible.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Del estado de la técnica se conoce una pluralidad de reformadores que permiten el reformado de combustibles fósiles, gas natural, metanol, etanol, etc. para la producción de hidrógeno para la producción de energía eléctrica mediante pilas de combustible.

Se conocen reformadores que permiten maximizar la utilización de calor para un proceso de reformado de vapor de hidrocarburos para producir gas de síntesis. Dichos reformadores comprenden un recipiente revestido de material refractario con tabiques que dividen el interior del recipiente en una cámara de combustión que contiene uno o más quemadores. Hay unas cámaras de convección que se utilizan como un medio para eliminar productos de la combustión de la cámara a través de una o más aberturas en el extremo opuesto del extremo del quemador. La cámara de combustión contiene uno o más tubos del reformador en el que se introduce una mezcla de hidrocarburos y el flujo de vapor de agua que recibe el calor radiante directo desde la llama de combustión a través de la pared del tubo.

Asimismo se conocen reformadores en los que se introducen hidrocarburos que comprenden compartimentos que definen una cámara de combustión con un dispositivo quemador para la combustión de un combustible. Disponen de una segunda cámara integralmente formada con el compartimento descrito y que comprende un conducto para

recibir agua y otro para evacuar gases de postcombustión. El reformador está dentro del quemador y comprende catalizador en su interior para llevar a cabo la reacción de reformado.

5 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención propone un reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes destinado a producir una corriente rica en hidrógeno apta para alimentar pilas de combustible.

10

La mayor ventaja del presente reformador es que el gas de reactivos que se introduce en él se distribuye uniformemente por todos los tubos de reformado. En el reformador se genera la corriente gaseosa rica en hidrógeno mediante una reacción catalítica de reformado empleando como gas de reactivos una mezcla de bioetanol y vapor de agua.

15

En una realización preferente de la invención, el reformador se emplea en un sistema de reformado de bioetanol. A lo largo de la memoria se describe el ejemplo de realización preferente empleando bioetanol (de origen no fósil) mezclado con agua como gas de reactivos, pero un experto en la materia entenderá que el mismo ejemplo aplica a la mezcla de etanol (obtenido de cualquier otra forma) más agua. La reacción de reformado de bioetanol con agua es altamente endotérmica por lo que es necesario aportar una cantidad elevada de energía durante la reacción para mantener una distribución de temperaturas uniforme en el reformador.

25

El gas de reformado que se obtiene a la salida del reformador, después de haberse llevado a cabo la reacción catalítica, es un gas con una concentración de CO menor de 9 % v (base seca). Dicho gas de reformado tiene una concentración de H₂ superior al 70% v (base seca). Además la concentración de metano es menor al 1% v (base seca).

30

Las partes esenciales del reformador de la invención son un colector de alimentación y distribución de reactivos, un conjunto de tubos de reacción, intercambiadores de

calor (aletas) integrados en los tubos de reacción y un colector de flujo de gas de reformado.

5 El bioetanol y el agua una vez evaporados en los correspondientes equipos del sistema de reformado de bioetanol se mezclan una línea de alimentación al reformador que está unida al colector de alimentación y distribución de reactivos mediante una brida de conexión. En el interior de este colector de alimentación y distribución de reactivos se realiza la distribución homogénea del gas de reactivos hacia cada uno de los tubos de reacción.

10

El reformador multitubular de la presente invención garantiza una distribución homogénea de gases por todos los tubos de reacción, siendo éste un parámetro clave para que se produzca una distribución homogénea de temperaturas en todos los tubos. La obtención de una distribución homogénea de temperaturas en los tubos ayuda a conseguir una óptima reacción catalítica de reformado.

15

La distribución homogénea de flujo de gases de reactivos se consigue gracias a una placa de distribución de flujo que se dispone en la entrada del colector de alimentación y distribución de reactivos. Dicha placa de distribución de flujo está inclinada un ángulo determinado respecto a la entrada del colector en la dirección de entrada del gas de reactivos y está diseñada para distribuir la corriente de reactivos a alta velocidad proveniente de la brida de entrada por todo el colector de alimentación y distribución de reactivos.

20

25 El colector de alimentación y distribución de reactivos tiene un volumen pequeño por lo que la introducción de gas de reactivos a alta velocidad genera, en los reformadores del estado de la técnica, una alimentación preferencial de los tubos directamente enfrentados a la brida de entrada, debido a la alta presión dinámica de la corriente. En la presente invención la colocación de la placa distribuidora elimina este efecto repartiendo los reactivos por todo el colector de alimentación y distribución de reactivos y consiguiendo así una alimentación equilibrada en todos los tubos del reformador.

30

En la línea de alimentación se dispone también un anillo restrictor de flujo. Debido a la curvatura de la línea de alimentación del reformador, el caudal de reactivos que se introduce adquiere un camino preferencial por el lateral de dicha línea de alimentación. Esto produce un perfil de velocidades muy heterogéneo en la sección de entrada al reformador lo que genera un mal funcionamiento de la placa de distribución. El anillo restrictor de flujo provoca una restricción en la circulación del caudal de reactivos que uniformiza el perfil de velocidades en la brida de entrada. Con esto se consigue que la placa de distribución reciba un frente de flujo uniforme.

El reformador de la presente invención comprende también un mezclador estático que permite asegurar una mezcla homogénea del bioetanol y el vapor de agua que se introducen en el reformador. Está situado en la línea de alimentación, antes de la brida de entrada al colector.

El colector de alimentación y distribución de reactivos está conectado con el conjunto tubos de reacción, que se distribuyen preferentemente formando un hexágono, con una zona central y un perímetro delimitado por los tubos de reacción que están situados en la zona exterior.

Cada tubo de reacción del reformador está constituido por dos tubos concéntricos que son un tubo interior y un tubo exterior. Los tubos de reacción tienen un extremo abierto por el que entran y salen los gases y otro extremo cerrado en el que se dispone un capuchón. Dicho capuchón cierra el extremo del tubo exterior pero no el del tubo interior.

El gas de reactivos entra en el tubo de reacción por el tubo interior y lo recorre axialmente hasta llegar al otro extremo, donde está el capuchón. En ese punto el gas de reactivos experimenta un cambio de trayectoria y de sentido y vuelve hasta el extremo de entrada por el tubo exterior (más concretamente por la sección anular que se dispone entre el tubo interior y el tubo exterior). Durante su recorrido por el tubo exterior el gas atraviesa al menos un lecho catalítico en el que se lleva a cabo la reacción catalítica de reformado. En el extremo abierto del tubo exterior se recoge el gas de reformado que es una corriente rica en hidrógeno.

En la sección anular de los tubos de reacción se favorecen intercambios de calor que permiten mejorar las condiciones bajo las que se produce la reacción de reformado y el producto obtenido. Estos intercambios de calor que se realizan en la sección anular también permiten la integración energética, es decir, el aprovechamiento de energía residual. Por ejemplo, se utiliza el gas de reformado para calentar la corriente de gas de reactivos que circula por el tubo interior.

El colector de flujo de gas de reformado está situado a continuación del colector de alimentación y distribución de reactivos separados ambos por un plato de conexión que impide que se mezclen los distintos flujos gaseosos (de gas de reactivos y gas de reformado). El colector de flujo de gas de reformado recibe el gas de reformado que sale por la sección anular que queda entre el tubo interior y el tubo exterior de los tubos de reacción.

En una realización preferente de la invención el reformador está integrado con un quemador del sistema de reformado de bioetanol formando un módulo compacto. Más concretamente, el reformador de la invención se integra en la cámara de combustión de un quemador. En este caso, para garantizar que se mantengan las condiciones óptimas de temperatura para que se produzca la reacción de reformado, se fuerza a una corriente de gases de postcombustión del quemador a circular alrededor de los tubos de reformado, utilizándose como fluido caliente para ceder calor a la reacción de reformado que se lleva a cabo en el interior de los tubos de reacción.

Los tubos de reacción tienen dispuestas en su exterior unas aletas para propiciar el intercambio de calor entre los gases de postcombustión que circulan por el exterior de los tubos de reformado y los gases de reformado que circulan por la sección anular.

El reformador comprende adicionalmente unos deflectores. En concreto, alrededor de la disposición de tubos de reformado con sus respectivas aletas acopladas, es decir, entre los tubos de reformado perimetrales se colocan unos primeros deflectores, que

son elementos triangulares sólidos que impiden que el flujo de gases que proporcionan calor a los tubos de reacción se bifurque por los laterales. El objetivo de este intercambio de calor es proporcionar energía a los tubos de reacción para mantener la reacción de reformado que se produce en su interior, que es endotérmica. Por otra parte, para evitar que el flujo de gases que proporcionan calor a los tubos de reformado se distribuya de forma preferencial por los espacios vacíos que se crean entre las aletas de dos tubos de reformado adyacentes en el centro del reformador, se incorpora en cada hueco unos segundos deflectores que son unos elementos cilíndricos sólidos que se conectan al capuchón del tubo correspondiente. Esta disposición garantiza un perfil homogéneo de temperaturas en los tubos de reformado.

Asimismo las aletas de los deflectores, en caso de que los haya, pueden tener alguna geometría específica para hacer que el flujo de gases que se emplea para refrigerar sea turbulento.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra una vista del exterior del reformador.

Figura 2.- Muestra una vista de la línea de alimentación y la brida de entrada en las que se disponen el mezclador, el anillo de restricción de flujo y la placa de distribución de reactivos.

30

Figura 3.- Muestra una vista de un tubo de reacción del reformador.

Figura 4.- Muestra una vista del colector de alimentación y distribución de reactivos, del

colector de flujo de gas de reformado y de los tubos de reacción.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

5 En la presente invención se describe un reformador multitubular para ser empleado en un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes integrado con una pila de combustible. Los hidrocarburos y alcoholes que se pueden reformar con este reformador multitubular propuesto son por ejemplo gas natural, metanol, diésel, etanol, etc. En un ejemplo de realización del reformador multitubular, se utilizan como
10 gases de reactivos bioetanol y vapor de agua, y se obtiene un gas de reformado que es una corriente rica en hidrógeno. La característica más importante del reformador es que comprende un sistema de distribución de gases que permite distribuir el gas de reactivos uniformemente en todos los tubos de reacción. Gracias a la optimización de distribución de flujo de reactivos en los tubos de reacción y a la distribución de
15 flujo y temperatura de los gases que se emplean para proporcionan calor a dichos tubos (que se fuerzan a circular alrededor de los mismos), se consigue maximizar el rendimiento energético y químico del reformador.

El reformador de la invención comprende esencialmente un colector de alimentación y distribución de reactivos (1), un conjunto de tubos de reformado (6),
20 intercambiadores de calor (aletas) integrados en los tubos de reacción (6) y un colector de flujo de gas de reformado (18). En la figura 1 se observa un vista general del reformador desde el exterior.

25 El colector de alimentación y distribución de reactivos (1) está conectado a una brida de conexión (2) que a su vez está conectada a una línea de entrada de reactivos (17). Como se ha descrito anteriormente, el problema técnico de los reformadores del estado de la técnica es que la distribución de gas de reactivos en los tubos de reformado no se produce de forma homogénea. El reformador de la presente
30 invención comprende unos elementos en la brida de conexión (2) y en la línea de entrada de reactivos (17) que permiten realizar una distribución homogénea de los gases de reactivos en todos los tubos de reacción.

En la brida de conexión (2) se dispone una placa de distribución (5) de flujo que está diseñada para distribuir la corriente de reactivos a alta velocidad proveniente del conducto de alimentación por el interior del colector de alimentación y distribución de reactivos (1) de forma que la entrada de los reactivos a todos los tubos de reacción (6) sea homogénea.

La brida de conexión (2) está situada más cerca de algunos de los tubos de reacción (6) que de otros por lo que en caso de no disponer de la placa de distribución (5) la mayoría de los reactivos pasaría por los tubos de reacción (6) que están más cerca. Este factor influye directamente en la distribución de temperatura entre los tubos de reacción, que debe ser uniforme para garantizar que se produzca una correcta reacción de reformado.

El colector de alimentación y distribución de reactivos (1) es de pequeño tamaño por lo que la alimentación del flujo total a alta velocidad genera una alimentación preferencial a los tubos de reacción (6) que están directamente enfrentados a la brida de entrada (2), debido a la alta presión dinámica de la corriente.

Este efecto ocurre en los reformadores multitubulares conocidos del estado de la técnica. En la presente invención este problema técnico se resuelve colocando la placa de distribución (5) en la brida de entrada (2). Esta placa de distribución (5) elimina el efecto descrito y reparte el gas de reactivos por todo el colector de entrada y distribución de reactivos (1) y favorece una alimentación homogénea de todos los tubos de reacción (6).

La placa de distribución (5) está dispuesta de forma que la corriente de gas de reactivos incide directamente sobre ella como se aprecia en la figura 2. Además está ligeramente inclinada, en el sentido de avance del gas de reactivos y consta de dos vertientes, inclinadas un ángulo de menos de 40°. Así pues la placa de distribución (5) fuerza gas de reactivos a cambiar la trayectoria impidiendo que entren directamente en los tubos enfrentados a la brida de entrada y consiguiendo así que llegue a todos los tubos de reacción la misma cantidad de gas de reactivo. Dicho cambio de trayectoria se produce cuando el flujo de gas de reactivos llega a la placa

de distribución (5) que como se aprecia en la figura 2 está situada en el interior del colector de alimentación y distribución de reactivos (5).

Adicionalmente, en la línea de entrada de reactivos (17) se dispone un anillo de restricción de flujo (3) que también se observa en la figura 2. Dicho anillo de restricción de flujo (3) tiene la función de eliminar la lateralidad del flujo de gas de reactivos (bioetanol y vapor de agua) a la entrada del reformador. La línea de entrada de reactivos (17) es curva por lo que el flujo de reactivos adquiere un camino preferencial por el lateral del conducto, con un perfil de velocidades muy heterogéneo en la entrada al reformador. Con estas condiciones de entrada del flujo la placa de distribución (5) no cumpliría su función.

Así pues, el anillo de restricción de flujo (3) está diseñado para provocar una restricción del flujo de gas de reactivos, romper la lateralidad del caudal, y uniformizar el perfil de velocidades a la entrada al reformador para que el flujo incidente en la placa de distribución sea uniforme y funcione correctamente. El anillo de restricción de flujo (3) no obtura el conducto de la línea de entrada de reactivos (17) para no generar una pérdida de presión excesiva en el flujo de gas de reactivos que sería perjudicial para las etapas del proceso de reformado de bioetanol, es decir, puede afectar en el resto de elementos del sistema de reformado de bioetanol. El anillo de restricción de flujo (3) tiene un diámetro exterior coincidente con el diámetro interior de la brida de entrada (2) y un diámetro interior de al menos el 75% de dicho diámetro exterior.

Adicionalmente en la línea de entrada de reactivos (17) que conecta con la brida de conexión (2) se dispone un mezclador estático (4), que está destinado a garantizar una mezcla homogénea del bioetanol y el vapor de agua de entrada. Este elemento aparece mostrado en la figura 2.

Cada tubo de reacción (6) está constituido por dos tubos concéntricos que comprenden un tubo interior (7) y un tubo exterior (8), que es coaxial al tubo interior (7), y tiene un diámetro mayor. Entre el tubo interior (7) y el tubo exterior (8) se crea una sección anular (9).

Dichos tubos de reacción (6) tienen un extremo abierto de entrada y salida de gases, y un extremo cerrado con un capuchón (19) como se aprecia en la figura 3. El gas de reactivos se introduce por el extremo abierto en el tubo interior (7) y recorre dicho tubo hasta el final donde choca con el capuchón (19). En ese momento experimenta un cambio de sentido de trayectoria y el gas vuelve hasta el extremo abierto por el tubo exterior (8) (concretamente por la sección anular (9) formada entre la superficie exterior del tubo interior (7) y la superficie interior del tubo exterior (8)).

En dicha sección anular (9) se dispone un lecho catalítico de forma que cuando el gas lo atraviesa se produce la reacción catalítica con la que se obtiene el gas de reformado. De esta forma, el gas que llega al extremo abierto del tubo de reacción (6) por el tubo exterior (8) ya es gas de reformado que se recoge en un colector de gas de reformado (18).

Cada tubo de reacción (6) comprende al menos un primer intercambiador de calor en su interior y un segundo intercambiador de calor en su exterior.

En una realización preferente de la invención los tubos de reacción (6) se dividen en tres secciones. Una primera sección (10) del tubo de reacción está situada en el extremo abierto y en ella se dispone el primer intercambiador de calor que comprende unas primeras aletas (11) en la sección anular (9) y unas segundas aletas (12) en la parte interna del tubo interior (7). En esta primera sección las primeras aletas (11) y las segundas aletas (12) están destinadas a facilitar un intercambio de calor entre el gas de reformado, que recorre la sección anular (9) que está a una temperatura elevada, y el gas de reactivos que circula por el tubo interior (7) al que cede calor.

Los tubos comprenden una segunda sección (13) que está situada a continuación de la primera sección (10) y en ella se dispone al menos un lecho catalítico. En esta realización de la invención son unas terceras aletas (14) en la sección anular (9) que están impregnadas con un catalizador selectivo que permite llevar a cabo la reacción de reformado de los gases que circulan por la sección anular (9).

En la segunda sección se dispone también el segundo intercambiador, que está

situado en la parte exterior del tubo de reacción (6). En esta realización son unas cuartas aletas (15) en la parte externa del tubo exterior (8) que están destinadas a facilitar el intercambio de calor entre los gases que circulan a través del lecho catalítico de la sección anular (9) y unos gases calientes que se hacen circular entre los tubos de reacción (6) (por el exterior de éstos). Este segundo intercambiador permite transferir la energía necesaria para la reacción de reformado que se lleva a cabo en el lecho catalítico y que es altamente endotérmica. Además las cuartas aletas (15) tienen una geometría tal que favorece la turbulencia de dichos gases calientes que circulan por fuera de los tubos de reacción (6).

Los tubos de reacción (6) comprenden una tercera sección (16), situada a continuación de la segunda sección (13), en el extremo cerrado del tubo de reacción (6). En esta sección el tubo interior (7) y el tubo exterior (8) se comunican. Los gases de reactivos que circulan por el tubo interior (7) al llegar al final del tubo de reacción (6) chocan con el capuchón (19) y se desvían hacia la sección anular (9) por la que circulan en dirección contraria. El lecho catalítico se extiende también a lo largo de la tercera sección (16). Por lo que en esta tercera sección (16) también se disponen las terceras aletas (14) impregnadas de catalizador en la sección anular (9).

En una realización de la invención se disponen una pluralidad de deflectores entre los espacios vacíos que se crean entre los segundos intercambiadores de calor, es decir las cuartas aletas (15), de tubos de reacción (6) adyacentes. Los deflectores que se colocan entre los tubos de reacción (6) de la zona exterior del conjunto de tubos de reacción (6) tienen preferentemente una configuración alargada de sección triangular. Los deflectores que se colocan en la zona central del conjunto de tubos de reacción (6) tienen preferentemente una configuración alargada de sección circular.

Los deflectores están destinados a forzar la trayectoria de los gases calientes que se hacen circular entre los tubos de reacción (6) hacia la superficie exterior de dichos tubos para facilitar los intercambios de calor descritos anteriormente.

En la segunda y tercera sección (13, 16) no se desea optimizar la transferencia de

calor a los gases de reactivos sino que por el contrario el objetivo es que todo el calor se concentre en la zona catalítica para favorecer la reacción endotérmica de reformado.

5 El colector de flujo de gas de reformado (18) está situado a continuación del colector de alimentación y distribución de reactivos (1), separados ambos por un plato de conexión que impide que se mezclen los distintos flujos gaseosos (el de gas de reactivos y el de gas de reformado). En la figura 4 se aprecian los dos colectores y cómo están conectados a los tubos de reacción (6). El colector de flujo de gas de reformado (18) recibe los gases de reformado que salen de la sección anular (9) de los tubos de reacción (6).
10

En una realización preferente de la invención el reformador puede procesar hasta 130 kg/h de bioetanol y puede producir hasta 26 kg/h de hidrógeno.

15

El gas de reactivos es una mezcla de bioetanol con vapor de agua que se introduce en el reformador a una temperatura de al menos 120°C y preferiblemente entre 120°C y 350°C. Dicho gas de reactivos se distribuye equitativamente en los tubos de reacción (6) gracias a la placa de distribución (5) de la brida de conexión (2) del colector de alimentación y distribución de reactivos (1). En cada tubo de reacción (6) se hace aumentar la temperatura del gas de reactivos haciéndolo circular por el tubo interior (7) donde se produce un intercambio de calor con el gas que circula por la sección anular (9) mediante las segundas aletas (12). Cuando el gas de reactivos llega hasta el extremo del tubo de reacción (6) cambia de sentido y recorre la sección anular (9) en sentido contrario, atravesando las terceras aletas (14) que están impregnadas con catalizador.
20
25

Cuando los gases atraviesan las aletas con catalizador se produce la reacción de reformado. En ese momento la temperatura debe estar entre 500°C y 850°C, preferiblemente entre 700°C y 750°C. Como se trata de una reacción endotérmica es necesario obtener calor de algún fluido a mayor temperatura. Para ello, en una realización preferente de la invención se emplean los gases de postcombustión de un quemador para realizar un intercambio de calor mediante las cuartas aletas (15), de
30

forma que dichos gases de combustión ceden calor a los gases que circulan por la sección anular (9).

5 El gas de reformado obtenido debe ser enfriado antes del salir del tubo de reacción (6) para lo cual atraviesa las primeras aletas (11) que hay en la sección anular (9) a través de las que intercambia calor con los gases de reactivos que entran por el tubo interior (7). El gas de reformado sale de los tubos de reacción (6) a una temperatura preferente de entre 205°C y 350°C al colector de gas de reformado (18).

10 Así pues, el gas de reformado se obtiene ya a una temperatura adecuada para poder enviarla a otros elementos del sistema de reformado de hidrocarburos en el que está instalado. No es necesario pasarlo por intercambiadores adicionales con lo que se ahorran elementos en el sistema general.

15 En una realización particular de la invención el reformador para un sistema de reformado de bioetanol está especialmente diseñado para ser instalado en el interior de un submarino de forma que el gas de reformado que se obtiene en el reformador se emplea para alimentar una pila de combustible que proporciona energía eléctrica para la impulsión del submarino en condiciones anaeróbicas.

20 En una realización de la invención el reformador está integrado con un quemador. En esta realización los gases calientes que se hacen circular entre los tubos de reacción (6), por fuera de éstos, para garantizar unas condiciones adecuadas para la reacción de reformado, son los gases de postcombustión a la salida de la cámara de
25 combustión del quemador.

En el quemador se emplea para generar el calor necesario para la reacción endotérmica de reformado. El quemador emplea como combustible el residuo anódico de la pila de combustible que está integrada en el sistema de reformado de
30 hidrocarburos en el que está el reformador. En algunos casos puede ser necesario adicionar una cantidad extra de bioetanol como combustible del quemador.

En esta realización el reformador integrado con el quemador constituyen un módulo

compacto, que en caso de que se instale por ejemplo en un submarino, puede ser extraído por la escotilla del submarino en las labores de mantenimiento y reparación. Preferentemente el conjunto del reformador con el quemador tiene unas medidas inferiores a 790 mm de diámetro y 2100 mm de longitud.

5

Cuando se integra el reformador con un quemador y se emplean en aplicaciones marítimas, como por ejemplo en un submarino, en las operaciones de mantenimiento y reparación, los elementos susceptibles de ser reemplazados deben ser desmontables de forma fácil y rápida.

10

Para poder garantizar un funcionamiento óptimo del reactor es necesario comprobar que todos los tubos de reacción (6) trabajan a la misma temperatura. Para ello en una realización de la invención se dispone de dos termopares de medida para cada tubo de reacción (6), uno en la zona del catalizador y otro en el tope. Como los tubos de reacción (6) tienen una longitud elevada y trabajan a temperaturas elevadas, se emplean unas conexiones reemplazables en la parte exterior del colector de alimentación y distribución de reactivos (1) ya que ahí la temperatura es menor y cada termopar se introduce por dichas conexiones hasta la zona de medida.

15

20

Para posicionar cada termopar en la zona de medida correspondiente, en el interior de cada tubo de reacción (6) se disponen dos guías soldadas al tope del tubo interior (7) y en la sección anular (9), respectivamente, que permiten introducir el termopar desde las conexiones ubicadas en el exterior del colector de alimentación y distribución de reactivos (1) evitando que se doblen o se rompan.

25

Un uso para el que es especialmente adecuado el reformador de la invención es un sistema de reformado de bioetanol de un submarino. El reformador descrito puede tener un tamaño compacto e incluso puede estar integrado en un quemador. Con la integración del reformador en el quemador se ahorra mucho espacio y se aumenta la eficiencia energética del sistema de reformado de bioetanol.

30

La integración de reformador y quemador permite obtener una distribución homogénea de temperatura en todos los tubos de reacción del reformado por lo que

la reacción de reformado del gas de reactivos se produce de forma más efectiva.

REIVINDICACIONES

1.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes integrado con una pila de combustible que comprende un colector de alimentación y distribución de reactivos (1), unos tubos de reacción (6) alrededor de los que circulan unos gases calientes, al menos dos intercambiadores de calor integrados en los tubos de reacción (6) y un colector de flujo de gas de reformado (18), y el reformador está caracterizado por:

5
10 - el colector de alimentación y distribución de reactivos (1) está conectado a una brida de conexión (2) conectada a su vez a una línea de entrada de reactivos (17) a través de la que se introduce el gas de reactivos:

15 -en la brida de conexión (2) se dispone una placa de distribución (5) de flujo tal que el flujo de entrada de gas de reactivos incide directamente sobre ella, y consta de dos vertientes inclinadas, y está destinada a distribuir homogéneamente el gas de reactivos por todos los tubos de reacción (6),

-en la línea de entrada de reactivos (17) se dispone un anillo de restricción al flujo (3) destinado a eliminar la lateralidad del flujo de gas de reactivos antes de llegar a la placa de distribución (5);

20 - los tubos de reacción (6) comprenden al menos un primer intercambiador y un lecho catalítico en el interior del tubo de reacción (6), un segundo intercambiador en el exterior del tubo de reacción (6),

25 - el colector de flujo de gas de reformado (18) está situado a continuación del colector de alimentación y distribución de reactivos (1), separados ambos colectores (18, 1) por un plato de conexión (19),

30 y los tubos de reacción comprenden un tubo interior (7) conectado al colector de alimentación y distribución de reactivos (1) y un tubo exterior (8) conectado al colector de flujo de gas de reformado (18).

2.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes según la reivindicación 1 caracterizado por que el gas de reactivos es bioetanol mezclado con vapor de agua.

3.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes

según la reivindicación 1 caracterizado por que los tubos de reacción (6) comprenden una sección anular (9) entre el tubo interior (7) y el tubo exterior (8) y se dividen longitudinalmente en:

5 - una primera sección (10) en la que se dispone el primer intercambiador que comprende unas primeras aletas (11) en la sección anular (9) y unas segundas aletas (12) en el interior del tubo interior (7) destinadas a favorecer el intercambio de calor entre los gases que circulan por el tubo interior (7) y los que circulan por la sección anular (9),

10 - una segunda sección (13) situada a continuación de la primera sección (10) en la que se dispone el lecho catalítico, que comprende unas terceras aletas (14) en la sección anular (9) impregnadas con un catalizador, destinadas a favorecer la reacción de reformado de los gases que las atraviesan, y se dispone el segundo intercambiador que comprende unas cuartas aletas (15) en la parte externa del tubo exterior (8) destinadas a favorecer el intercambio de calor entre los gases que circulan por la sección anular (9) y los gases calientes que circulan por fuera de los tubos de reacción (6) y con una geometría tal que favorece la turbulencia de dichos gases calientes que circulan por fuera
15 de los tubos de reacción (6),

20 - una tercera sección (16) situada a continuación de la segunda sección (13), a lo largo de la que prolongan las terceras aletas (14) situadas en la sección anular (9) recubiertas con un catalizador destinadas a favorecer la reacción de reformado de los gases que las atraviesan.

4.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes según la reivindicación 1 caracterizado porque adicionalmente comprende una pluralidad de deflectores que se disponen entre los espacios vacíos que quedan entre dos tubos
25 de reacción (6) adyacentes, destinados a forzar la circulación de los gases calientes que circulan por fuera de los tubos de reacción (6) hacia las paredes del tubo exterior (8) de dichos tubos de reacción (6).

5.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes según la reivindicación 4 caracterizado por que los deflectores situados entre los tubos de
30 reacción (6) dispuestos en la zona exterior del conjunto de tubos de reacción (6) tienen una configuración de sección triangular.

6.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes

según la reivindicación 4 caracterizado porque los deflectores situados entre los tubos de reacción (6) dispuestos en la zona central del conjunto de tubos de reacción (6) tienen una configuración de sección circular.

5 7.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes según la reivindicación 1 caracterizado por que en la línea de entrada de reactivo (17) se dispone un mezclador estático (4) destinado a realizar una mezcla homogénea del los reactivos.

10 8.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes según la reivindicación 1 caracterizado por que está integrado con un quemador constituyendo un módulo compacto.

15 9.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes según la reivindicación 8 caracterizado por que está integrado en la cámara de combustión de un quemador.

20 10.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes según la reivindicación 8 caracterizado por que todos los tubos de reacción (6) trabajan a una temperatura comprendida entre los 500°C y los 850°C.

25 11.- Reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes según la reivindicación 8 caracterizado por que todos los tubos de reacción (6) trabajan a una temperatura comprendida entre los 700°C y los 750 °C.

12.- Uso del reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes descrito en las reivindicaciones 1 a 11 en un sistema de reformado de bioetanol.

30 13.- Uso del reformador multitubular para un sistema de reformado de hidrocarburos y alcoholes descrito en las reivindicaciones 1 a 11 en un submarino en condiciones anaeróbicas.

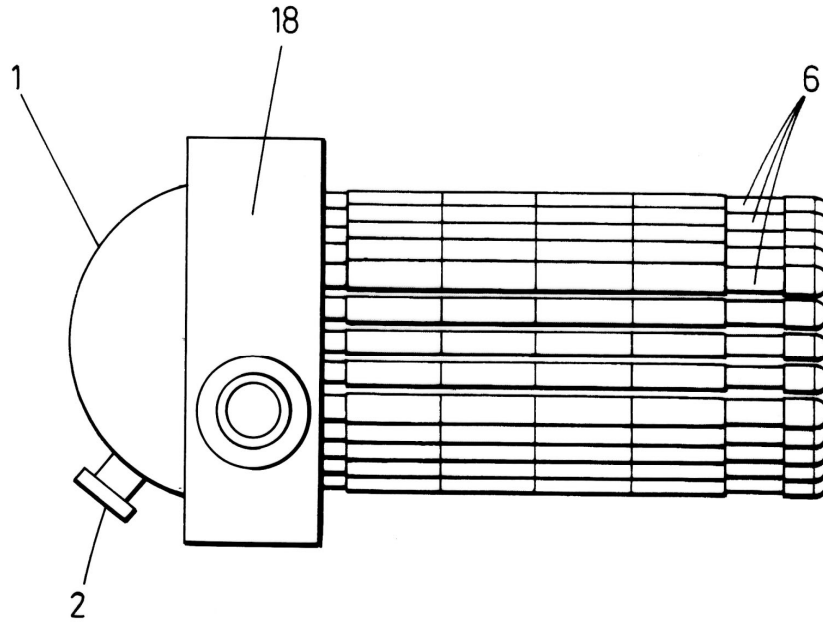


FIG.1

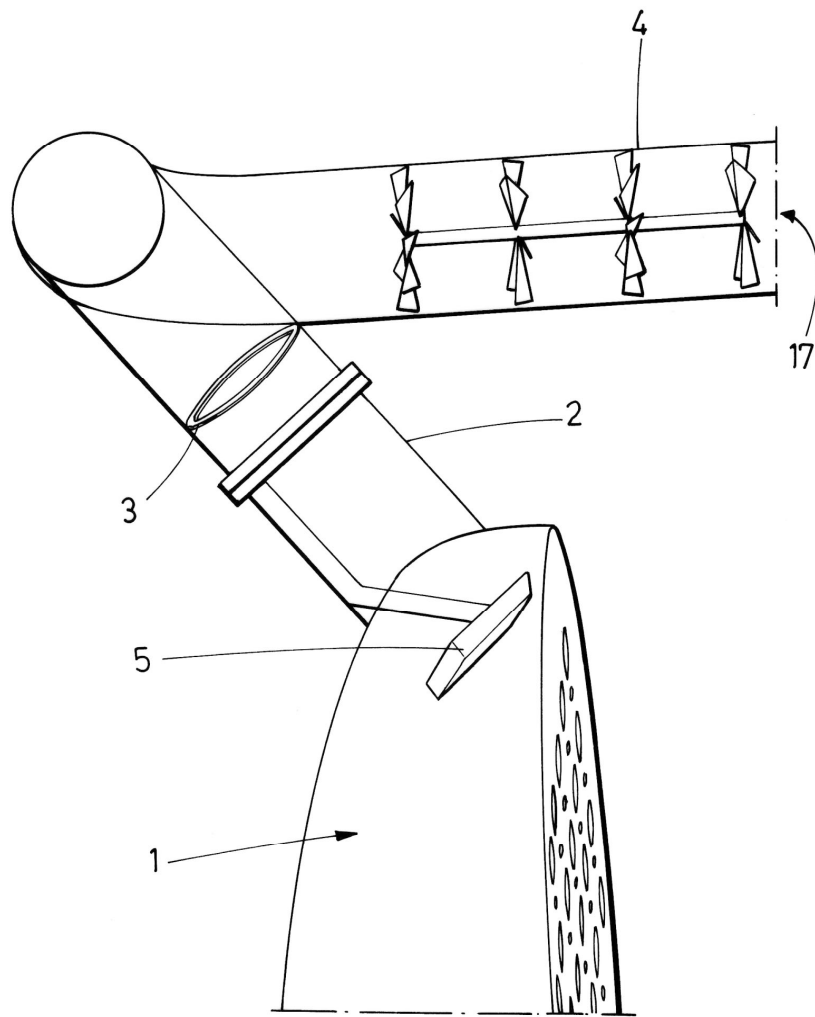


FIG.2

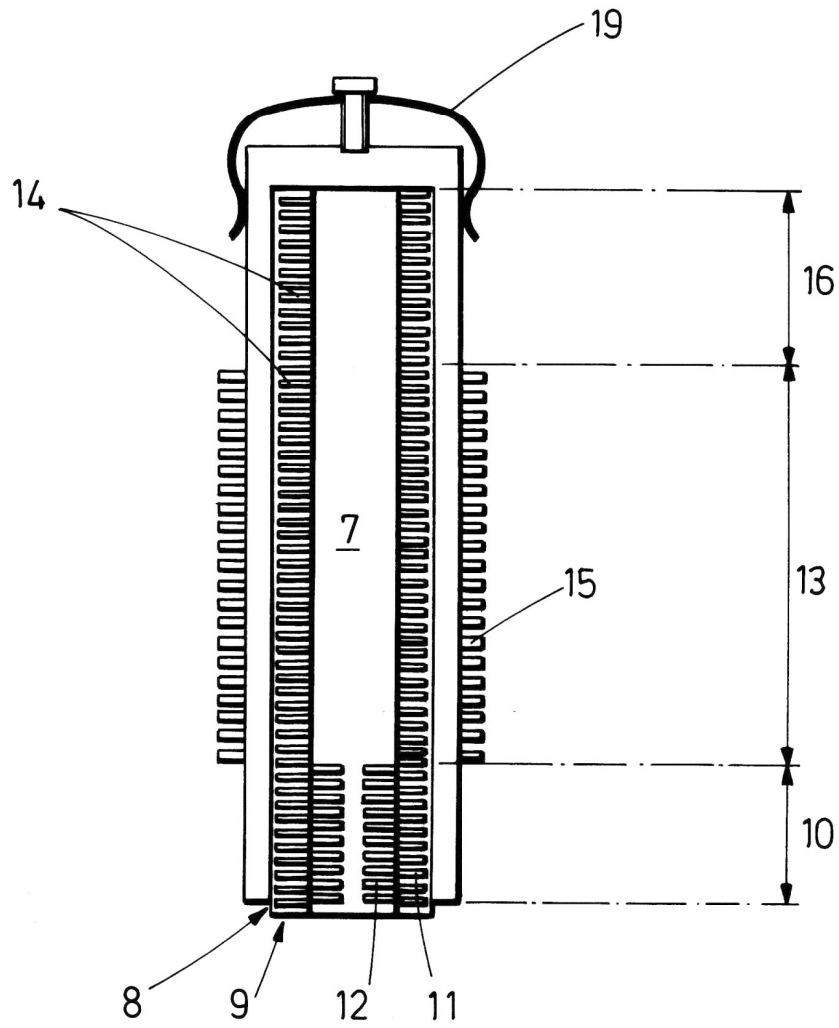


FIG.3

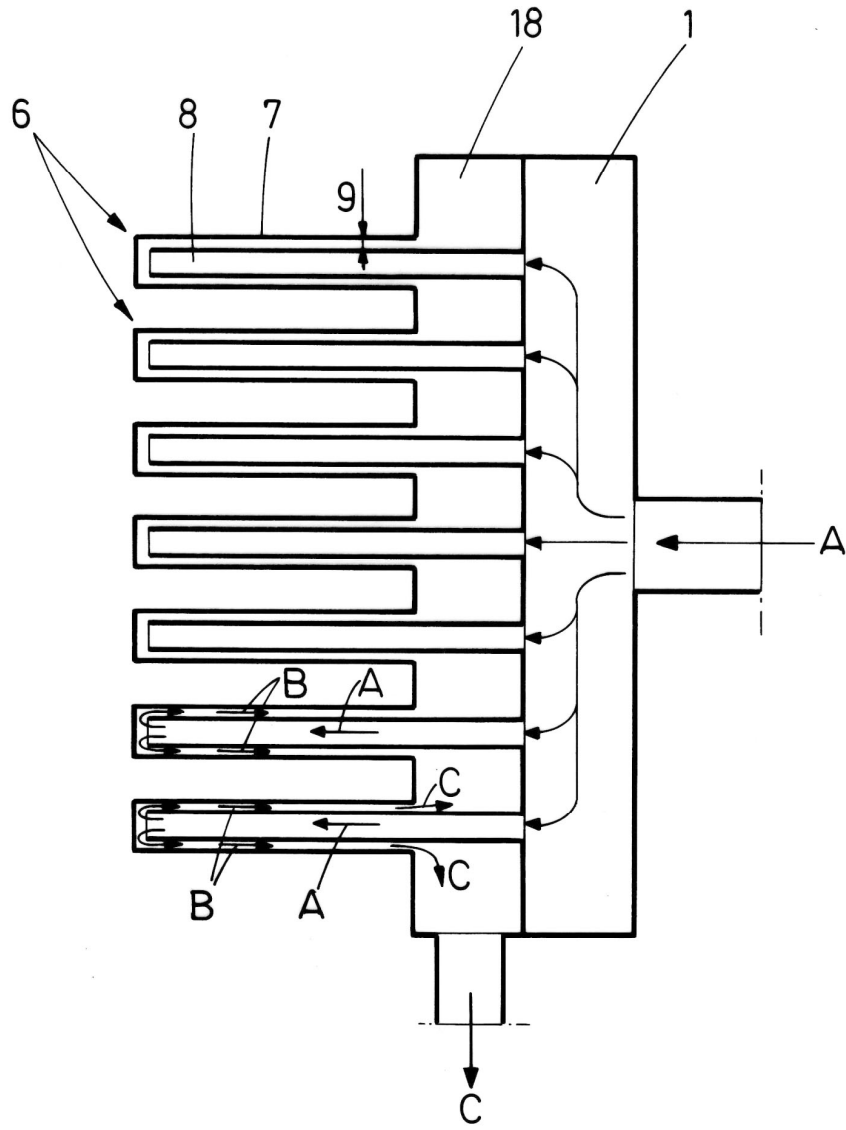


FIG.4



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

21 N.º solicitud: 201331239

22 Fecha de presentación de la solicitud: 07.08.2013

32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

51 Int. Cl.: **B01J8/06** (2006.01)
C01B3/34 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

| Categoría | 56 Documentos citados | Reivindicaciones afectadas |
|-----------|--|----------------------------|
| A | US 3607125 A (KYDD PAUL H) 21.09.1971, columna 2, líneas 5-15,47-55; columna 3, líneas 19-47; figuras 1,2. | 1-13 |
| A | EP 2022558 A2 (DELPHI TECH INC) 11.02.2009, párrafos [0009],[0023-0025]; figuras 1,2. | 1-13 |
| A | WO 2012138218 A1 (BIOMETHANOL CHEMIE NEDERLAND B V et al.) 11.10.2012, página 4, líneas 3-33; figuras 1a-1c. | 1-13 |
| A | EP 2123351 A1 (ELECTRO POWER SYSTEMS S P A) 25.11.2009, párrafos [0024-0029]; figura 2. | 1-13 |
| A | WO 0112310 A1 (KINETICS TECHNOLOGY INTERNAT S et al.) 22.02.2001, resumen; figura 2. | 1-13 |

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
29.11.2013

Examinador
M. González Rodríguez

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B01J, C01B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 29.11.2013

Declaración

| | | |
|---|-----------------------|-----------|
| Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986) | Reivindicaciones 1-13 | SI |
| | Reivindicaciones | NO |
| Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986) | Reivindicaciones 1-13 | SI |
| | Reivindicaciones | NO |

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

| Documento | Número Publicación o Identificación | Fecha Publicación |
|-----------|--|-------------------|
| D01 | US 3607125 A (KYDD PAUL H) | 21.09.1971 |
| D02 | EP 2022558 A2 (DELPHI TECH INC) | 11.02.2009 |
| D03 | WO 2012138218 A1 (BIOMETHANOL CHEMIE NEDERLAND B V et al.) | 11.10.2012 |
| D04 | EP 2123351 A1 (ELECTRO POWER SYSTEMS S P A) | 25.11.2009 |
| D05 | WO 0112310 A1 (KINETICS TECHNOLOGY INTERNAT S et al.) | 22.02.2001 |

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El objeto de la invención es un reformador multitubular que comprende un colector de distribución de reactivos, tubos de reacción catalíticos con intercambiadores de calor integrados y un colector de salida de gas de reformado, en el que la línea de entrada de reactivos al reformador dispone de un anillo de restricción al flujo y de una placa de distribución de flujo con dos vertientes inclinadas.

El documento D01 divulga un reformador en el que los tubos de reacción (16) se sitúan en la cámara de combustión (14) de un horno (10), de modo que el calor requerido por la reacción endotérmica de reformado es aportado por los gases de combustión (temperatura de reacción 815-980°C), y donde los tubos de reformado (16) constan de dos tubos concéntricos. Los reactivos entran desde un colector de alimentación (32) en el tubo exterior, en cuya zona anular se sitúa el catalizador (33), y retornan por el tubo interior (31) hasta el colector de producto (36); en este camino la corriente de reactivos se calienta con la corriente de producto de salida gracias a unas aletas existentes en las superficies interior y exterior del tubo interior (31). No divulga D01 datos relativos a medios dedicados a una buena distribución de gases entre los tubos (Ver columna 2, líneas 5-15 y 47-55; columna 3, líneas 19-47; figuras 1 y 2).

El documento D02 divulga un reformador catalítico (14) adecuado para producir una corriente de reformado que sirva de alimentación a una pila de combustible (12) y que consta de una multitud de tubos catalíticos (42) dispuestos en paralelo en una carcasa (40) por la que circulan gases de combustión que aportan el calor necesario a la reacción. La distribución de gases entre los tubos se asegura con un distribuidor cónico (60) conectado a la brida de conexión de entrada (58) (Ver párrafos [0009], [0023-0025], figuras 1 y 2).

El documento D03 divulga un reformador multitubular donde la zona de reformado se calienta con una fuente de calor externa (por ejemplo, horno o quemadores) y consta de una pluralidad de tubos de reformado dispuestos en paralelo, cada uno de ellos con un lecho catalítico y con un inserto que obliga a que el gas de entrada siga un camino que favorezca la transferencia de calor desde las paredes del tubo al gas. (Ver página 4, líneas 3-33, figuras 1a-1c).

El documento D04 divulga un reactor de reformado con vapor para producir hidrógeno que se alimenta a una pila de combustible, con un diseño mecánico tipo intercambiador de calor carcasa-tubos, sin referencias a medios para la buena distribución de los gases (Ver párrafos [0024-0029], figura 2).

El documento D05 divulga un tubo catalítico de uso en reacciones endotérmicas formado por dos cilindros concéntricos donde el catalizador se aloja en el espacio anular y en el que la corriente de reactivos que recorre el cilindro exterior del tubo absorbe calor de la corriente de producto que recorre el cilindro interior (Ver resumen y figura 2).

Ninguno de los documentos anteriores, tomados solos o en combinación, revela un reformador multitubular con una placa de distribución de flujo con dos vertientes inclinadas y un anillo de restricción al flujo en la línea de entrada de los reactivos al reactor, tal y como se recoge en la reivindicación 1 de la solicitud. Tampoco hay sugerencias en los documentos citados que dirijan al experto en la materia hacia la invención tal y como se define en la reivindicación 1.

En consecuencia, el objeto de la reivindicación 1 cumple con los requisitos de novedad y actividad inventiva (Art. 6.1 y Art. 8.1 LP).

Las reivindicaciones 2-11, dependientes de la reivindicación 1, también cumplen con los requisitos de novedad y actividad inventiva (Art. 6.1 y Art. 8.1 LP).

El uso del reformador multitubular anterior, recogido en las reivindicaciones independientes 12 y 13, cumple asimismo con los requisitos de novedad y actividad inventiva (Art. 6.1 y Art. 8.1 LP).