



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 348 769**

51 Int. Cl.:
B01J 8/06 (2006.01)
C01B 3/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01979819 .8**
96 Fecha de presentación : **12.10.2001**
97 Número de publicación de la solicitud: **1341600**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.09.2003**

54 Título: **Aparato compacto para la reacción catalítica endotérmica.**

30 Prioridad: **16.10.2000 US 687098**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.12.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.12.2010

73 Titular/es: **HARVEST ENERGY TECHNOLOGY Inc.**
9253 Glenoaks Blvd.
Sun Valley, California 91352, US

72 Inventor/es: **Warren, David, W.**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

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).

APARATO COMPACTO PARA REACCIÓN CATALÍTICA ENDOTÉRMICA

Descripción

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

5 Esta invención se refiere al uso de un aparato para reacción catalítica endotérmica operable para producir gases que contienen hidrógeno a partir de materia base de hidrocarburo.

 El aparato para reacción catalítica endotérmica, para transformar la materia base de hidrocarburo en gases ricos en hidrógeno, es bastante conocido en la técnica. La producción comercial de hidrógeno se consigue normalmente mediante un proceso conocido como reformado con vapor, que implica la reacción endotérmica entre una mezcla de materia base de hidrocarburo y vapor que se hace pasar a través de una tubería del reactor cargado con el catalizador que se calienta.

15 En reformadores con vapor comerciales para la producción de hidrógeno a gran escala a partir de suministros de hidrocarburo, normalmente se suministra calor endotérmico mediante la combustión del combustible y el oxidante carbonoso en un quemador de llamas de difusión o turbulentas que irradia a las paredes refractarias de una cámara de combustión, calentando de esta manera las mismas hasta la incandescencia, y proporcionando una fuente de irradiación para transferir el calor a una cámara de reacción tubular. La irradiación uniforme a las superficies de la cámara de reacción tubular es esencial puesto que el sobrecalentamiento local en exceso de la superficie del tubo puede dar como resultado fallos mecánicos. En los reformadores con vapor comerciales de gran escala, la mala distribución del calor dentro de la cámara del horno se minimiza proporcionando un gran espaciamiento entre los tubos del reactor individuales, las paredes del horno, y las llamas del quemador. Sin embargo, para el aparato para reacción catalítica a pequeña escala que es excepcionalmente compacto, tal como, para la producción de hidrógeno para aplicaciones en celdas de combustible pequeñas se necesitan características de diseño especiales para evitar el sobrecalentamiento del tubo.

 La Patente de Estados Unidos N° 3.672.847 describe un horno para hidrocarburos de reformación dentro de tubos con forma de U que dependen de los colectores de distribución de entrada y de salida emplazados por encima del techo del horno. Los tubos se recubren internamente con un catalizador, y

el horno tiene filas verticales de quemadores de taza radiantes en sus paredes laterales y quemadores de llamas largas en el techo.

La Patente de Estados Unidos N° 4.692.306 de Minet y Warren describe un reformador compacto que comprende una cámara de reacción anular
5 dispuesta concéntricamente alrededor de una cámara del quemador interna que contiene un quemador radiante cilíndrico dispuesto verticalmente que irradia uniformemente en la dirección radial. Se proporciona un patrón de irradiación uniforme con respecto a una cámara de reacción anular dispuesta concéntricamente que rodea al quemador radiante, evitando de esta manera
10 los problemas con el impacto externo de la llama y el sobrecalentamiento local de las superficies de los tubos que están asociadas con el uso de quemadores de llamas de difusión o turbulencia en el aparato reformador compacto.

Sin embargo, existen limitaciones prácticas con respecto al uso de una cámara de reacción anular para reformadores a pequeña escala que tienen
15 velocidades de producción de hidrógeno menores que aproximadamente 1793 mol/h (1500 SCFH (pies cúbicos estándar por hora)). Es bastante conocido que el coeficiente de transferencia de calor de los reactivos gaseosos contenidos dentro de una cámara de reacción anular se relaciona directamente con la velocidad de los reactivos gaseosos dentro del espacio anular. Para limitar la
20 temperatura de la pared de la cámara de reacción, la velocidad de los reactivos gaseosos dentro del espacio anular debe ser suficientemente elevada para absorber el flujo de calor radiante que incide en las paredes de los tubos de la cámara de reacción. Sin embargo, para reformadores a muy pequeña escala, esto requiere que la anchura del espacio de la cámara de reacción anular sea
25 pequeña. Normalmente, se implementa en la técnica limitar el diámetro máximo de las partículas del catalizador contenidas en el interior de un espacio anular a menos del 20 por ciento de la anchura del espacio anular para asegurar que el catalizador se distribuya uniformemente dentro de la cámara de reacción y para evitar la canalización del gas a lo largo de las paredes de la cámara de
30 reacción. Sin embargo, para un anulo que tiene una dimensión de anchura pequeña, esto requiere el uso de partículas de catalizador de diámetros particularmente pequeños dando como resultado de esta manera en una caída de presión indeseablemente elevada a través del lecho del catalizador.

Se conocen los beneficios de un quemador radiante sin llamas para
35 usarse en el aparato compacto para reacción catalítica con geometría anular en

la cámara de reacción. Para aplicaciones del reformador a pequeña escala, se prefiere una geometría tubular en la cámara de reacción en lugar de la geometría anular en la cámara de reacción para alcanzar simultáneamente altos coeficientes de transferencia de calor y bajas caídas de presión dentro de la cámara de reacción.

Existe una necesidad para un aparato compacto para reacción catalítica endotérmica como se ha representado en la presente invención para conseguir los objetos del diseño compacto, al tiempo que evita los problemas de incidencia de llamas, excesivas temperaturas en la pared de la cámara de reacción y excesiva caída de presión en la cámara de reacción mediante la aplicación de una cámara de reacción tubular que se calienta por el quemador radiante. La cámara de reacción endotérmica tubular como se ha descrito en la presente memoria emplea una combinación de tamaños de partículas del catalizador y velocidades másicas del reactivo para controlar la caída de presión en el reactor y la temperatura máxima de la pared del tubo de la cámara de reacción dentro de ciertos límites necesarios; y el quemador radiante se opera a intervalos específicos de intensidad de combustión y aire en exceso para controlar la temperatura superficial del quemador radiante dentro de ciertos límites necesarios. La presente invención extiende el intervalo práctico de geometría tubular de la cámara de reacción endotérmica que se puede usar en combinación con quemadores radiantes para transformar materia base de hidrocarburos en gases útiles a nivel industrial.

SUMARIO DE LA INVENCION

El objeto general de esta invención es proporcionar un aparato para reacción catalítica endotérmica novedoso para la producción de gases industriales a partir de una materia base de hidrocarburo o metanol que es simultáneamente compacto, térmicamente eficiente, tiene un promedio de vida útil mejorado y baja caída de presión, y que es particularmente bastante adecuado para la generación a pequeña escala de gases útiles para la aplicación en celdas de combustible en el intervalo de 1 k W a 50 k W.

En la presente invención, se configura una cámara compacta del quemador que emplea un conjunto de quemador radiante para distribuir energía radiante a lo largo de la longitud axial de una cámara de reacción tubular. En una realización, el conjunto de quemador radiante comprende una fibra de metal tejida fijada a una estructura de soporte que permite el flujo de

salida del combustible y oxidante del núcleo del quemador hasta la superficie externa de la fibra de metal. Las propiedades de la fibra de metal estabilizan la combustión en una zona menos profunda próxima a la superficie externa de la fibra de metal. La reacción de combustión calienta la fibra de metal hasta la
5 incandescencia y proporciona una fuente de energía radiante que se transfiere a la cámara de reacción.

La fibra de metal del quemador consiste típicamente de forma esencial en una aleación que contiene principalmente hierro, cromo y aluminio y cantidades pequeñas de itrio, silicio y manganeso que tienen vida útil
10 prolongada a temperaturas de operación de hasta 1093°C (2000°F).

De acuerdo con un aspecto, la presente invención se refiere a un aparato para reacción catalítica endotérmica como se ha definido en la reivindicación 1.

De acuerdo con otro aspecto, la presente invención se refiere a un
15 método para convertir un hidrocarburo en gases industriales como se ha definido en la reivindicación 15.

De acuerdo con otro aspecto más, la presente invención se refiere a un aparato para reacción catalítica endotérmica como se ha definido en la reivindicación 10.

20 De acuerdo con otro aspecto más, la presente invención se refiere a un aparato para reacción catalítica endotérmica como se ha definido en la reivindicación 13.

En una realización, la cámara de reacción tubular tiene forma de U y algunas veces se refiere como un tubo con forma de U, que se carga
25 sustancialmente con el catalizador, extendiéndose el tubo dentro y fuera de la cámara de combustión para que el flujo gaseoso pase a través del mismo. El eje del quemador radiante se dispone preferiblemente de forma vertical dentro de la cámara de combustión y se orienta paralelo al eje o ejes de la cámara de reacción con el tubo en forma de U. La superficie radiante activa del conjunto
30 de quemador radiante cilíndrico se define mediante un arco geométrico que divide en dos partes el conjunto cilíndrico a fin de maximizar el flujo de energía radiante que se dirige a la superficie de la cámara de reacción del tubo con forma de U. En esta realización, el centro para centrar el espacio entre el quemador radiante y la cámara de reacción con el tubo en forma de U, y el

ángulo de irradiación del quemador radiante se controlan o se configuran simultáneamente para alta eficacia de transferencia de calor.

En una tercera realización, la cámara de reacción tubular comprende un serpentín helicoidal que se carga sustancialmente con el catalizador y tiene porciones de entrada y de salida que pasan dentro y fuera de la cámara de combustión. El serpentín helicoidal se enrolla para formar vueltas a ángulos de inclinación específicos, de manera que el área libre de serpentín está en el intervalo del 50% al 75%, en el que el área libre se define como en la proporción del área libre entre los conductos de tubo o vueltas helicoidales y la superficie cilíndrica que divide en dos el círculo o cilindro del serpentín helicoidal. El eje del quemador radiante se dispone típicamente de forma vertical dentro de la cámara de combustión y el quemador radiante cilíndrico se localiza en el centro del serpentín helicoidal. En esta realización, la superficie radiante activa del conjunto de quemador radiante cilíndrico se define mediante un arco de 360 grados.

En cada realización, el quemador radiante se opera a una intensidad de combustión y a una proporción de aire en exceso que se controla cuidadosamente para limitar la temperatura superficial del quemador radiante a menos de 1093°C (2000°F), y preferiblemente en el intervalo de 816°C (1500°F) a 1038°C (1900°F), para proporcionarle una vida útil prolongada al quemador radiante.

En cada realización, los diámetros de partícula del catalizador y las velocidades másicas del reactivo se controlan cuidadosamente para limitar simultáneamente la caída de presión del reactor a menos de 55,2 kPa (8 psi), y preferiblemente en el intervalo de 13,8 kPa (2 psi) a 27,6 kPa (4 psi) para limitar la presión de suministro requerida para los suministros de hidrocarburos, y para limitar las temperaturas de la pared del tubo de la cámara de reacción a menos de 871°C (1600°F), y preferiblemente en el intervalo de 704°C (1300°F) a 816°C (1500°F), para permitirle una vida útil prolongada al tubo que usa aleaciones de tubo relativamente baratas.

En cada realización, se configura una porción de la cámara de combustión para formar una cámara de convección anular para mejorar la transferencia de calor desde los productos de combustión hasta la cámara de reacción tubular.

En otra realización adicional, la cámara de reacción tubular comprende un conducto externo tubular recto dispuesto concéntricamente alrededor de un conducto interno. El catalizador está contenido en el espacio anular entre la pared del conducto externo y la pared del conducto interno. La cámara de reacción tubular se configura de manera que el flujo del gas reactivo se dirige longitudinalmente a través del espacio de catalizador anular en una dirección y regrese hacia abajo del espacio del conducto interno en la posición opuesta. Una porción de la cámara de reacción tubular se extiende dentro de la cámara de combustión. Un extremo de la cámara de reacción tubular, que contiene tanto un medio de entrada que esta en comunicación con el espacio de catalizador anular como un medio de salida que está en comunicación con el espacio del conducto interno, se extiende fuera de la cámara de combustión. Un quemador radiante se orienta para dirigir un flujo de energía radiante a la superficie del conducto externo de la cámara de reacción tubular. Si se usa una multitud de tales cámaras para la reacción tubulares, éstas se pueden orientar concéntricamente alrededor de un quemador radiante dispuesto de forma centrada que irradia uniformemente en un arco de 360 grados. El quemador radiante puede consistir en material de fibra de metal.

Estos y otros objetos y ventajas de la invención, así como los detalles de una realización ilustrativa, se entenderán más completamente a partir de la siguiente especificación y dibujos, en los que:

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- La Figura 1 es una elevación que muestra los componentes ensamblados del aparato para reacción catalítica endotérmica;
- La Figura 1a es una sección tomada sobre las líneas 1a-1a de la Figura 1;
- La Figura 2 es una vista esquemática del conjunto de características dimensionales de las Figuras 1 y 1a;
- La Figura 3 es una vista similar a la Figura 1, pero que muestra una modificación;
- La Figura 3a es una sección tomada sobre las líneas 3a-3a de la Figura 3;
- La Figura 4 es una vista similar a la Figura 1, pero que muestra una modificación adicional; y
- La Figura 5 muestra otra realización del aparato para la reacción.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

El aparato para reacción catalítica observado en la Figura 1 representa una realización preferida de la invención. El aparato comprende una cámara de combustión 4, una cámara de convección 17 que se extiende dentro de la cámara 4 y una cámara de reacción 16. La cámara de combustión 4 se define por la zona circundada o rodeada por el aislamiento refractario 6. La cámara de reacción 16 se define por el volumen circundado por el conducto del reactor tubular 1. El conducto del reactor tubular 1 se forma en una configuración de tubo con forma de U o de horquilla que tiene patas paralelas erguidas 1a y 1b y un codo con forma de U 1c, y se puede retirar de la cámara de combustión tras la retirada de una brida superior 18. La pata 1b del conducto del reactor tubular 1 pasa concéntricamente a través de la cámara de convección 17 definida por el espacio circundado entre el conducto de convección 10 y la pata 1b del conducto del reactor tubular 1. La cámara de reacción incluyendo 1a, 1b y 1c se carga con el catalizador del ajuste o medio de entrada 2, en el que entran los reactivos, hasta el acceso o medio de salida 3 en el que salen los productos. El conducto de convección 13 se abre en hacia la cámara 4, y descarga en 11.

Un quemador radiante dispuesto verticalmente que se extiende axialmente 7 se soporta por un conducto de gas del quemador 12 que transporta una mezcla de combustible y oxidante desde un medio de entrada 8 hasta el quemador radiante. En esta realización, el quemador radiante 7 comprende una zona de fibra de metal permeable a gas 14 y una zona impermeable 16. El combustible y el oxidante se hacen pasar a través de la zona de fibra de metal permeable 14 en la que se encienden sobre la superficie realizando así la combustión liberando el calor para formar una zona incandescente que irradia energía hacia fuera en un arco 15. Los ángulos del arco γ_1 y γ_2 de 14 y 16 son de tal manera que (el ángulo 14 está entre 45° y 180°) el patrón de irradiación maximiza el flujo de energía radiante a las superficies de las patas del reactor tubular 1a y 1b, y también al codo con forma de U 1c, al tiempo que minimiza el flujo de energía radiante a la pared interna 19 de la cámara de combustión 4. El combustible y el oxidante se encienden inicialmente sobre la superficie de la zona de fibra de metal permeable 14 usando un encendedor. Una vez encendidos, se auto-mantiene

la reacción de combustión sobre la superficie de la zona de fibra de metal 14 que se orienta hacia 1a y 1b.

El ángulo del arco radiante de 14 se selecciona de manera que el flujo radiante directo desde quemador que divide en dos la superficie proyectada de la pared del tubo de la cámara de reacción es un mínimo del 50% del flujo de irradiación total que emana de la superficie del quemador radiante activo. Como una ilustración de la condición, la Figura 2 representa una representación geométrica de la realización preferida de la invención. La zona radiante activa 14 emite la irradiación a lo largo de una línea de observación definida por un arco radiante 15 que incide en las patas del conducto de la cámara de reacción 1a y 1b y en la superficie interina 19 de la cámara de combustión. La irradiación emitida se divide en dos mediante un plano hipotético 50 que pasa a través de la línea central de la cámara de reacción del tubo con forma de U. El área proyectada de las superficies de la cámara de reacción por unidad de longitud del tubo que recibe irradiación directa desde el quemador dentro de un arco radiante controlado viene dada por $a + a = 2a$, en la que "a" es el diámetro externo de cada pata. La irradiación total dentro del arco 15 viene dada por $c + c + a + a + b = 2c + 2a + b$. Las dimensiones "a", "b" y "c" son como se muestran. En la realización preferida de la presente invención, la proporción de $2a$ dividida entre $2c + 2a + b$ es típicamente mayor que el 0,5 o el 50%.

En la presente invención, la intensidad de combustión del quemador radiante se controla en el intervalo entre 1703,5 MJ/m²/h (150.000 btu/ft²/h) y 3974,8 MJ/m²/h (350.000 btu/ft²/h) en el que la intensidad de combustión se define como el mayor valor de calentamiento del combustible que se ha sometido a combustión dividido entre el área superficial del quemador radiante permeable, la proporción del aire de operación con respecto al aire de combustión en exceso se controla en el intervalo del 30% al 100% (en el que la proporción de aire en exceso se define como un porcentaje de aire de combustión en exceso de la cantidad estequiométrica requerida para la combustión total del combustible del quemador) para evitar el sobrecalentamiento de la superficie del quemador radiante y para evitar el sobrecalentamiento del combustible y oxidante premezclados contenidos dentro del intervalo de 1953 kg/m²/h (400 lb/ft²/h) a 7324 kg/m²/h (1500 lb/ft²/h)

para limitar la temperatura de la pared del tubo de la cámara de reacción al intervalo deseado de 704°C (1300°F) a 816°C (1500°F).

Los productos de combustión que emanan de la zona de fibra de metal permeable 14 entran por la entrada 13 que conlleva a la cámara de convección 17, en la que los productos de combustión intercambiar calor con una cámara de reacción tubular 1 para precalentar el suministro a la pata 1b.

EJEMPLO

Un aparato compacto para reacción catalítica endotérmica de acuerdo con la realización preferida se construyó y se sometió a ensayo. La cámara de reacción consistió en una tubería 40 con dimensiones de 2,5 cm (1 pulgada) construida de acero inoxidable 310 que se formó en una disposición de tubo con forma de U espaciada 3,6cm (3 pulgadas) en los centros. La cámara de reacción se cargó con un catalizador de reformado con vapor comercial que se trituró y se filtró hasta un tamaño de partícula medio de aproximadamente 0,6 cm (1/4 de pulgada).

El quemador radiante consistió en un conjunto cilíndrico de 10,2 cm (4 pulgadas) de longitud por 3,8 cm (1½ pulgada) de diámetro externo que tuvo un ángulo radiante activo γ_1 de 120 grados. El conjunto de quemador se emplazó en una cámara de combustión aislada que tenía dimensiones de 15,2 cm (6 pulgadas) de diámetro interno y 25,4 cm (10 pulgadas) de altura. El conjunto del quemador radiante se distanció aproximadamente 10,2 cm (4 pulgadas) de la línea central del tubo con forma de U. La cámara de convección consistió en un tubo de 5,1 cm (2 pulgadas) construido de acero inoxidable 304.

El quemador radiante se encendió usando una mezcla de propano y aire y a una velocidad de encendido con valor de calentamiento mayor total de 3517 W (12.000 btu/h). La mezcla del reactivo consistió en 0,5 kg/h (1 lb/h) de propano y aproximadamente 1,6 kg/h (3,5 lb/h) de vapor y se suministró a la cámara de reacción a una temperatura de aproximadamente 427°C (800°F). La mezcla de reacción se calentó en la cámara de reacción hasta una temperatura de salida de 677°C (1250°F). La temperatura de pared del tubo medida de la cámara de reacción fue de 788°C (1450°F), la temperatura de la superficie del quemador radiante fue de 954°C (1750°F), y la temperatura de salida de los productos de combustión fue de 566°C (1050°F). El rendimiento estimado del hidrógeno más monóxido de carbono fue de 80 mol/h (67 SCFH).

La Figura 3 representa otra realización adicional de la presente invención. En esta realización, una superficie del quemador radiante 30 que tiene una geometría hemisférica irradia energía a la cámara de reacción como lo hace aquella de la Figura 1. Una mezcla de combustible y oxidante entra al quemador radiante desde un conducto de entrada 31. El eje longitudinal del conducto de entrada se orienta de forma normal al plano de la cámara de reacción del tubo con forma de U.

La Figura 4 representa otra realización adicional de la presente invención. En esta realización, la cámara de reacción se define por un volumen circundado por un conducto del reactor tubular que comprende una sección superior 19 que consiste en un tubo dispuesto verticalmente que se conecta al medio de entrada 2, a una sección inferior 20 que consiste en un serpentín helicoidal, que tiene un diámetro externo entre 15,2 y 91,4 cm (6 y 36 pulgadas), y a una sección de salida 21 que consiste en un tubo dispuesto verticalmente que se conecta a un medio de salida 3. La sección superior 19 del conducto del reactor tubular se hace pasar de forma concéntrica a través de la cámara de convección 17. La cámara de reacción se carga con el catalizador del medio de entrada 2, en el que entran los reactivos, hasta la zona de salida 22 de la sección inferior 20. La cámara de reacción tiene diámetros externos que varían de 1,9 cm ($\frac{3}{4}$ pulgadas) a 10,2 cm (4 pulgadas).

Un quemador radiante que se extiende axialmente 7 se dispone verticalmente a lo largo del eje central de la sección del serpentín helicoidal 20 del conducto de reacción tubular. El quemador radiante se soporta por un conducto de gas del quemador 12 que transporta una mezcla de combustible y oxidante desde el medio de entrada 8 hasta el quemador radiante. En esta realización, el quemador radiante 7 comprende una zona de fibra de metal permeable a gas 14 que conecta toda la circunferencia del quemador radiante. El combustible y el oxidante se hacen pasar a través de la zona de fibra de metal permeable 14 en la que se encienden sobre la superficie, llevando a cabo de esta manera la combustión y liberando el calor para formar una zona incandescente que irradia energía en una dirección radial predominantemente uniforme. La cámara de reacción tubular helicoidal y el catalizador en su interior se dimensionan para crear velocidades másicas que varían de 1953 kg/m²/h (400 lb/ft²/h) a 7324 kg/m²/h (1500 lb/ft²/h).

El catalizador en la cámara de reacción tubular helicoidal tiene diámetros de partículas del catalizador medios que varían de 0,6 a 2,5 cm (de ¼ a 1 pulgada) para producir caídas de presión de gas que varían de 6,9 kPa (1 psi) a 55,2 kPa (8 psi) durante el flujo a través de la cámara de reacción. La cámara de reacción tubular helicoidal tiene una temperatura final de salida de gas que varía de 621°C (1150°F) a 760°C (1400°F), cuando se ha calentado mediante dicho quemador radiante, en funcionamiento. La cámara de reacción tubular helicoidal tiene temperaturas de pared del tubo máximas que varían de 704°C (1300°F) a 871°C (1600°F), cuando se ha calentado mediante dicho quemador radiante, en funcionamiento. La cámara de reacción tubular helicoidal tiene flujos de calor medio que varían de 34,1 MJ/m²/h (3.000 btu/ft²/h) a 113,6 MJ/m²/h (10.000 btu/ft²/h), cuando se ha calentado mediante dicho quemador radiante, en funcionamiento. La cámara de reacción tubular helicoidal se dimensiona para tener la capacidad de generar un producto de hidrógeno más monóxido de carbono en cantidades volumétricas que varían de 60 mol/hora (50 SCFH) a entre 120 y 1783 mol/hora (100 y 1500 SCFH). El quemador radiante comprende un material de fibra de metal soportado que consiste esencialmente en una aleación que contiene principalmente hierro, cromo y aluminio y pequeñas cantidades de itrio, silicio y manganeso, teniendo dicha aleación una vida útil prolongada a temperaturas de operación de hasta 1093°C (2000°F). El quemador radiante tiene temperaturas superficiales que varían entre 816°C (1500°F) y 1038°C (1900°F), durante su funcionamiento. El quemador radiante tiene una intensidad de combustión de operación que varía típicamente de 1703,5 MJ/m²/h (150.000 btu/ft²/h) a 3974,8 MJ/m²/h (350.000 btu/ft²/h), en el que la intensidad de combustión se define como el mayor valor de calentamiento del combustible que se ha sometido a combustión dividido entre el área superficial del quemador radiante permeable. El quemador radiante tiene una proporción de aire en exceso en operación que varía típicamente del 30% al 100%, en el que la proporción de aire en exceso se define como un porcentaje del aire de combustión en exceso de la cantidad estequiométrica requerida para completar la combustión del combustible del quemador. El serpentín helicoidal tiene un área libre en el intervalo del 50% al 75%, en el que el área libre se define como la proporción del área libre entre vueltas del serpentín sucesivas y el cilindro que divide en dos el círculo del serpentín helicoidal.

En las Figuras 1, 3 y 4, se ponen en comunicación de funcionamiento un sistema de acondicionamiento de gas 101 y celdas de combustible 100 para recibir hidrógeno con las salidas del reactor 3.

La Figura 5 presenta otra realización más de la presente invención. En esta realización se define mostrada esquemáticamente la cámara de reacción 116 mediante el espacio anular entre un conducto externo 131 y un conducto interno 132. Los gases reactivos entran a la cámara de reacción a través del medio de entrada 112, y se hacen pasar a través del lecho catalizador en 116 y después al espacio 134 en la entrada del conducto interno 132. Los gases reactivos salen del espacio del conducto interno a través del medio de salida 113. Los gases reactivos que se hacen pasar a través del conducto interno 132 transfieren calor a los gases reactivos contenidos en la cámara de reacción 116 para recuperar beneficiosamente el calor de la reacción endotérmica.

Un quemador radiante que se extiende axialmente 107 se dispone verticalmente dentro de una cámara de combustión 104. El quemador radiante se orienta en paralelo con la prolongación longitudinal del conducto de reacción tubular. Si se usa una pluralidad de tales conductos de reacción tubulares, se pueden orientar concéntricamente alrededor de un quemador radiante dispuesto centralmente que irradie uniformemente en un arco de 360 grados. El quemador radiante transfiere la energía radiante a la superficie de los conductos de salida 131.

Los gases de combustión que salen del quemador radiante 107 se introducen en una cámara de convección 117 que se dispone concéntricamente alrededor de una porción del conducto externo 131 próxima al extremo del conducto tubular que contiene el medio de entrada del gas reactivo 112. Después de transferir calor por convección al conducto externo, los gases de combustión salen por los medios de salida 111.

Por consiguiente, la realización de la Figura 5, incluye:

a) un conducto externo tubular recto dispuesto concéntricamente alrededor de un conducto interno para formar una cámara de reacción que contiene el catalizador en un espacio anular entre la pared del conducto externa y la pared del conducto interna, para la transformación de hidrocarburo en gases industriales mediante reacción con valor, y un espacio que define un conducto interno para el flujo de retorno de los gases reactivos hasta un medio de salida; teniendo dicha cámara de

reacción tubular un extremo que se extiende dentro de la cámara de combustión y un extremo opuesto que se extiende fuera de la cámara de combustión, y existiendo un medio de entrada que está en comunicación con el espacio anular y un medio de salida que está en comunicación con el conducto interno que define el espacio,

5 b) y un quemador radiante dispuesto verticalmente dentro de dicha cámara de combustión y que tiene una zona permeable a gas que promueve la combustión sin llamas del combustible y oxidante suministrados a dicho quemador para calentar la superficie de fibra de metal del quemador hasta la incandescencia para irradiar energía

10 térmica a la cámara de reacción.

También, existe típicamente una cámara de convección que se extiende alrededor de una porción de la cámara de reacción tubular próxima al extremo que contiene los medios de entrada y de salida del gas reactivo para mejorar la

15 transferencia de calor de los productos de combustión; teniendo dicha cámara de convección un medio de entrada que está en comunicación con la cámara de combustión y un medio de salida para la combustión de los productos que está fuera de la cámara de combustión.

La estructura se puede considerar alternativamente para representar una

20 pluralidad de dicha cámaras para la reacción tubulares que se proporcionen y se disponen concéntricamente alrededor de un quemador radiante cilíndrico localizado centralmente y dispuesto verticalmente que tiene un arco radiante de 360 grados.

Debe ser aparente para aquellos expertos en la materia que la invención

25 objeto alcanza los objetos expuestos anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para reacción catalítica endotérmica que comprende:
 - a) una cámara de reacción tubular con forma de U a través de la que
5 pasa el flujo (16) dispuesta de forma erguida dentro de una cámara de combustión (4), y un catalizador contenido dentro de dicha cámara de reacción (16) para la transformación de hidrocarburos en gases industriales mediante reacción con calor; teniendo dicha cámara de
10 reacción (16) una porción superior, y estando dicha cámara de convección (17) extendiéndose alrededor de dicha porción superior para mejorar la transferencia de calor desde los productos de combustión a la cámara de reacción (16), y
 - b) un quemador radiante (7) dispuesto dentro de la cámara de
15 combustión (4) caracterizado por que dicho quemador radiante (7) tiene una zona permeable a gas adaptada para proporcionar la combustión sin llamas del combustible y oxidante suministrados a dicho quemador (7) para calentar una superficie de fibra de metal del quemador (7) hasta la
20 incandescencia para irradiar el calor a la cámara de reacción (16); dicho quemador radiante (7) configurado de manera que el ángulo de irradiación incide predominantemente sobre la superficie de la cámara de reacción tubular (16).
2. El aparato de la reivindicación 1, caracterizado por que dicha cámara de
25 reacción tubular (16) se dimensiona para la creación de velocidades másicas que varían de 1953 kg/m²/h (400 lb/ft²/h) a 7324 kg/m²/h (1500 lb/m²/h).
3. El aparato de la reivindicación 1, caracterizado por que dicha cámara de
30 reacción tubular (16) tiene patas (1a, 1b) y un codo con forma de arco (1c) que conecta dichas patas (1a, 1b), y dichas patas (1a, 1b) y codo (1c) tienen temperaturas máximas de la pared del tubo que varían de 704°C (1300°F) a 871°C (1600°F) cuando se han calentado por dicho quemador radiante (7), en funcionamiento.
4. El aparato de la reivindicación 1, caracterizado por que dicha cámara de
35 sección tubular (16) se dimensiona para tener la capacidad de generar un

producto de hidrógeno más monóxido de carbono en cantidades volumétricas que varían de 60 mol/hora (50 SCFH) a entre 598 y 1793 mol/hora (500 y 1500 SCFH).

- 5 5. El aparato de la reivindicación 1, caracterizado por que dicho quemador radiante (7) se configura para dirigir la irradiación a un ángulo de irradiación incluido entre 45-180 grados.
6. El aparato de la reivindicación 1, caracterizado por que dicho quemador radiante (7) comprende un material de fibra de metal soportado que consiste esencialmente de una aleación que contiene principalmente hierro, cromo y aluminio y pequeñas cantidades de itrio, silicio y manganeso, teniendo dicha aleación una vida útil prolongada en operación de hasta 1093°C (2000°F).
- 10 6. El aparato de la reivindicación 1, caracterizado por que dicho quemador radiante (7) comprende un material de fibra de metal soportado que consiste esencialmente de una aleación que contiene principalmente hierro, cromo y aluminio y pequeñas cantidades de itrio, silicio y manganeso, teniendo dicha aleación una vida útil prolongada en operación de hasta 1093°C (2000°F).
- 15 7. El aparato de la reivindicación 1, caracterizado por que dicho quemador radiante tiene una forma hemiesférica.
8. El aparato de la reivindicación 1, caracterizado por que dicha cámara de reacción tubular (16) comprende un tubo que tiene un diámetro o diámetros
- 20 8. El aparato de la reivindicación 1, caracterizado por que dicha cámara de reacción tubular (16) comprende un tubo que tiene un diámetro o diámetros externos que varían de aproximadamente 1,9 cm (3/4 pulgada) a aproximadamente 10,2 cm (4 pulgadas) a lo largo de la longitud del tubo.
9. El aparato de la reivindicación 1, en el que el quemador radiante (7) se dispone verticalmente dentro de la cámara de combustión (4).
- 25 9. El aparato de la reivindicación 1, en el que el quemador radiante (7) se dispone verticalmente dentro de la cámara de combustión (4).
10. Aparato para reacción catalítica endotérmica que incluye una cámara de combustión (104), comprendiendo;
- 30 a) un conducto externo tubular recto dispuesto concéntricamente alrededor de un conducto interno (132) para formar una cámara de reacción (116) que contiene el catalizador en el espacio anular entre la pared del conducto externo y la pared del conducto interno, para la transformación de hidrocarburo en gases industriales mediante la reacción con calor, y un espacio definido para el conducto interno para el flujo de retorno de los gases reactivos hasta un medio de salida (113);
- 35 10. Aparato para reacción catalítica endotérmica que incluye una cámara de combustión (104), comprendiendo;
- 35 a) un conducto externo tubular recto dispuesto concéntricamente alrededor de un conducto interno (132) para formar una cámara de reacción (116) que contiene el catalizador en el espacio anular entre la pared del conducto externo y la pared del conducto interno, para la transformación de hidrocarburo en gases industriales mediante la reacción con calor, y un espacio definido para el conducto interno para el flujo de retorno de los gases reactivos hasta un medio de salida (113);
- 35 teniendo dicha cámara de reacción tubular uno y que se extiende dentro

- de la cámara de combustión (104) y uno opuesto y que se extiende fuera de la cámara de combustión (104), y existiendo el medio de entrada (212) que está en comunicación con el espacio anular y un medio de salida (113) que está en comunicación con el espacio definido para el conducto interno,
- 5 b) y un quemador radiante (107) dispuesto verticalmente dentro de dicha cámara de combustión (104), caracterizado por que dicho quemador radiante (107) tiene una zona permeable a gas adaptada para promover la combustión sin llamas del combustible y oxidante suministrados a
- 10 dicho quemador (107) para calentar la superficie de fibra de metal del quemador hasta la incandescencia para irradiar energía térmica a la cámara de reacción (116).
11. El aparato de la reivindicación 10, en el que una pluralidad de dichas
- 15 cámaras de reacción tubulares se proporcionan y se disponen concéntricamente alrededor de un quemador radiante cilíndrico localizado centralmente y dispuesto verticalmente que tiene un arco de irradiación de 360 grados.
- 20 12. El aparato de la reivindicación 10, en el que existe una cámara de convección (117) que se extiende alrededor de una porción de la cámara de reacción tubular (116) próxima al extremo que contiene los medios de entrada y de salida del gas reactivo para mejorar la transferencia de calor de los
- 25 productos de combustión; teniendo dicha cámara de convección (117) un medio de entrada que está en comunicación con la cámara de combustión y un medio de salida para los productos de combustión que está fuera de la cámara de combustión.
13. Aparato para reacción catalítica endotérmica que comprende:
- 30 a) una cámara de reacción tubular helicoidal a través de la que pasa el flujo dispuesta dentro de una cámara de combustión, y un catalizador contenido dentro de dicha cámara de reacción para la transformación de hidrocarburo en gases industriales mediante reacción con calor; teniendo dicha cámara de reacción tubular helicoidal una porción superior, y
- 35 estando una cámara de convección (17) extendiéndose alrededor de

- dicha porción superior para mejorar la transferencia del calor desde los productos de combustión a la cámara de reacción y una sección de salida (21) conectada al medio de salida (3), y
- 5 b) un quemador radiante (7) dispuesto verticalmente dentro de dicha cámara de combustión caracterizado por que dicho quemador radiante (7), tiene una zona permeable a gas (14) adaptada para promover la combustión sin llamas del combustible y oxidante suministrados a dicho quemador para calentar la superficie de fibra de metal del quemador hasta la incandescencia para irradiar energía térmica a la cámara de
- 10 reacción, comprendiendo dicha cámara de reacción tubular helicoidal un serpentín helicoidal y siendo dicho quemador radiante (7) cilíndrico y localizándose en el centro del serpentín helicoidal; dicho quemador radiante (7) configurado para irradiar uniformemente en direcciones radiales.
- 15
14. El aparato de la reivindicación 13, en el que la sección de salida (21) es para transportar los productos de reacción a los medios de salida (3).
- 20 15. El método de transformar un hidrocarburo en gases industriales, que incluye:
- 25 a) proporcionar una cámara de reacción tubular con forma de U a través de la que pasa el flujo (16) dispuesta de forma erguida dentro de una cámara de combustión (4), y un catalizador contenido dentro de dicha cámara de reacción (16) para la transformación de dicho hidrocarburo en dichos gases industriales mediante reacción con calor; teniendo dicha cámara de reacción (16) una porción superior, y existiendo una cámara de reacción (17) extendiéndose alrededor de dicha porción superior para mejorar la transferencia de calor desde los productos de combustión a la cámara de reacción (16),
- 30 b) proporcionar un quemador radiante (7) dispuesto dentro de dicha cámara de combustión (4) y teniendo una zona permeable a gas adaptada para promover la combustión sin llamas del combustible y oxidante suministrados a dicho quemador para calentar una superficie de fibra de metal del quemador hasta la incandescencia para irradiar calor a la cámara de reacción (16); dicho quemador radiante (7)
- 35

configurado de manera que las radiaciones angulares inciden predominantemente sobre la superficie de la cámara de reacción tubular (16);

5 c) operar el quemador radiante (7) y calentar la superficie de fibra de metal del quemador (7) hasta la incandescencia para irradiar calor a la cámara de reacción (16),

d) suministrar dicho hidrocarburo y vapor a la cámara de reacción (16) calentada mediante dicho quemador radiante (7),

10 e) y retirar dichos gases industriales incluyendo hidrógeno de la cámara de reacción (16).

16. El método de la reivindicación 15, en el que el quemador radiante (7) proporcionado en la etapa b) se dispone verticalmente dentro de la cámara de combustión (4).

15

17. El método de la reivindicación 15 ó 16, dicho método comprendiendo además limitar la temperatura de la superficie del quemador radiante a menos de 1093°C (2000° F), cuando el quemador radiante (7) está en funcionamiento.

FIG. 1.

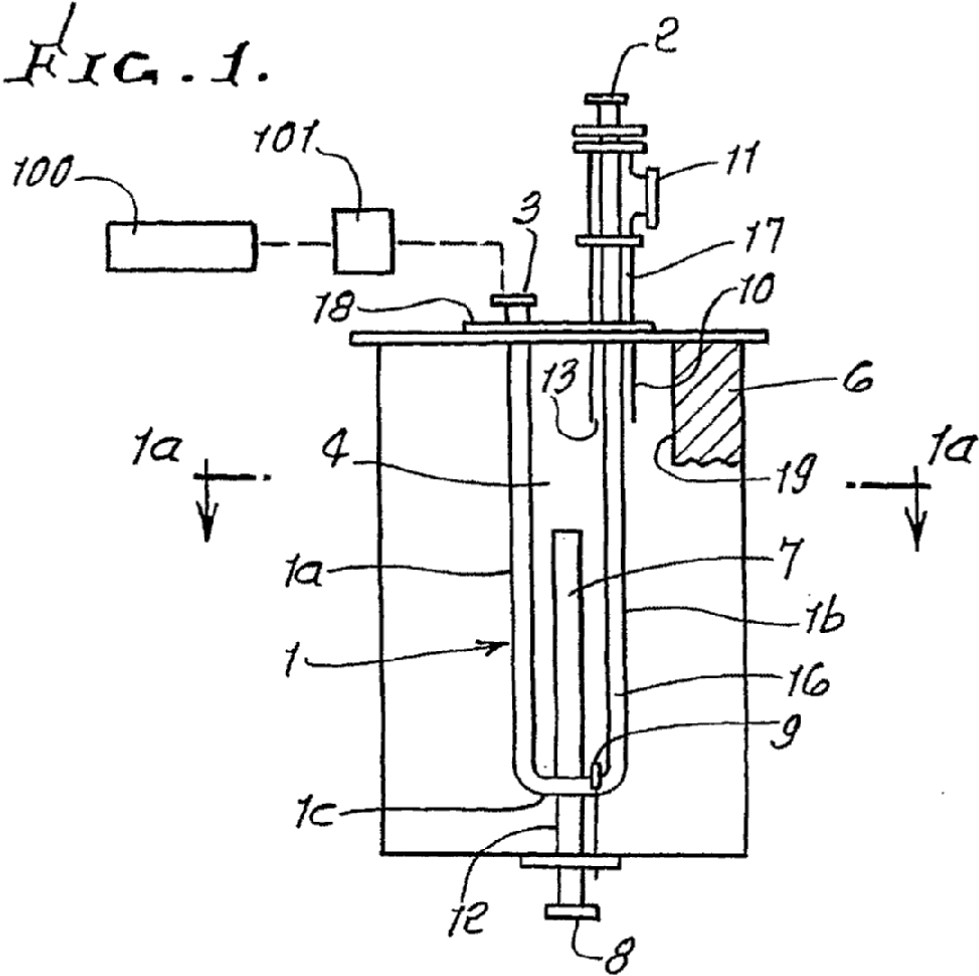


FIG. 1a.

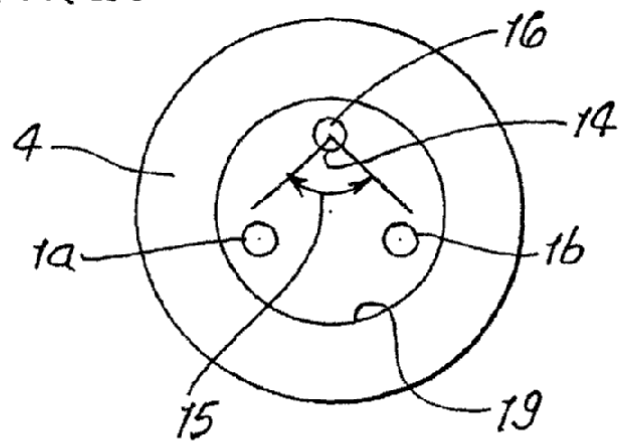


FIG. 2.

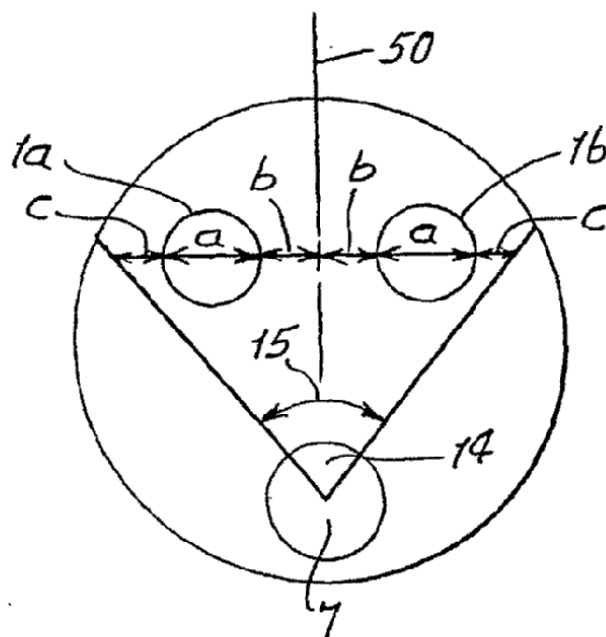


FIG. 9.

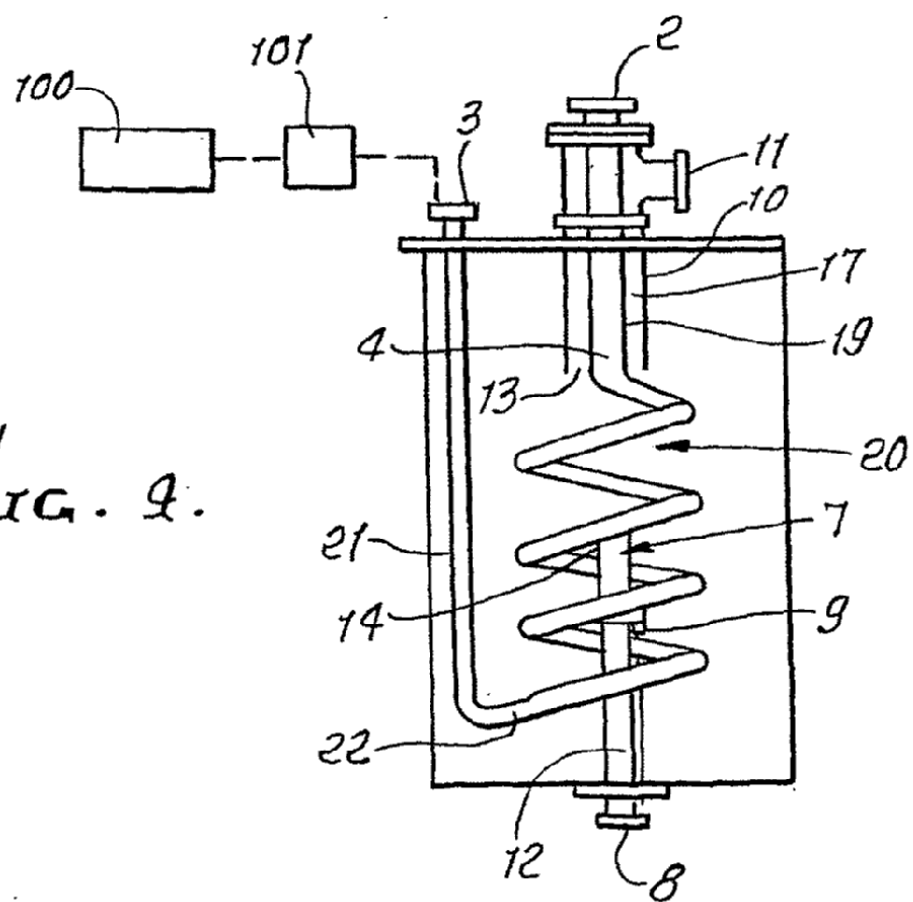


FIG. 3.

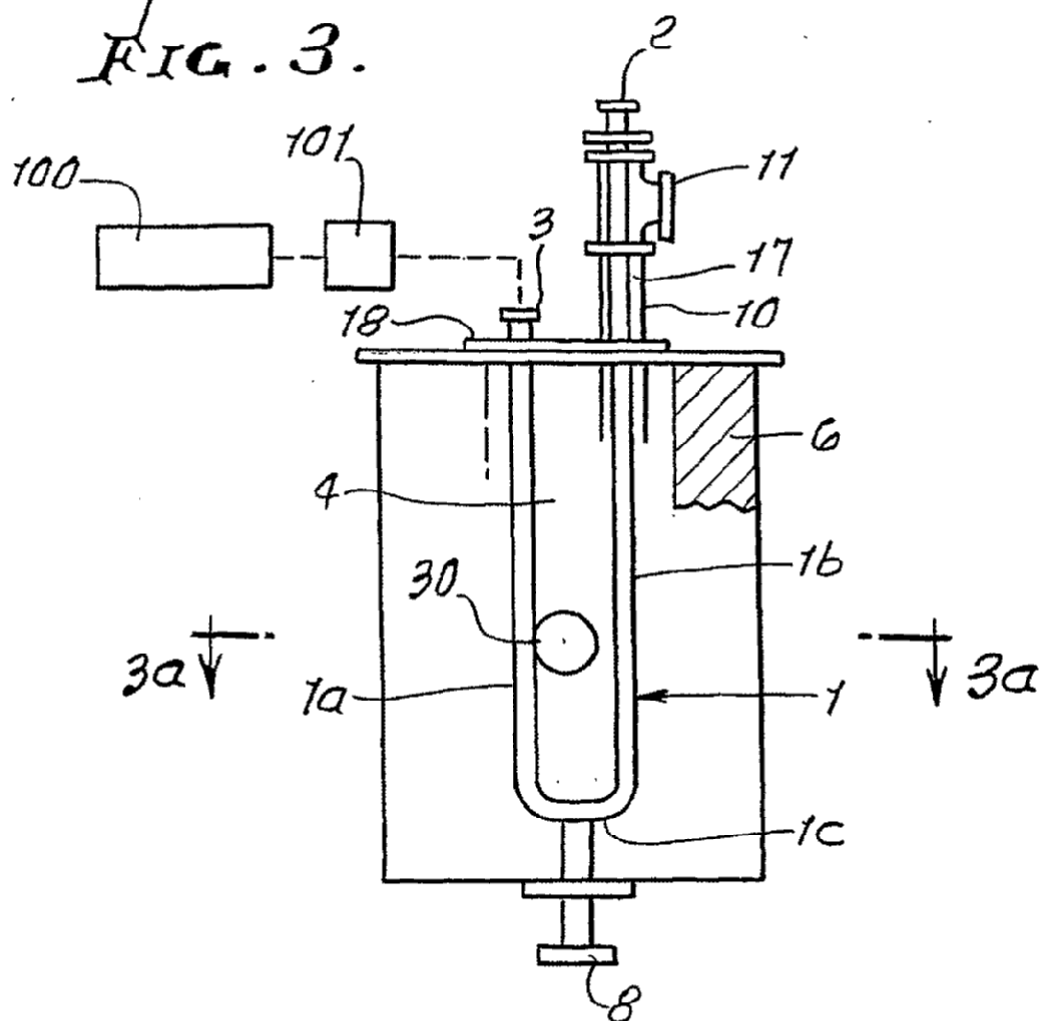


FIG. 3a.

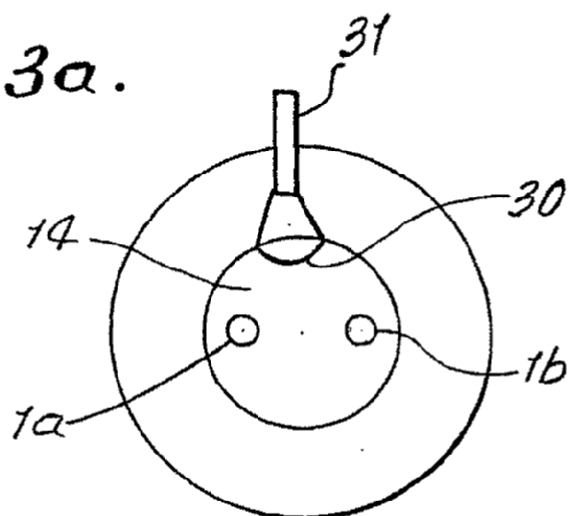


FIG. 5.

