

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 908**

51 Int. Cl.:

F02M 25/12 (2006.01)

F02B 43/10 (2006.01)

F04B 15/06 (2006.01)

F02M 37/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.04.2010 PCT/US2010/030603**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.11.2010 WO2010132159**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.04.2010 E 10715020 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 2430301**

54 Título: **Bomba de hidrógeno de dos fases y método**

30 Prioridad:

12.05.2009 US 464347

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

28.03.2017

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

WATTS, DANIEL A.

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 606 908 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

Bomba de hidrógeno de dos fases y método

5 **Campo**

La presente invención se refiere en general a sistemas de combustible y, más específicamente, a un sistema y un método para convertir hidrógeno líquido en hidrógeno gaseoso.

10 **Antecedentes**

El hidrógeno ofrece varias ventajas sobre los combustibles basados en el petróleo en términos de reducción de emisiones y mejora de la eficiencia del combustible. Por ejemplo, cuando el hidrógeno se usa en las celdas de combustible para producir electricidad para alimentar los motores eléctricos, el subproducto es agua. Cuando se quema el hidrógeno en un motor de combustión interna tal como un motor de turbina o un motor de pistón, las emisiones de gases de escape son relativamente bajas en comparación con las emisiones que resultan de la combustión de combustibles basados en el petróleo. Otra ventaja del hidrógeno como combustible es, en general, la mayor densidad de energía por masa en comparación con los combustibles basados en el petróleo tal como el combustible para aviones a reacción. Por ejemplo, el hidrógeno contiene aproximadamente tres veces la energía por unidad de masa de los combustibles basados en el petróleo.

El hidrógeno puede almacenarse de manera eficiente en forma líquida con el fin de minimizar el volumen de almacenamiento necesario. A pesar de que almacenar hidrógeno en forma líquida requiere mantener la temperatura por debajo de aproximadamente 22 K (-420 °F), la baja presión a la que puede almacenarse el hidrógeno líquido minimiza el peso total del vehículo en comparación con la gran cantidad de depósitos que se necesitarían para almacenar el hidrógeno en forma gaseosa.

Las ventajas mencionadas anteriormente asociadas con el hidrógeno pueden aplicarse a ciertos vehículos. Por ejemplo, las aeronaves de larga resistencia y gran altitud (HALE) pueden beneficiarse de un sistema de propulsión basado en hidrógeno. Una aeronave HALE puede estar diseñada para operar a altitudes de hasta 19 800 m (65 000 pies) y puede permanecer en el aire hasta catorce días o más. Sin embargo, una variedad de otros vehículos y sistemas pueden beneficiarse del hidrógeno como una alternativa a los combustibles basados en el petróleo.

Con el fin de usar hidrógeno en una celda de combustible o en un motor de combustión interna, el hidrógeno debe estar en un estado gaseoso. Además, es necesario aumentar la presión del hidrógeno gaseoso para adaptarse a los requisitos de la celda de combustible o del motor de combustión interna. Los métodos de la técnica anterior para convertir hidrógeno líquido en hidrógeno gaseoso a una temperatura y una presión adecuadas incluyen el uso de intercambiadores de calor y bombas mecánicas. Los intercambiadores de calor pueden usarse para vaporizar el hidrógeno líquido en hidrógeno gaseoso para su uso como combustible. Desafortunadamente, los intercambiadores de calor suelen ser voluminosos.

En las aplicaciones de resistencia de larga duración, tales como una aeronave HALE, las bombas mecánicas deben ser capaces de operar continuamente durante largos periodos de tiempo. La extremadamente baja temperatura del hidrógeno líquido y la baja viscosidad del hidrógeno limitan la eficiencia y la fiabilidad de las bombas mecánicas. Más específicamente, debido a las extremadamente bajas temperaturas, partes de la bomba mecánica que están expuestas al hidrógeno líquido pueden sufrir una contracción térmica significativa. Con el fin de adaptar las diferencias en la contracción térmica entre varias partes de la bomba mecánica, los componentes de acoplamiento de la bomba deben diseñarse y fabricarse con unas relativas grandes tolerancias. Sin embargo, las grandes tolerancias pueden reducir la eficiencia de la bomba.

Además, las bombas mecánicas incluyen normalmente unos componentes giratorios que requieren lubricación para minimizar la fricción y evitar el desgaste. Desafortunadamente, la relativamente baja viscosidad del hidrógeno líquido minimiza la capacidad del hidrógeno para actuar como un lubricante. Además, la baja temperatura del hidrógeno líquido minimiza el número disponible de lubricantes compatibles (por ejemplo, Teflón) que pueden usarse en la bomba.

Como puede verse, existe una necesidad en la técnica de un sistema y un método para convertir el hidrógeno líquido en hidrógeno gaseoso a una temperatura y a una presión de operación adecuadas. En este sentido, existe una necesidad en la técnica de un sistema y un método para convertir el hidrógeno líquido en hidrógeno gaseoso que requiere un mínimo de número de partes móviles y donde el hidrógeno gaseoso puede producirse continuamente de una manera fiable y eficiente.

El documento US-A-5.787.940 describe un sistema de suministro de combustible para un motor operado con combustible de gas natural licuado. El fluido criogénico se mantiene en un depósito subterráneo y una bomba suministra el fluido a un depósito de combustible criogénico. La bomba está sumergida en un sumidero por debajo del criógeno líquido en el depósito de combustible. Durante el uso, la bomba suministra el fluido criogénico desde el

depósito subterráneo, a través del sumidero del depósito de combustible criogénico, y a un vehículo alimentado LNG. Una inmersión precalentada en el sumidero aumenta la temperatura del fluido criogénico a un punto preestablecido.

5 **Sumario breve**

Las necesidades descritas anteriormente asociadas con el combustible de hidrógeno se abordan específicamente por la presente invención que proporciona, en un primer aspecto, una bomba de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1. La invención también se extiende a un método de bombeo de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 8.

La bomba de hidrógeno de la presente invención comprende una carcasa de bomba y un mecanismo de calentamiento. La carcasa de bomba está configurada para recibir hidrógeno líquido a través de una entrada de carcasa tal como desde un depósito de suministro. El mecanismo de calentamiento está configurado para vaporizar el hidrógeno líquido contenido dentro de la carcasa de bomba para generar el hidrógeno gaseoso.

Por otra parte, el mecanismo de calentamiento está configurado para aumentar la presión del hidrógeno gaseoso de tal manera que el hidrógeno gaseoso puede liberarse continuamente desde una salida de carcasa tras alcanzar una presión predeterminada del hidrógeno gaseoso. El hidrógeno gaseoso puede, en las realizaciones preferidas, liberarse continuamente desde la salida de carcasa hasta que el hidrógeno líquido en la carcasa de bomba cae por debajo de un nivel predeterminado en cuyo momento puede cerrarse la salida de carcasa. A continuación, el hidrógeno gaseoso residual puede ventilarse de la carcasa de bomba para facilitar la recepción del hidrógeno líquido adicional dentro de la carcasa de bomba al comienzo de un nuevo ciclo.

En una realización, la bomba de hidrógeno puede estar configurada de tal manera que la entrada de carcasa se abre momentáneamente (es decir, durante un periodo de tiempo predeterminado) después del cierre de la salida de carcasa y antes de ventilar el hidrógeno gaseoso residual. De esta manera, el hidrógeno gaseoso a la presión más alta dentro de la carcasa de bomba fluye fuera de la carcasa de bomba a través de la entrada de carcasa y se mezcla con hidrógeno líquido para reducir la temperatura del hidrógeno gaseoso.

La bomba de hidrógeno puede incluir una sección intermedia que interconecta la carcasa de bomba con el depósito. La sección intermedia puede contener hidrógeno líquido y puede proporcionar una localización para la mezcla del hidrógeno gaseoso con el hidrógeno líquido. Seguido a la mezcla del hidrógeno gaseoso con el hidrógeno líquido, el hidrógeno gaseoso residual en la carcasa de bomba puede ventilarse a través de una línea de ventilación con el fin de reducir la presión dentro de la carcasa de bomba. La ventilación del hidrógeno gaseoso residual permite que el hidrógeno líquido adicional fluya en la entrada de carcasa al comienzo de un nuevo ciclo. La línea de ventilación puede encaminarse opcionalmente a través de la sección intermedia con el fin de extraer el calor del hidrógeno gaseoso residual en la línea de ventilación antes del suministro del hidrógeno gaseoso residual al depósito de suministro. Extrayendo el calor del hidrógeno gaseoso residual se reduce la cantidad de calor necesaria para vaporizar el hidrógeno líquido en la carcasa de bomba.

Los beneficios técnicos de la presente divulgación incluyen la combinación de la vaporización y el bombeo del hidrógeno en un sistema único, pasivo y cerrado sin la necesidad de una bomba mecánica o un intercambiador de calor convencional. La bomba de hidrógeno pasiva proporciona un medio para generar hidrógeno gaseoso a una temperatura y presión de operación deseada de manera eficiente y fiable.

Las características, funciones y ventajas que se han tratado pueden alcanzarse de manera independiente en diversas realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en otras realizaciones, detalles adicionales de las cuales pueden verse a continuación con referencia a la siguiente descripción y a los dibujos.

50 **Breve descripción de los dibujos**

Estas y otras características de la presente divulgación se harán evidentes con referencia a los dibujos donde números similares se refieren a partes similares y donde:

- 55 la figura 1 es una ilustración esquemática de una bomba de hidrógeno de dos fases al inicio de un ciclo y que ilustra un depósito de suministro y una sección intermedia acoplada de manera fluida a una carcasa de bomba por una válvula de entrada;
- 60 la figura 2 es una ilustración esquemática de la bomba de hidrógeno donde la válvula de entrada está abierta para permitir que la carcasa de bomba reciba el hidrógeno líquido a través de una entrada de carcasa;
- la figura 3 es una ilustración esquemática de la bomba de hidrógeno donde la carcasa de bomba está llena de hidrógeno líquido y un elemento de calentamiento vaporiza el hidrógeno líquido en hidrógeno gaseoso para su liberación en una válvula de control de flujo;
- 65 la figura 4 es una ilustración esquemática de la bomba de hidrógeno donde la carcasa de bomba está agotada de hidrógeno líquido y la válvula de entrada está abierta para permitir que el hidrógeno gaseoso se mezcle con el hidrógeno líquido en la sección intermedia;

la figura 5 es una ilustración esquemática de la bomba de hidrógeno donde está abierta una válvula de ventilación que permite la ventilación del hidrógeno gaseoso residual de la carcasa de bomba con el fin de reducir la presión en su interior de tal manera que el hidrógeno líquido pueda fluir hacia la carcasa de bomba;

la figura 6 es una ilustración esquemática de la bomba de hidrógeno donde la carcasa de bomba está llena de hidrógeno líquido y la válvula de entrada y la válvula de ventilación están cerradas para facilitar la vaporización del hidrógeno líquido en hidrógeno gaseoso al comienzo de otro ciclo;

la figura 7 es una metodología de generación de hidrógeno gaseoso a partir de hidrógeno líquido;

la figura 8 es la representación gráfica del caudal de hidrógeno a lo largo del tiempo para una realización de la bomba de hidrógeno; y

la figura 9 es una ilustración en perspectiva de una aeronave en una realización de un vehículo que puede incluir la bomba de hidrógeno.

Descripción detallada

Haciendo referencia ahora a los dibujos donde las proyecciones tienen por objeto ilustrar solo las diversas realizaciones preferidas de la divulgación y no limitar la misma, se muestra en la figura 1 una ilustración esquemática de una bomba de hidrógeno 10 tal como puede usarse para convertir el hidrógeno líquido 12 en hidrógeno gaseoso 14. Como se ha indicado anteriormente, el hidrógeno gaseoso 14 puede usarse como un combustible tal como para un motor de combustión interna, una celda de combustible o para una variedad de otras aplicaciones, sin limitación, como se observa a continuación.

En un sentido amplio, la bomba de hidrógeno 10 comprende una carcasa de bomba 36 y un mecanismo de calentamiento 54. La carcasa de bomba 36 puede estar configurada para recibir hidrógeno líquido 12 a través de una entrada de carcasa 38. Más específicamente, el hidrógeno líquido 12 puede almacenarse en un depósito de suministro 20 tal como un depósito de suministro criogénico 20 adecuado para mantener el hidrógeno a una temperatura por debajo de aproximadamente 22 K (-420 °F). En este sentido, el depósito de suministro 20 puede configurarse como un depósito de suministro criogénico 20 que emplea un aislamiento activo y/o pasivo para mantener el hidrógeno en un estado líquido. Sin embargo, el depósito de suministro 20 puede emplear cualquier técnica conocida en la técnica para mantener el hidrógeno en estado líquido. Aunque se muestra como un recipiente de forma en general esférica, el depósito de suministro 20 puede proporcionarse en cualquier tamaño, forma y configuración adecuada, sin limitación.

Tras recibir el hidrógeno líquido 12 en la carcasa de bomba 36, puede configurarse un mecanismo de calentamiento 54 para vaporizar el hidrógeno líquido 12 en la carcasa de bomba 36 en hidrógeno gaseoso 14. Además, el mecanismo de calentamiento 54 puede estar configurado para aumentar la presión del hidrógeno gaseoso 14 en la carcasa de bomba 36 a un nivel que es adecuado para usarse por un componente que está corriente abajo de la bomba de hidrógeno 10. Por ejemplo, para un motor de combustión interna, la bomba de hidrógeno 10 puede estar configurada para producir hidrógeno gaseoso 14 dentro de un intervalo de temperatura de aproximadamente 23 °C a 123 °C (-10 °F a 250 °F) y dentro de un intervalo de presión de aproximadamente 414 kPa a 689 kPa (60 a 100 Psia). Sin embargo, la bomba de hidrógeno 10 puede estar configurada para proporcionar el hidrógeno gaseoso 14 a cualquier temperatura y presión para su uso en una amplia variedad de aplicaciones.

Haciendo referencia todavía a la figura 1, se muestra el depósito de suministro 20 acoplado de manera fluida a la carcasa de bomba 36 mediante una línea de suministro 26. La carcasa de bomba 36 puede incluir una entrada de carcasa 38 a la que puede acoplarse de manera fluida una válvula de entrada 30. La válvula de entrada 30 puede ser operativa para abrirse y cerrarse para permitir la entrada de hidrógeno líquido 12 en la carcasa de bomba 36 y/o para permitir que el hidrógeno gaseoso 14 fluya fuera de la carcasa de bomba 36 de tal manera que el hidrógeno gaseoso 14 puede mezclarse con el hidrógeno líquido 12 de una manera tal como se describirá con más detalle a continuación.

Haciendo referencia brevemente a la figura 4, la bomba de hidrógeno 10 puede incluir además una sección intermedia 28 interpuesta en la línea de suministro 26 entre la válvula de entrada 30 y el depósito de suministro 20. Como se describirá con mayor detalle a continuación, la sección intermedia 28 puede proporcionar una localización donde el hidrógeno gaseoso 14 de la carcasa de bomba 36 puede mezclarse con el hidrógeno líquido 12 con el fin de reducir la temperatura del hidrógeno gaseoso 14. Además, la sección intermedia 28 puede proporcionar una localización a través de la cual puede dirigirse una línea de ventilación 74 que contiene hidrógeno gaseoso residual 34 para facilitar la extracción de calor del hidrógeno gaseoso residual 34 antes de la entrega del hidrógeno gaseoso residual 34 al depósito de suministro 20 como también se describirá a continuación.

Ventajosamente, la bomba de hidrógeno 10 como se divulga en el presente documento proporciona un sistema cerrado y pasivo que combina el requisito de vaporizar el hidrógeno líquido 12 y el bombeo continuo del hidrógeno de tal manera que el hidrógeno gaseoso 14 puede suministrarse continuamente para su uso corriente abajo tal como en un motor de combustión interna, una celda de combustible o cualquier otro sistema, entorno, aplicación, montaje, estructura o vehículo, sin limitación alguna. Por ejemplo, la bomba de hidrógeno 10 puede incorporarse en una variedad de aplicaciones e industrias incluyendo, pero no limitadas a, operaciones de refinería, procesamiento de alimentos, refrigeración de plantas de potencia y en instalaciones de reactores nucleares. Además, la bomba de

hidrógeno 10 puede incorporarse en una amplia variedad de operaciones de fabricación y otros procesos incluyendo, sin limitación, tratamientos térmicos, soldaduras y síntesis químicas.

5 Haciendo referencia todavía a la figura 1, la carcasa de bomba 36, en una realización, puede comprender una sección horizontal 42 que puede ser contigua a una sección vertical 44. La sección horizontal 42 puede estar configurada para contener o alojar el hidrógeno líquido 12 que puede recibirse desde el depósito de suministro 20 y de tal manera que el hidrógeno líquido 12 puede asentarse en la sección horizontal 42. En este sentido, La sección horizontal 42 puede estar configurada para recibir el hidrógeno líquido 12 a través de la entrada de carcasa 38. La sección horizontal 42 puede proporcionarse en cualquier tamaño, forma o configuración para recibir el hidrógeno líquido 12. Además, puede aplicarse calor al hidrógeno líquido 12 en la sección horizontal 42 usando el mecanismo de calentamiento 54.

15 La sección vertical 44 puede extenderse hacia arriba de la sección horizontal 42. Como se muestra en la figura 1, la sección vertical 44 puede estar localizada en uno de los extremos opuestos de la sección horizontal 42, aunque la sección vertical 44 puede estar localizada en cualquier posición relativa a la sección horizontal 42. Además, la sección vertical 44 puede estar configurada en cualquier tamaño o forma y no limitarse a la que se muestra en las figuras. La sección vertical 44 puede proporcionar una localización donde el hidrógeno gaseoso 14 puede acumularse en el interior de la carcasa de bomba 36.

20 A pesar de que se muestra en una configuración en forma de L, la carcasa de bomba 36 puede proporcionarse en cualquier tamaño, forma y configuración que facilite la recepción del hidrógeno líquido 12 y el calentamiento del mismo. Además, la carcasa de bomba 36 puede proporcionarse en cualquier configuración que facilite la vaporización y la acumulación del hidrógeno gaseoso 14 para la descarga de la carcasa de bomba 36. En este sentido, la carcasa de bomba 36 puede estar configurada para liberar el hidrógeno gaseoso 14 a través de la salida de carcasa 40 cuando el hidrógeno gaseoso 14 dentro de la carcasa de bomba 36 alcanza una presión predeterminada. La salida de carcasa 40 de la carcasa de bomba 36 puede estar configurada para cerrarse cuando el hidrógeno líquido 12 cae por debajo de un nivel predeterminado. Además, como se muestra en la figura 4, la carcasa de bomba 36 puede estar operativa para ventilar el hidrógeno gaseoso residual 34 que permanece en la carcasa de bomba 36 después de que se cierre la salida de carcasa 40 para reducir la presión dentro de la carcasa de bomba 36. De esta manera, el hidrógeno líquido adicional 12 puede entrar en la carcasa de bomba 36 a través de la entrada de carcasa 38, como se muestra en la figura 5 y como se describirá con más detalle a continuación.

35 La bomba de hidrógeno 10 puede incluir una válvula de control de flujo 60 que puede estar acoplada de manera fluida o integrada en la salida de carcasa 40. La válvula de control de flujo 60 puede incluir una entrada de válvula de control de flujo 64 y una salida de válvula de control de flujo 66. La entrada de válvula de control de flujo 64 puede estar acoplada de manera fluida a la salida de carcasa 40. La salida de válvula de control de flujo 66 puede estar acoplada de manera fluida a un componente corriente abajo a través de un conducto de suministro (no mostrado) de tal manera que el componente corriente abajo puede recibir el hidrógeno gaseoso 14 de la bomba de hidrógeno 10. La válvula de control de flujo 60 puede proporcionarse en cualquier configuración adecuada tal como una válvula de retención, un regulador de presión 58 o cualquier otra disposición o mecanismo de válvula adecuado que regule la apertura y el cierre de la salida de carcasa 40. La válvula de control de flujo 60 puede incluir un accionador de válvula de control 62 que puede estar configurado para abrir la válvula de control de flujo 60 para permitir la liberación del hidrógeno gaseoso 14 de la carcasa de bomba 36 tras alcanzar una presión predeterminada del hidrógeno gaseoso 14 dentro de la carcasa de bomba 36. Además, la válvula de control de flujo 60 puede estar configurada para cerrarse cuando la presión del hidrógeno gaseoso 14 cae por debajo de una presión predeterminada y/o cuando el nivel del hidrógeno líquido 12 en la carcasa de bomba 36 cae por debajo de un nivel predeterminado tal como por debajo de un nivel de agotamiento 53, como se ilustra en la figura 4.

50 En una realización, la válvula de control de flujo 60 puede estar regulada en correspondencia con un nivel detectado del hidrógeno líquido 12 dentro de la carcasa de bomba 36. Por ejemplo, la válvula de control de flujo 60 o el accionador de válvula de control 62 pueden estar acoplados comunicativamente a uno o más sensores de nivel 48 que pueden estar montados dentro o incorporados en la carcasa de bomba 36 tal como en la sección horizontal 42 como se muestra en la figura 1. En este sentido, la carcasa de bomba 36 puede incluir uno o más sensores de llenado 50 y/o uno o más sensores de agotamiento 52. El sensor de llenado 50 y el sensor de agotamiento 52 pueden estar acoplados comunicativamente a la válvula de control de flujo 60, la válvula de entrada 30 y/o a la válvula de ventilación 70, como se ilustra en la figura 1. El sensor de llenado 50 y el sensor de agotamiento 52 pueden proporcionarse como cualquier mecanismo adecuado configurado para detectar el nivel del hidrógeno líquido 12. Por ejemplo, el sensor de llenado 50 y/o el sensor de agotamiento 52 pueden proporcionarse como un sensor óptico, un sensor ultrasónico, o cualquier otro dispositivo de detección de nivel adecuado.

60 En una realización, el sensor de llenado 50 puede detectar cuando el hidrógeno líquido 12 alcanza un nivel de llenado 51 dentro de la sección horizontal 42 de la carcasa de bomba 36. El sensor de llenado 50 puede generar unas señales representativas del alcance del nivel de llenado 51. Tales señales pueden proporcionarse a la válvula de control de flujo 60, la válvula de entrada 30, la válvula de ventilación 70 y/o a cualquier otro mecanismo de operación de la bomba de hidrógeno 10. El sensor de agotamiento 52 puede estar operativo para detectar y/o indicar cuando el hidrógeno líquido 12 cae por debajo de un nivel de agotamiento 53 lo que puede indicar que la carcasa de

bomba 36 está vacía.

La bomba de hidrógeno 10 puede incluir una línea de detección 68 que puede extenderse entre la válvula de control de flujo 60 y la carcasa de bomba 36. La línea de detección 68 puede estar configurada para proporcionar unas señales representativas de una contrapresión del hidrógeno gaseoso 14 en la salida de carcasa 40. La contrapresión puede detectarse por cualquier sensor adecuado tal como por uno o más transductores de presión (no mostrados). La acumulación de hidrógeno gaseoso 14 dentro de la carcasa de bomba 36 y, más específicamente, dentro de la sección vertical 44 de la carcasa de bomba 36 puede detectarse y comunicarse a la válvula de control de flujo 60 a través de la línea de detección 68 de tal manera que la válvula de control de flujo 60 puede regularse en consecuencia. Por ejemplo, la válvula de control de flujo 60 puede abrirse para liberar el hidrógeno gaseoso 14 tras alcanzar una presión predeterminada dentro de la carcasa de bomba 36.

En una realización, la válvula de control de flujo 60 puede estar localizada o colocada en una elevación más alta que la carcasa de bomba 36 y/o en una elevación más alta que la salida de carcasa 40 para facilitar la liberación del hidrógeno gaseoso 14. Sin embargo, la válvula de control de flujo 60 puede estar localizada en cualquier elevación en relación con la carcasa de bomba 36. Del mismo modo, el depósito de suministro 20 también puede estar colocado en una elevación más alta que la entrada de carcasa 38 con el fin de facilitar la alimentación por gravedad del hidrógeno líquido 12 a la carcasa de bomba 36. Sin embargo, las ilustraciones esquemáticas de las figuras 1-6 representan una disposición de la bomba de hidrógeno 10 y no deben interpretarse como disposiciones alternativas limitantes en relación con las posiciones relativas del depósito de suministro 20, la carcasa de bomba 36, la válvula de control de flujo 60 y otros componentes incluidos en la bomba de hidrógeno 10. Por ejemplo, el depósito de suministro 20 puede estar localizado en la misma elevación que la carcasa de bomba 36. Como alternativa, el depósito de suministro 20 puede estar localizado en una elevación inferior que la carcasa de bomba 36. La bomba de hidrógeno 10 puede incluir opcionalmente una bomba auxiliar para impulsar el hidrógeno líquido 12 a la carcasa de bomba 36. Por ejemplo, la bomba de hidrógeno 10 puede incluir una bomba de refuerzo 46 que puede acoplarse de manera fluida a la carcasa de bomba 36 en la entrada de carcasa 38 para aumentar el caudal del hidrógeno líquido 12 en la carcasa de bomba 36.

Haciendo referencia todavía a la figura 1, la bomba de hidrógeno 10 puede incluir el mecanismo de calentamiento 54 que puede estar configurado para vaporizar el hidrógeno líquido 12 en la carcasa de bomba 36 para generar el hidrógeno gaseoso (14). El mecanismo de calentamiento 54 también puede estar configurado para aumentar la presión del hidrógeno gaseoso 14 dentro de la carcasa de bomba 36 aplicando continuamente calor al hidrógeno líquido 12 y/o al hidrógeno gaseoso 14. En una realización, el mecanismo de calentamiento 54 puede comprender un elemento de calentamiento montado externamente dispuesto alrededor o cubriendo al menos una parte exterior de la sección horizontal 42 de la carcasa de bomba 36. Como alternativa o además de una disposición montada externamente, el mecanismo de calentamiento 54 puede comprender uno o más elementos de calentamiento que se extienden en el interior de la carcasa de bomba 36 tal como en la sección horizontal 42 y/o en sección vertical 44 en una o más localizaciones.

Independientemente de la configuración específica, el mecanismo de calentamiento 54 puede estar configurado para aumentar la temperatura del hidrógeno líquido 12. Por ejemplo, el mecanismo de calentamiento 54 puede estar configurado para provocar la vaporización gradual del hidrógeno líquido 12 en hidrógeno gaseoso 14 o vaporizar continuamente el hidrógeno líquido 12 en hidrógeno gaseoso 14. En una realización, el mecanismo de calentamiento 54 puede estar configurado para calentar intermitente o periódicamente el hidrógeno líquido 12 a una temperatura que provoque la vaporización. Además, el mecanismo de calentamiento 54 puede estar configurado para aumentar la temperatura y/o la presión del hidrógeno gaseoso 14 a un nivel que corresponde a los requisitos operativos del componente corriente abajo al que se suministra el hidrógeno gaseoso 14, tal como un motor de combustión interna.

La bomba de hidrógeno 10 puede incluir además una línea de ventilación 74 que puede extenderse desde la carcasa de bomba 36 para permitir la ventilación del hidrógeno gaseoso 14. En una realización mostrada en la figura 1, la línea de ventilación 74 puede extenderse entre la carcasa de bomba 36 y el depósito de suministro 20 para ventilar el hidrógeno gaseoso residual 34 al depósito de suministro 20 como se muestra en la figura 4. Por ejemplo, en un tiempo predeterminado durante la operación de la bomba de hidrógeno 10 tal como tras el agotamiento del hidrógeno líquido 12 dentro de la carcasa de bomba 36, puede ser deseable reducir la presión dentro de la carcasa de bomba 36 para permitir que el hidrógeno líquido adicional 12 fluya al interior de la carcasa de bomba 36 en el inicio de otro ciclo. Con el fin de regular la ventilación de la carcasa de bomba 36, la línea de ventilación 74 puede incluir una válvula de ventilación 70 acoplada a un accionador de válvula de ventilación 72. El accionador de válvula de ventilación 72 puede estar acoplado comunicativamente con el sensor de llenado 50 y/o con el sensor de agotamiento 52 o a otros componentes de detección y control de la bomba de hidrógeno 10 tales como, sin limitación, la válvula de entrada 30 y la válvula de control de flujo 60.

La válvula de ventilación 70 puede ser operativa para abrirse en respuesta a recibir una señal que indica que el hidrógeno líquido 12 dentro de la carcasa de bomba 36 está en o por debajo del nivel de agotamiento 53. La válvula de ventilación abierta 70 permite que el hidrógeno gaseoso residual 34 se ventile de la carcasa de bomba 36, tal como al depósito de suministro 20, como se muestra en la figura 4. Simultáneamente con la apertura de la válvula de ventilación 70, puede abrirse la válvula de entrada 30 para facilitar la entrada de hidrógeno líquido adicional 12 en

la carcasa de bomba 36. La válvula de ventilación 70 puede permanecer abierta hasta que el hidrógeno líquido 12 alcance un nivel predeterminado tal como el nivel de llenado 51 dentro de la carcasa de bomba 36 como se ilustra en figura 3. Tras alcanzar el nivel de llenado 51 que se detecta por el sensor de llenado 50, la válvula de ventilación 70, la válvula de entrada 30 y la válvula de control de flujo 60 pueden cerrarse con el fin de sellar la carcasa de bomba 36 para permitir la vaporización del hidrógeno líquido 12 y la generación del hidrógeno gaseoso 14. Opcionalmente, la válvula de entrada 30 puede abrirse durante un periodo de tiempo predeterminado anterior a abrir la válvula de entrada 30 para permitir que el hidrógeno gaseoso 14 fluya fuera de la carcasa de bomba 36 donde el hidrógeno gaseoso 14 puede mezclarse con el hidrógeno líquido 12 en la sección intermedia 28 o en la línea de suministro 26. La mezcla del hidrógeno gaseoso 14 con el hidrógeno líquido 12 puede reducir la temperatura del hidrógeno gaseoso 14.

Haciendo referencia a la figura 4, la bomba de hidrógeno 10 puede incluir un mecanismo de extracción de calor 76 configurado para extraer el calor del hidrógeno gaseoso residual 34 que se ventila de la carcasa de bomba 36. La extracción del calor del hidrógeno gaseoso residual 34 reduce la cantidad de calor necesaria para vaporizar el hidrógeno líquido 12 en la carcasa de bomba 36. En una realización, el mecanismo de extracción de calor 76 puede comprender una parte de la línea de ventilación 74 que se extiende a través de la sección intermedia 28 que puede llenarse con el hidrógeno líquido 12. La parte de la línea de ventilación 74 en la sección intermedia 28 puede formarse o conformarse en una trayectoria tortuosa con el fin de maximizar la cantidad de área superficial de la línea de ventilación 74 que está expuesta al hidrógeno líquido 12. Sin embargo, el mecanismo de extracción de calor 76 no se limita a encaminar la línea de ventilación 74 a través de la sección intermedia 28 sino que puede comprender una variedad de configuraciones alternativas para extraer el calor del hidrógeno gaseoso residual 34 en la línea de ventilación 74.

Haciendo referencia a la figura 1, en una realización, la bomba de hidrógeno 10 puede incluir además un filtro de coalescencia 56 para evitar la formación de gotitas de hidrógeno líquido 12 en el interior de la línea de ventilación 74. Tales gotitas pueden arrastrarse con el hidrógeno gaseoso 14 dentro de la carcasa de bomba 36. Si se deja sin filtrar, las gotitas de hidrógeno líquido 12 pueden atraparse dentro de la línea de ventilación 74 lo que puede resultar en la obstrucción de la misma. El filtro de coalescencia 56 puede montarse en una entrada de la línea de ventilación 74 que puede extenderse dentro de la carcasa de bomba 36 como se muestra en las figuras 1-6. El filtro de coalescencia 56 puede proporcionarse en cualquier configuración adecuada que evite la entrada o la formación de las gotitas de hidrógeno líquido 12 en la línea de ventilación 74. Por ejemplo, el filtro de coalescencia 56 puede comprender una disposición que obligue al gas residual hacia el interior de una trayectoria tortuosa que tiene múltiples vueltas para separar las gotitas de líquido del hidrógeno gaseoso 14 antes de entrar en la línea de ventilación 46.

En una realización de la bomba de hidrógeno 10, la tubería de ventilación 74 puede terminar en el depósito de suministro 20 que puede incluir un difusor 24 para reducir la velocidad a la que el hidrógeno gaseoso 14 se descarga de la línea de ventilación 74. En este sentido, el difusor 24 puede evitar o minimizar la perturbación de la superficie del hidrógeno líquido 12 que puede provocar salpicaduras dentro del depósito de suministro 20 y que puede provocar una caída de presión dentro del volumen libre 22 del depósito de suministro 20 y/o una obstrucción del difusor 24. El difusor 24 puede evitar tales salpicaduras evitando la descarga directa sobre la superficie del hidrógeno líquido 12 en el depósito de suministro 20.

La operación de la bomba de hidrógeno 10 se describirá a continuación con referencia al diagrama de flujo de la figura 7 y las ilustraciones esquemáticas de las figuras 1-6. La figura 7 ilustra una metodología de vaporización del hidrógeno líquido 12 para formar el hidrógeno gaseoso 14. En las ilustraciones esquemáticas, el hidrógeno líquido 12 se indica como ocupando una sección de líquido 16 de la bomba de hidrógeno 10. El hidrógeno gaseoso 14 está indicado como ocupando una sección gaseosa 18 de la bomba de hidrógeno 10. La metodología comprende bombear el hidrógeno líquido 12 a través de la bomba de hidrógeno 10 de una manera pasiva sin el uso de bombas auxiliares, aunque pueden incluirse bombas de este tipo para mejorar los caudales de hidrógeno líquido 12. La etapa 150 de la metodología puede comprender recibir el hidrógeno líquido 12 en la carcasa de bomba 36 al comienzo de un ciclo de operación abriendo la válvula de entrada 30 en la línea de suministro 26 que conecta el depósito de suministro 20 a la carcasa de bomba 36.

Como se muestra en la figura 1, el depósito de suministro 20 puede estar localizado en una elevación que facilite la alimentación gravitacional del hidrógeno líquido 12 desde el depósito de suministro 20 a la carcasa de bomba 36. Sin embargo, el hidrógeno líquido 12 puede proporcionarse a la carcasa de bomba 36 usando un mecanismo de bombeo separado tal como una bomba mecánica o una alternativa o además de una disposición de alimentación gravitacional. El hidrógeno líquido 12 procedente del depósito de suministro 20 puede fluir a través de la línea de suministro 26 y puede pasar a través y/o llenar la sección intermedia 28. Como puede verse en la figura 1, la válvula de entrada 30 puede inicialmente proporcionarse en una condición cerrada en la etapa 150. La válvula de entrada 30 puede regularse por un accionador de válvula de entrada 32 ilustrado en la figura 1 y que puede estar acoplado comunicativamente al sensor de llenado 50 y/o al sensor de agotamiento 52 y/o a otros componentes tales como la válvula de control de flujo 60 y la válvula de ventilación 70.

Haciendo referencia a la figura 2, en la etapa 152, el accionador de válvula de entrada 32 puede abrir la válvula de entrada 30 permitiendo que el hidrógeno líquido 12 fluya desde el depósito de suministro 20 y hacia el interior de la sección intermedia 28 de tal manera que el hidrógeno líquido 12 se recibe dentro de la carcasa de bomba 36. La válvula de entrada 30 puede mantenerse en la posición abierta hasta que el hidrógeno líquido 12 alcance un nivel predeterminado dentro de la carcasa de bomba 36 tal como el nivel de llenado 51 mostrado en la figura 2. El nivel de llenado 51 puede detectarse por el sensor de llenado 50 o por otro mecanismo sensor adecuado.

Haciendo referencia a la figura 3, la etapa 154 puede comprender cerrar la válvula de entrada 30 tras alcanzar el hidrógeno líquido 12 un nivel predeterminado tal como el nivel de llenado 51. La carcasa de bomba 36 está sellada preferentemente para eliminar sustancialmente escapes en la carcasa de bomba 36. Por ejemplo, la carcasa de bomba 36 puede sellarse manteniendo la válvula de entrada 30, la válvula de control de flujo 60 y la válvula de ventilación 70 en la posición cerrada. La etapa 156 puede comprender aplicar calor al hidrógeno líquido 12 dentro de la carcasa de bomba 36 usando el mecanismo de calentamiento 54 para aumentar la temperatura del hidrógeno líquido 12 de tal manera que el hidrógeno líquido 12 se vaporiza y se genera hidrógeno gaseoso 14. El sellado de la carcasa de bomba 36 puede realizarse antes de la vaporización del hidrógeno líquido 12 en hidrógeno gaseoso 14 para prevenir la descarga o el escape del hidrógeno gaseoso 14 de la carcasa de bomba 36. El calentamiento del hidrógeno líquido 12 puede comprender aplicar calor a un exterior de la sección horizontal 42 y/o de la sección vertical 44. Además, el calentamiento del hidrógeno líquido 12 puede comprender aplicar calor directa o indirectamente al hidrógeno líquido 12 mediante cualquier medio adecuado, incluyendo, pero no limitado a, un elemento de calentamiento que se extiende alrededor de un exterior de la carcasa de bomba 36 y/o montando una o más sondas dentro de la sección horizontal 42 de tal manera que las sondas se extienden en el hidrógeno líquido 12.

Como puede verse en la figura 3, la carcasa de bomba 36 puede contener el hidrógeno líquido 12 en la sección horizontal 42 y el hidrógeno gaseoso 14 en la sección vertical 44 aunque el hidrógeno gaseoso 14 también puede ocupar una parte de la sección horizontal 42, y viceversa. En una realización, la carcasa de bomba 36 puede formar una configuración en forma de L que puede facilitar la acumulación uniforme del hidrógeno gaseoso 14 dentro de la sección vertical 44 y que también puede facilitar el flujo uniforme del hidrógeno gaseoso presurizado 14 fuera de la sección vertical 44 a través de la salida de la carcasa 40 y/o la válvula de control de flujo 60. La orientación horizontal de la sección horizontal 42 puede facilitar la sedimentación del hidrógeno líquido 12 cuando el hidrógeno líquido 12 entra en la carcasa de bomba 36. En este sentido, la sección horizontal 42 puede incluir una o más entradas de carcasa 38 y no está limitada a la configuración específica mostrada que contiene una única entrada de carcasa 38.

Haciendo referencia todavía a la figura 3, la etapa 158 puede comprender abrir la válvula de control de flujo 60 tras alcanzar una presión predeterminada del hidrógeno gaseoso 14 dentro de la carcasa de bomba 36. Tras la apertura de la válvula de control de flujo 60, el hidrógeno gaseoso 14 puede liberarse de la carcasa de bomba 36 para entregarse a un componente corriente abajo. El hidrógeno gaseoso 14 puede generarse continuamente debido a su calentamiento por el mecanismo de calentamiento 54. En este sentido, la generación del hidrógeno gaseoso 14 en el nivel de presión predeterminado puede continuar con la válvula de control de flujo 60 manteniéndose en la posición abierta en correspondencia con el mantenimiento de una presión predeterminada del hidrógeno gaseoso 14.

El calentamiento del hidrógeno líquido 12 puede ser continuo, intermitente y/o sobre una base como se necesite para generar el hidrógeno gaseoso 14. Además, el calor puede aplicarse al hidrógeno líquido 12 y/o al hidrógeno gaseoso 14 en función de los requisitos del sistema corriente abajo al que puede entregarse el hidrógeno gaseoso 14. En una realización, el calentamiento puede continuar hasta que el hidrógeno líquido 12 dentro de la carcasa de bomba 36 caiga por debajo de un nivel predeterminado como puede detectarse por el sensor de agotamiento 52 mostrado en las figuras 1-6.

Haciendo referencia a la figura 4, tras la caída del hidrógeno líquido 12 por debajo del nivel de agotamiento 53, la etapa 160 comprende cerrar la válvula de control de flujo 60. La carcasa de bomba 36 puede contener hidrógeno gaseoso residual 34 en la sección horizontal 42 y/o en la sección vertical 44. La etapa 162 puede comprender abrir la válvula de entrada 30 donde la presión relativamente más alta en la carcasa de bomba 36 resulta en el hidrógeno gaseoso residual 34 o en el hidrógeno gaseoso 14 que fluye de vuelta a través de la entrada de carcasa 38 y hacia el interior de la línea de suministro 26 y/o de la sección intermedia 28. Tras fluir de vuelta a través de la entrada de carcasa 38, el hidrógeno gaseoso 14 se encuentra con el hidrógeno líquido 12 y puede mezclarse con el hidrógeno líquido 12 en la etapa 164. Tal mezcla puede reducir la temperatura del hidrógeno gaseoso 14 a una temperatura en general igual a la del hidrógeno líquido 12.

Haciendo referencia a la figura 5, la etapa 166 comprende abrir la válvula de ventilación 70 para ventilar el hidrógeno gaseoso residual 34 que queda en la carcasa de bomba 36 para reducir la presión dentro de la misma. La línea de ventilación 74 puede conectar la carcasa de bomba 36 al depósito de suministro 20 de tal manera que el hidrógeno gaseoso residual 34 fluye a través de la línea de ventilación 74 y se descarga en el depósito de suministro 20 cuando se abre la válvula de ventilación 70. En la etapa 168, puede extraerse el calor del hidrógeno gaseoso 14 en la línea de ventilación 74 encaminando una parte de la línea de ventilación 74 a través de la sección intermedia 28. Sin embargo, el calor puede extraerse del hidrógeno gaseoso residual 34 usando unas disposiciones alternativas.

Por ejemplo, la línea de ventilación 74 puede encaminarse a través de cualquier sección de la bomba de hidrógeno 10 que contiene hidrógeno líquido 12 con el fin de extraer el calor contenido en el hidrógeno gaseoso residual 34 antes de su descarga en el depósito de suministro 20.

5 Haciendo referencia todavía a la figura 5, el método puede comprender además la etapa de eliminar las gotitas de líquido que pueden arrastrarse en el hidrógeno gaseoso residual 34 en la carcasa de bomba 36 antes de que el hidrógeno gaseoso 14 entre en la línea de ventilación 74. En este sentido, puede emplearse el filtro de coalescencia 56 como se ha descrito anteriormente con el fin de evitar la entrada de gotitas de líquido en la línea de ventilación 74 que de otra manera pueden obstruir la línea de ventilación 74. Como puede verse en la figura 5, la válvula de
10 entrada 30 puede abrirse cuando se abre la válvula de ventilación 70 de tal manera que el hidrógeno líquido adicional 12 puede fluir dentro de la carcasa de bomba 36, mientras que simultáneamente se ventila el hidrógeno gaseoso 14 al depósito de suministro 20.

Haciendo referencia a la figura 6, la etapa 170 puede comprender llenar la carcasa de bomba 36 con hidrógeno líquido 12 en el inicio de un nuevo ciclo. El hidrógeno líquido 12 puede fluir hacia el interior de la entrada de carcasa 38 y desplazar el hidrógeno gaseoso residual 34 o el hidrógeno gaseoso 14, forzando al hidrógeno gaseoso 14 a ventilarse de la carcasa de bomba 36 a través de la línea de ventilación 74. El hidrógeno líquido 12 puede fluir hacia el interior de la carcasa de bomba 36 cuando la válvula de entrada 30 está en la posición abierta. La válvula de
15 entrada 30 puede permanecer abierta hasta que el nivel del hidrógeno líquido 12 dentro de la carcasa de bomba 36 alcance el nivel predeterminado tal como el nivel de llenado 51 indicado por el sensor de llenado 50. La carcasa de bomba 36 puede sellarse cerrando la válvula de entrada 30, la válvula de ventilación 70 y la válvula de control de flujo 60, mientras que el mecanismo de calentamiento 54 aplica calor al hidrógeno líquido 12. Las etapas descritas anteriormente pueden repetirse continuamente hasta que se agote el hidrógeno líquido 12 dentro del depósito de suministro 20 o la operación puede terminarse en un momento más temprano.

Haciendo referencia a la figura 8, se muestra una representación gráfica del caudal del hidrógeno gaseoso 14 en función del tiempo medido durante el ensayo de una realización de la bomba de hidrógeno 10. La representación gráfica incluye una línea horizontal que ilustra un caudal previsto (es decir, mdot ave. previsto) de hidrógeno gaseoso 14. Una realización de la bomba de hidrógeno 10 como ensayo resultó en un caudal de masa de
20 aproximadamente 3,6-6,4 kg (8-14 libras) de hidrógeno por hora durante un tiempo de operación de aproximadamente 120 segundos. El aumento inicial del caudal como se ilustra en la curva en un lado a mano izquierda de la representación gráfica se asocia con la estratificación térmica del hidrógeno líquido 12 en el inicio. La curva representa la vaporización del hidrógeno líquido 12 hirviendo el hidrógeno líquido 12 dentro de la carcasa de bomba 36. La disminución del caudal ilustrado en la curva en un lado a mano derecha de la representación gráfica puede estar asociada con una reducción en el área de superficie del hidrógeno líquido 12 en la carcasa de bomba 36 durante el hervor debido a la reducción del área de superficie del hidrógeno líquido dentro de la carcasa de bomba cilíndricamente formada 36.

Haciendo referencia a la figura 9, se muestra una aeronave 100, tal como una aeronave de larga resistencia y gran altitud (es decir, HALE) 100 en la que puede incorporarse la bomba de hidrógeno 10. Como puede verse, la aeronave 100 puede incluir una disposición convencional que tiene un fuselaje 102 con alas 104 y una sección de cola 106. El avión 100 puede incluir una o más unidades de propulsión 108 que pueden proporcionarse en una variedad de configuraciones, incluyendo, pero no limitadas a, un motor de combustión interna en o una disposición de turbina y/o una disposición de pistón para la combustión del hidrógeno gaseoso 14 generado por la bomba de hidrógeno 10.
45

Aunque la bomba de hidrógeno 10 se ilustra y se describe en una realización que puede estar integrada en la aeronave 100 ilustrada en la figura 9, debería observarse que la bomba de hidrógeno 10 y la metodología pueden integrarse en cualquier sistema, subsistema, conjunto, subconjunto, estructura y vehículo incluyendo vehículos marinos, de tierra, de aire y/o espaciales. Además, la bomba de hidrógeno 10 puede estar incorporada en cualquier aplicación y puede usarse en cualquier industria, operación o proceso, como se ha indicado anteriormente. Ventajosamente, la bomba de hidrógeno 10 y la metodología proporcionan un sistema pasivo, cerrado para vaporizar y bombear el hidrógeno de una manera fiable y eficiente para su uso por cualquier componente corriente abajo.
50

55

REIVINDICACIONES

1. Una bomba de hidrógeno (10), que comprende:

5 un depósito de suministro (20) que almacena hidrógeno líquido (12);
una carcasa de bomba (36) configurada para recibir el hidrógeno líquido (12) desde el depósito de suministro (20) a través de una entrada de carcasa (38); y
un mecanismo de calentamiento (54) configurado para vaporizar el hidrógeno líquido (12) en hidrógeno gaseoso (14) y aumentar la presión del mismo dentro de la carcasa de bomba (36);

10 **caracterizada por que:**

la carcasa de bomba (36) está configurada para liberar el hidrógeno gaseoso (14) a través de una salida de carcasa (40) tras alcanzar una presión predeterminada del hidrógeno gaseoso (14);
15 la carcasa de bomba (36) está configurada para cerrar la salida de carcasa (40) y ventilar el hidrógeno gaseoso residual (34) de la carcasa de bomba (36) para permitir que entre hidrógeno líquido (12) adicional en la carcasa de bomba (36) a través de la entrada de carcasa (38);
una línea de ventilación (74) se extiende entre la carcasa de bomba (36) y el depósito de suministro (20); y
20 una válvula de ventilación (70) montada en la línea de ventilación (74), para ventilar el hidrógeno gaseoso residual (34) desde la carcasa de bomba (36) al depósito de suministro (20) para reducir la presión dentro de la carcasa de bomba (36) de tal manera que el hidrógeno líquido (14) fluya desde el depósito de suministro y en la carcasa de bomba (36).

25 2. La bomba de hidrógeno (10) de la reivindicación 1, que comprende además:

una válvula de entrada (30) acoplada a la entrada de carcasa (38) y que es operativa para abrirse de tal manera que el hidrógeno líquido (12) se recibe en la carcasa de bomba (36), siendo la válvula de entrada (30) operativa para cerrarse en respuesta al hidrógeno líquido (12) que alcanza un nivel de llenado (51) en la carcasa de bomba (36).

30 3. La bomba de hidrógeno (10) de la reivindicación 1, donde:

la válvula de entrada (30) es operativa para abrirse en respuesta al hidrógeno líquido (12) que cae por debajo de un nivel de agotamiento (53).

35 4. La bomba de hidrógeno (10) de la reivindicación 1, que comprende además:

una sección intermedia (28) que conecta de manera fluida el depósito de suministro (20) a la entrada de carcasa (38) y que contiene el hidrógeno líquido (12).

40 5. La bomba de hidrógeno (10) de la reivindicación 4, que comprende además:

un mecanismo de extracción de calor (76) que comprende una parte de la línea de ventilación (74) que se extiende a través del hidrógeno líquido (12) en la sección intermedia (28) y que extrae calor del hidrógeno gaseoso (14) en la línea de ventilación (74).

45 6. La bomba de hidrógeno (10) de la reivindicación 1, donde:

el mecanismo de calentamiento (54) comprende al menos uno de un elemento de calentamiento en un exterior de la carcasa de bomba (36) y una sonda que se extiende en el hidrógeno líquido (12).

50 7. Una aeronave de larga resistencia y gran altitud (HALE) (100) que tiene una o más unidades de propulsión (108) para quemar el hidrógeno gaseoso (14) suministrado por la bomba de hidrógeno (10) de cualquier reivindicación anterior.

55 8. Un método de bombeo de hidrógeno, que comprende las etapas de:

recibir el hidrógeno líquido (12) en una carcasa de bomba (36) desde un depósito de suministro (20);

60 **caracterizado por:**

calentar el hidrógeno líquido (12) con el fin de vaporizarlo en hidrógeno gaseoso (14) en la carcasa de bomba (36);
liberar el hidrógeno gaseoso (14) de la carcasa de bomba (36) tras alcanzar una presión predeterminada; y
65 ventilar el hidrógeno gaseoso residual (34) desde la carcasa de bomba (36) al depósito de suministro (20) a través de una línea de ventilación (74) para reducir la presión dentro de la carcasa de bomba (36) de tal manera

que el hidrógeno líquido (12) adicional fluya desde el depósito de suministro (20) a la carcasa de bomba (36).

9. El método de la reivindicación 8, que comprende además la etapa de:

5 sellar la carcasa de bomba (36) antes de vaporizar el hidrógeno líquido (12).

10. El método de la reivindicación 8, donde la línea de ventilación (74) se extiende a través del hidrógeno líquido (12) en una sección intermedia (28) que conecta de manera fluida el depósito de suministro (20) y la entrada de carcasa (38), comprendiendo además el método la etapa de:

10 extraer el calor del hidrógeno gaseoso (14) en la línea de ventilación (74) dirigiendo el hidrógeno gaseoso (14) a través de una parte de la línea de ventilación (14) que se extiende a través del hidrógeno líquido (12) en la sección intermedia (28).

15 11. El método de la reivindicación 8, que comprende además la etapa de:

calentar el hidrógeno líquido (12) mediante al menos uno de calentar el exterior de la carcasa de bomba (36) con un elemento de calentamiento, y usar una sonda que se extiende en el hidrógeno líquido (12).

20 12. El método de la reivindicación 8, que comprende además la etapa de:

abrir una válvula de entrada (30) acoplada a la entrada de carcasa (38), de tal manera que el hidrógeno líquido (12) se recibe en la carcasa de bomba (36), y cerrar la válvula de entrada (30) en respuesta al hidrógeno líquido (12) que alcanza un nivel de llenado (51) en la carcasa de bomba (36).

25 13. El método de la reivindicación 12, donde la etapa de abrir la válvula de entrada (3) comprende:

abrir la válvula de entrada (30) en respuesta al hidrógeno líquido (12) que cae por debajo de un nivel de agotamiento (53).

30 14. El método de la reivindicación 8, donde la etapa de ventilar el hidrógeno gaseoso residual (34) comprende eliminar las gotitas de hidrógeno líquido arrastradas en el hidrógeno gaseoso (14) antes de ventilar el hidrógeno gaseoso residual (34) de la carcasa de bomba (36).

35 15. El método de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14, que comprende además suministrar el hidrógeno gaseoso (14) a una o más unidades de propulsión (108) de una aeronave de larga resistencia y gran altitud (HALE) (100), y quemar el hidrógeno gaseoso (14) en la o cada unidad de propulsión (108).

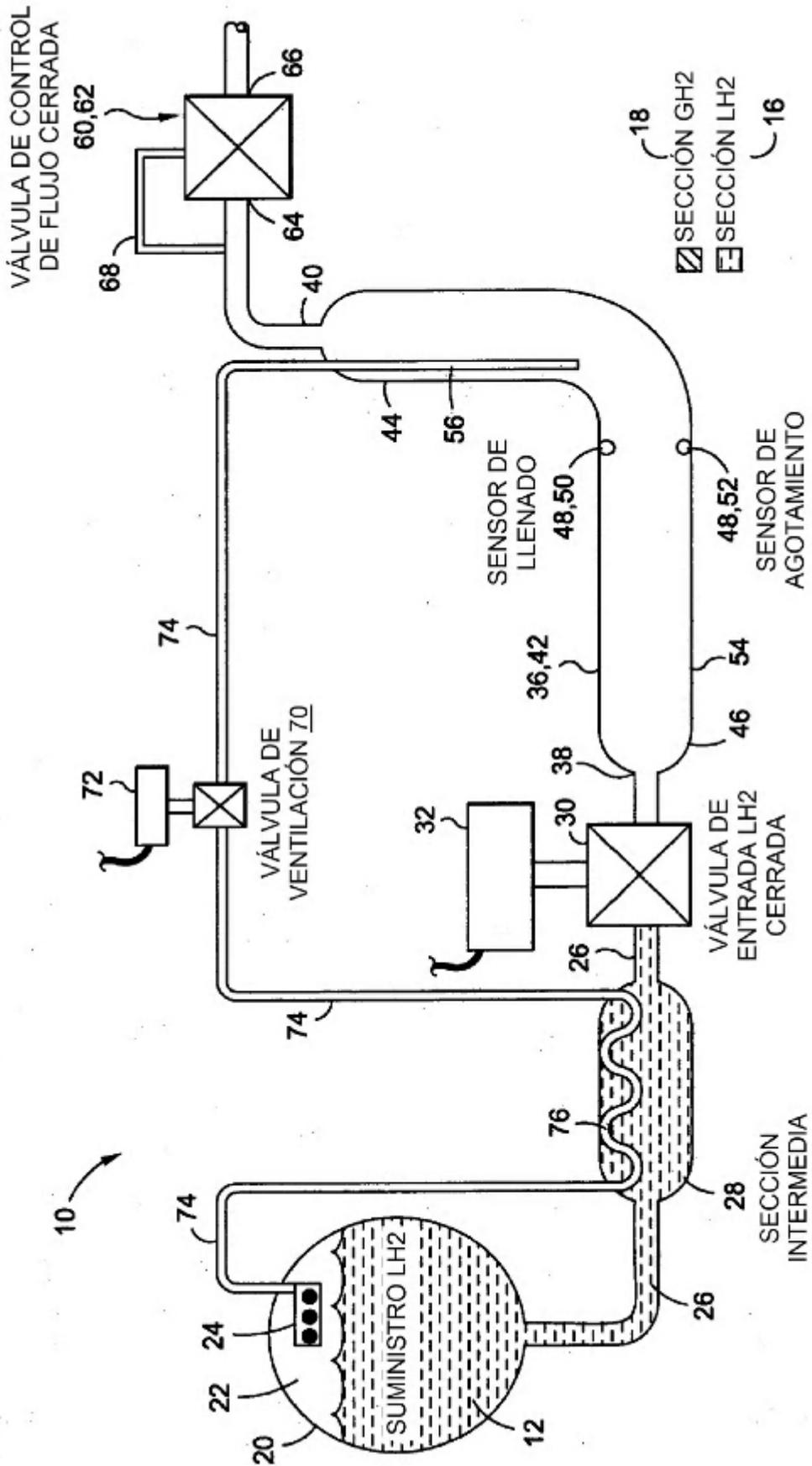
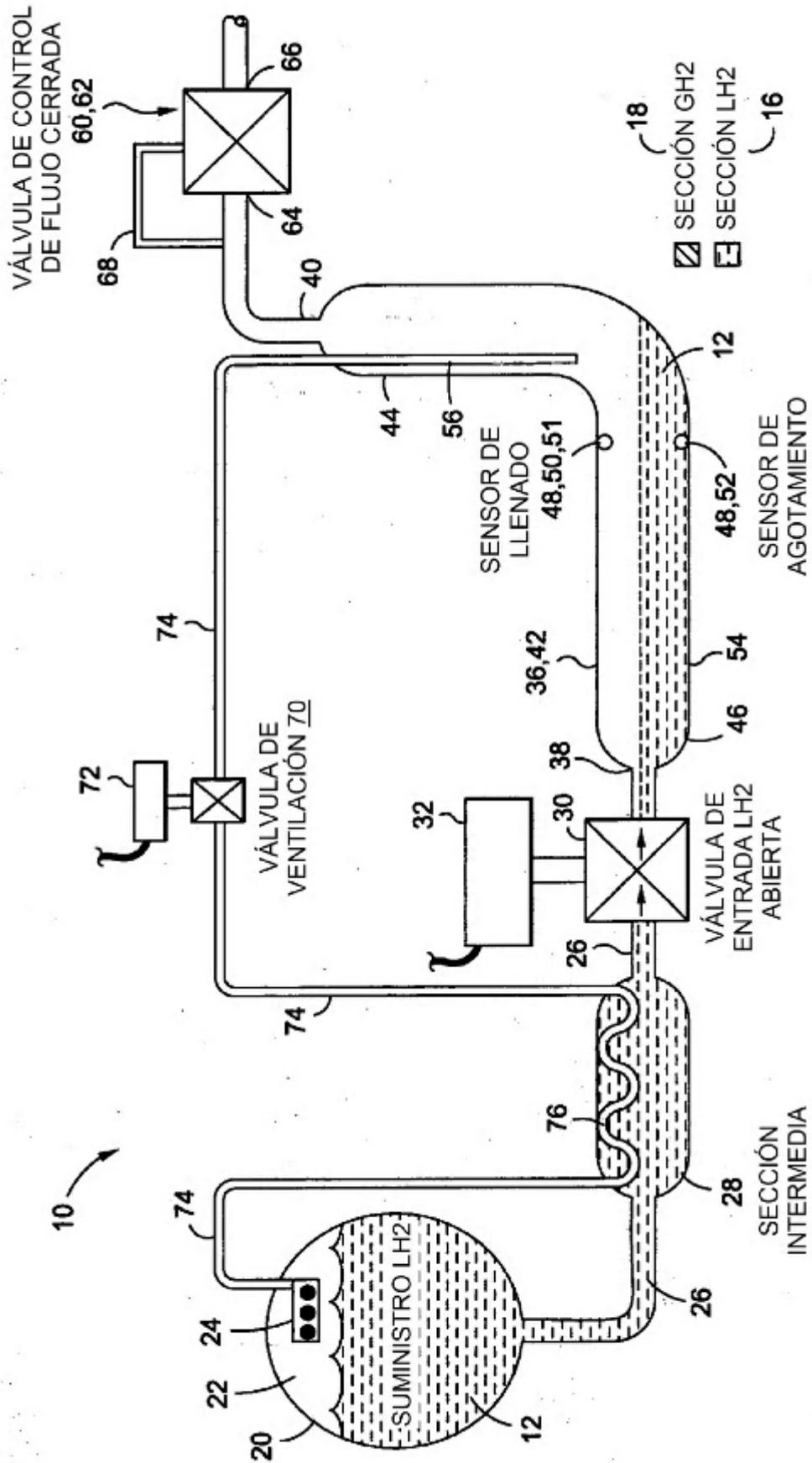


FIG. 1



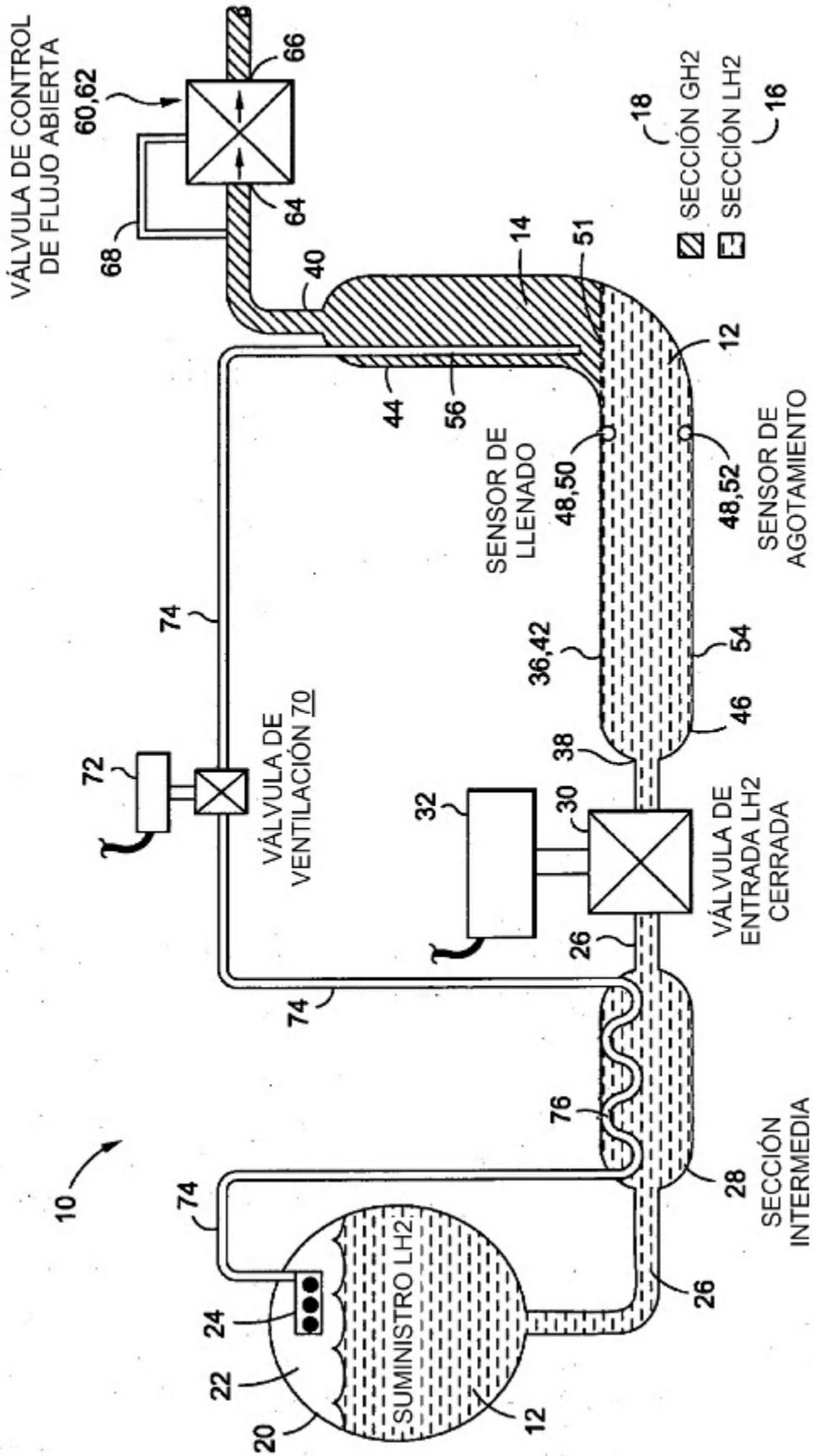


FIG. 3

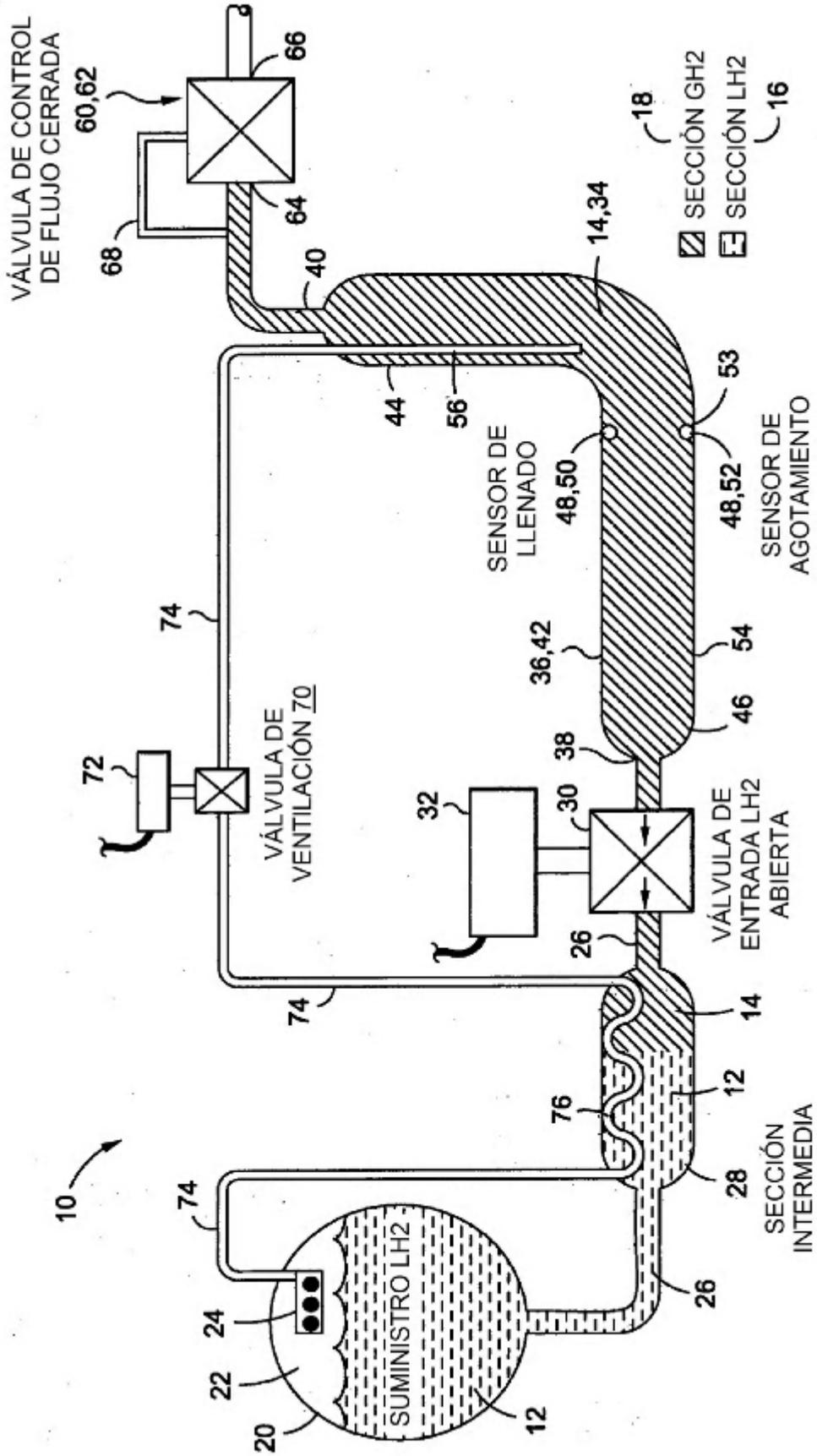


FIG. 4

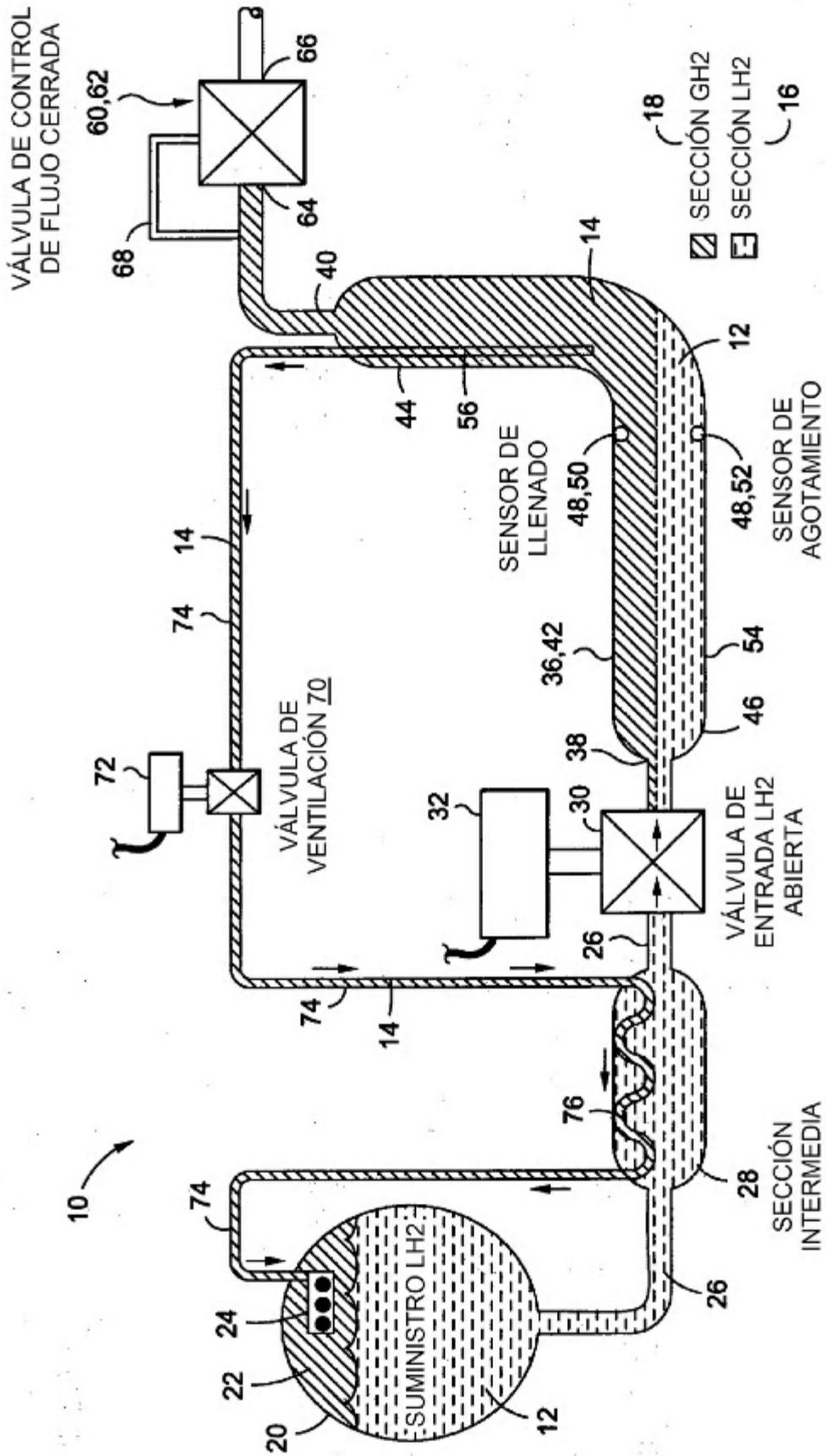


FIG. 5

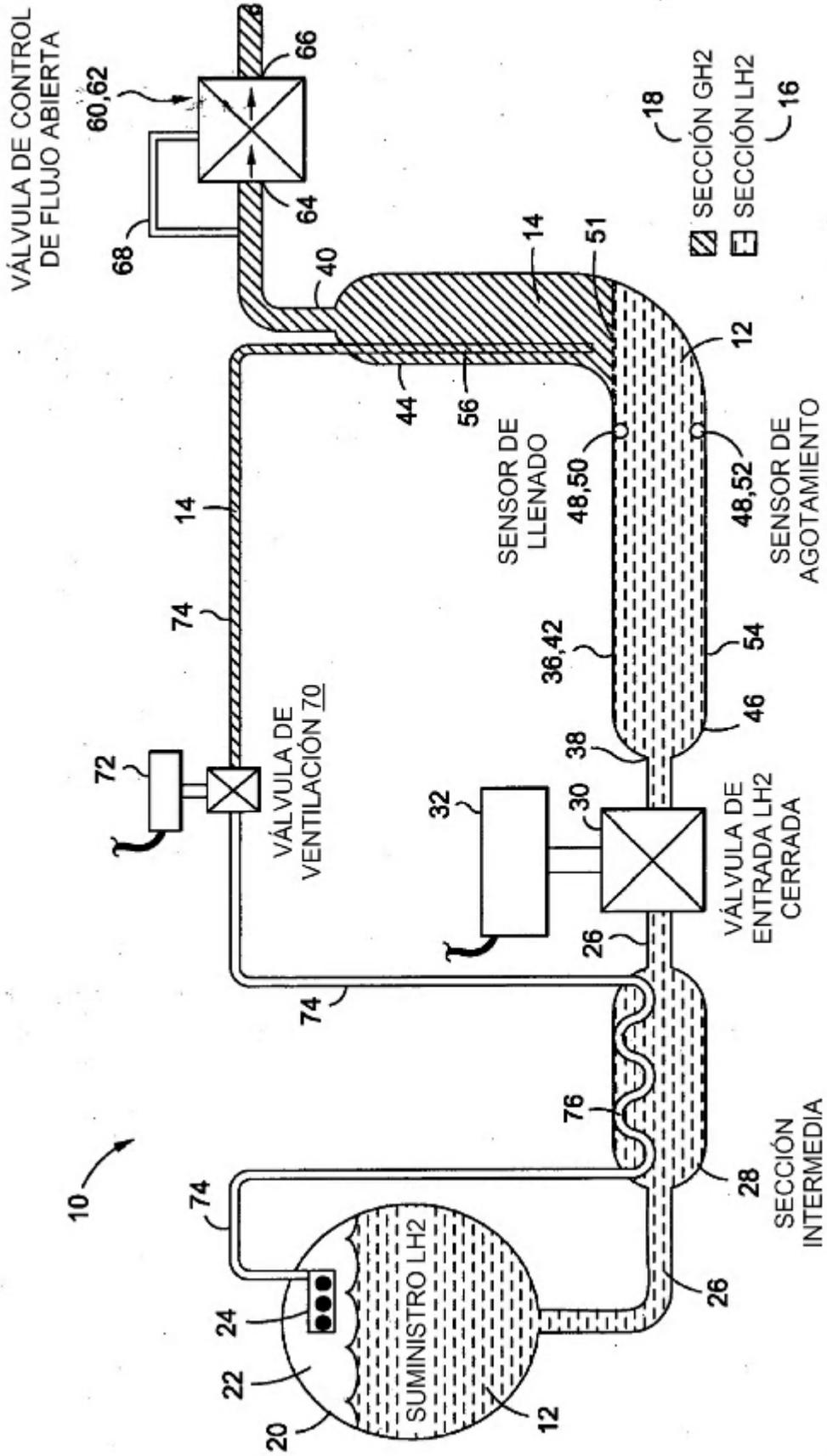


FIG. 6

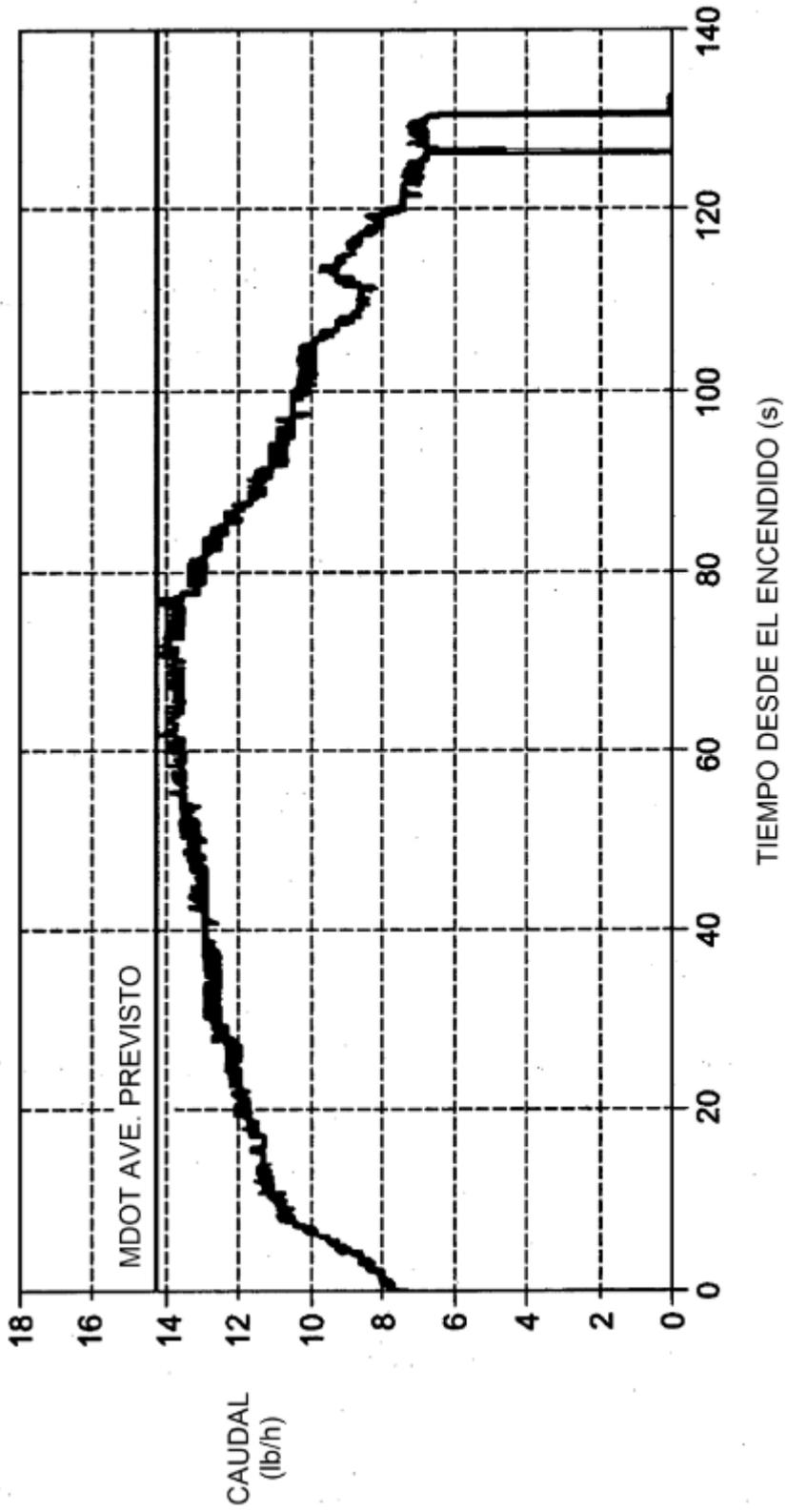


FIG. 7

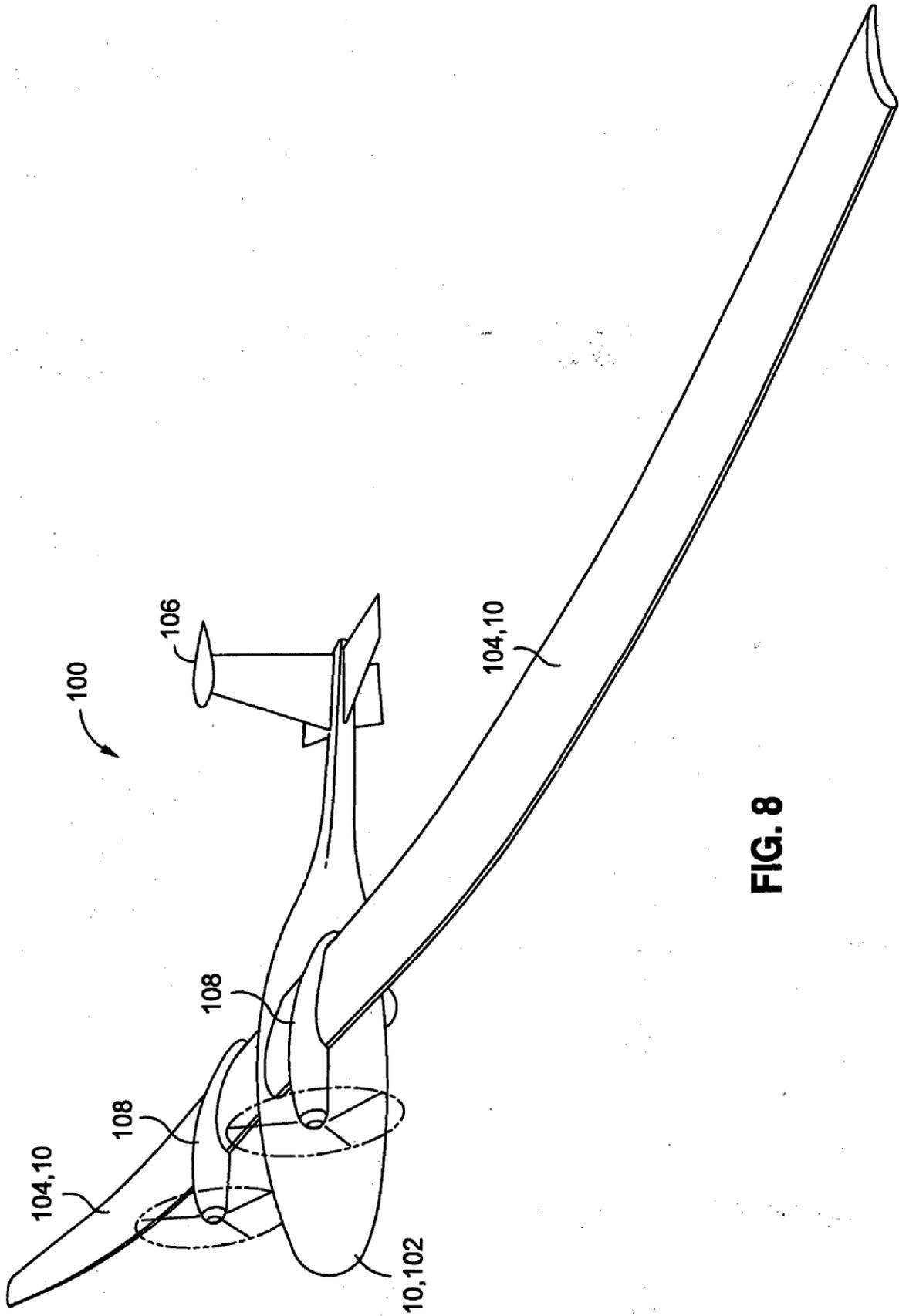


FIG. 8



FIG. 9