

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 383**

51 Int. Cl.:

F04B 15/08 (2006.01)
F04B 11/00 (2006.01)
F04B 23/02 (2006.01)
F04B 9/02 (2006.01)
F02M 21/02 (2006.01)
B63H 21/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.08.2017 PCT/US2017/049058**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.03.2018 WO18044857**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.08.2017 E 17765321 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 3504432**

54 Título: **Bomba de gas combustible a alta presión**

30 Prioridad:

29.08.2016 US 201662380855 P

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

26.11.2020

73 Titular/es:

**ACD, LLC (100.0%)
2321 South Pullman Street
Santa Ana, CA 92705, US**

72 Inventor/es:

WELLS, MICHAEL

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 796 383 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 gas combustible a alta presión

5 Antecedentes**Campo**

10 La presente memoria hace referencia a una bomba de gas de alta presión especialmente para el servicio marítimo y, más particularmente, a una bomba modular de alta presión de accionamiento lineal para el uso en aplicaciones con sistemas de combustible de alta presión tales como los sistemas de combustible marítimos, gas industrial y energía alternativa, por ejemplo, bombas de gas natural líquido (GNL) para uso marítimo.

15 Descripción de la técnica relacionada

La demanda mundial de energía sigue aumentando año tras año a medida que se agotan las reservas de petróleo existentes y la búsqueda de sustitutos se extiende a las partes más profundas del océano, lo que requiere enormes costes de inversión. Un cambio general en la política energética hace que la energía nuclear y el carbón pierdan popularidad, mientras que el gas de los EE. UU. y Oriente Medio está emergiendo como una alternativa viable. La inestabilidad política también ha alentado a los países a elaborar una política energética que los haga más independientes del suministro de oleoductos. En esta situación, la propulsión de grandes buques de carga con GNL en lugar de gasóleo o fuelóleo es una solución obvia. Los modernos buques de GNL requieren sistemas de propulsión muy fiables ya que la disponibilidad de los motores es fundamental.

25 Un sistema típico de propulsión marítima por GNL cuenta con un depósito de GNL, un sistema de suministro de combustible y los motores de propulsión que reciben el GNL a presión. El GNL se almacena y suministra a altas presiones y temperaturas criogénicas (por debajo de $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-238\text{ }^{\circ}\text{F}$ o 123 K), normalmente alrededor de $-260\text{ }^{\circ}\text{F}$ y a 250 psi. Los sistemas de suministro de combustible disponibles actualmente para el GNL criogénico a alta presión son propensos a las fugas o fallos de diversas fuentes mecánicas. Dichas fugas reducen la vida útil y aumentan la carga de mantenimiento de los equipos de bombeo de GNL. Del mismo modo, otras bombas de servicio de gas industriales utilizadas para nitrógeno líquido (LN2), argón líquido (LAR) e hidrógeno líquido (LH2) también son propensas a las fugas y consiguientes problemas de mantenimiento.

35 Además, el hidrógeno se considera un futuro combustible para el transporte. El uso del hidrógeno en la producción de combustibles para el transporte a partir de petróleo crudo está aumentando rápidamente, y es vital en los lugares donde las arenas bituminosas son la fuente de petróleo. El hidrógeno puede combinarse con el CO₂ para producir metanol o éter dimetilico, que probablemente se conviertan en importantes combustibles para el transporte. La energía nuclear puede utilizarse para producir hidrógeno electrolíticamente, y es probable que en el futuro se utilicen reactores de alta temperatura para producirlo termoquímicamente. La demanda energética para la producción de hidrógeno podría superar a la de la producción de electricidad en la actualidad.

40 Por consiguiente, sigue siendo necesaria una bomba de alta presión para GNL/LH2/LN2/LAR y otros usos que tenga una vida útil más larga y sea más fácil de mantener.

45 La patente US-A-2016222955 revela un cilindro de bomba convencional.

Resumen de la invención

50 Las realizaciones de la presente invención buscan proveer una bomba de alta presión para GNL/LH2/LN2/LAR y otros usos que simplifique y reduzca el tamaño de los sistemas actuales y que tenga un aumento de la vida útil del 200% al 500%, costes operativos significativamente menores y una mayor facilidad de mantenimiento.

55 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema para bombear fluido criogénico de una fuente de combustible que proporciona una salida uniforme y sin impulsos como se define de la reivindicación 1 en adelante.

Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para bombear fluido criogénico de una fuente de combustible que proporciona una salida uniforme y sin impulsos como se define de la reivindicación 9 en adelante.

60 Descripción de las figuras

La figura 1 es una vista en perspectiva del exterior de un sistema ejemplar de bombeo de alta presión para GNL/LH2/LN2/LAR de la presente invención;

5 La figura 2 es una visión seccional del sistema de bombeo de la figura 1 que muestra dos de las tres bombas lineales internas, una de las cuales está parcialmente seccionada;

10 La figura 3A es una vista en perspectiva de una de las bombas lineales, mientras que las figuras 3B y 3C son vistas seccionales parciales de partes de la bomba interna;

La figura 4 es una vista ampliada de un extremo inferior de una de las bombas lineales, mientras que las figuras 4A y 4B son vistas despiezadas de partes de la misma;

15 La figura 5 es una vista despiezada en perspectiva del extremo inferior de la bomba interna mostrada en la figura 4;

La figura 6 es una vista seccional vertical de un sistema de bombeo alternativo de la presente invención que utiliza un sistema de accionamiento hidráulico; y

20 La figura 7 es una vista en perspectiva de un sistema de bombeo alternativo de alta presión de GNL/LH2/LN2/LAR de la presente invención con bombas lineales selladas individualmente.

A lo largo de esta descripción, a los elementos que aparecen en las figuras se les asignan designadores de referencia de tres dígitos, donde el dígito más significativo es el número de la figura en la que se presenta el elemento y los dos dígitos menos significativos son específicos del elemento. Puede suponerse que un elemento que no se describe junto con una figura tiene las mismas características y funciona como un elemento previamente descrito con el mismo designador de referencia.

Descripción detallada

30 La presente solicitud revela un sistema mejorado de bombeo modular mejorado de alta presión de GNL/LH2/LN2/LAR de accionamiento lineal, diseñado especialmente para el uso marítimo con sistemas de combustible a alta presión. El término «accionamiento lineal» se refiere a un sistema que no se basa en el modo tradicional de convertir el movimiento de rotación en movimiento lineal, que suele crear fuertes vibraciones, y por tanto los mecanismos de accionamiento lineal suavizan el perfil de potencia resultante. Por supuesto, el sistema de bombeo revelado en el presente documento puede utilizarse en aplicaciones de transporte distintas del campo marítimo con beneficios similares, incluyendo en trenes, camiones y autobuses. Otras áreas no relacionadas con el transporte en las que la bomba de GNL de alta presión es útil son, entre otras, las aplicaciones de combustibles alternativos y gas industrial. Asimismo, aunque el gas natural líquido como combustible es el producto básico principal que puede bombearse utilizando los sistemas actuales, el nitrógeno líquido, el hidrógeno, el argón y otros hidrocarburos líquidos criogénicos también pueden procesarse utilizando las bombas descritas en este documento. Los sistemas de bombeo revelados en el presente documento tienen un tamaño reducido y una mayor vida útil, suponen menos costes operativos y son más fáciles de mantener.

45 Antes de tratar en detalle los atributos ejemplares de los sistemas de bombeo a alta presión, es necesario comprender los inconvenientes de las bombas mecánicas existentes. El siguiente debate no pretende ser una admisión de lo que ya existe en el estado de la técnica, sino un reconocimiento por parte de los solicitantes de los peritos en los sistemas existentes.

Parte 1: Bombas alternativas tradicionales

50 La tecnología actual de bombas alternativas consta de dos componentes principales: el "extremo de potencia" (a menudo denominado "extremo de accionamiento" o "extremo caliente") y el "extremo de fluido" de trabajo (a menudo denominado "extremo frío"). Estas bombas pueden configurarse en disposiciones de un solo cilindro o en disposiciones de múltiples cilindros alrededor de un cigüeñal común. En los párrafos siguientes se analizará una bomba alternativa de "efecto simple", que significa que a medida que el extremo de potencia permite/induce el movimiento del pistón hacia el cigüeñal, el extremo de fluido extraerá el fluido a la presión de aspiración, seguido inmediatamente por el movimiento invertido del pistón alejándose del cigüeñal, lo que descargará el fluido del extremo de fluido a una presión de descarga relativamente más alta.

60 Las bombas alternativas tienen normalmente un rendimiento limitado por una característica conocida como "carga del vástago", que es la carga que se aplica en el accionamiento de la bomba como resultado de la presión de descarga de esa bomba que actúa a través del área del pistón en el extremo del fluido. Los pistones más pequeños permiten presiones más altas antes de que se alcance el límite de carga del vástago, sin embargo, esto reduce la capacidad de la bomba. Por

el contrario, si se aumenta el tamaño del pistón, la capacidad de la bomba aumentará, pero se reducirá la presión máxima de descarga de la bomba. El aumento de la capacidad de carga del vástago de estas bombas se logra prácticamente a través del aumento proporcional del tamaño del extremo de potencia de la bomba.

5 Extremos de potencia:

El diseño tradicional del extremo de potencia recoge la energía y el movimiento de rotación y los convierte en energía y movimiento lineal a través de los componentes internos del extremo de potencia. Estos componentes internos generalmente tienen una de las dos disposiciones.

10 La primera disposición es del tipo leva/seguidor en la que hay una excéntrica montada o integrada en el cigüeñal del extremo de potencia con el pistón de trabajo montado y desplazado por esa excéntrica. Este diseño tiene la ventaja de ser relativamente simple y barato, sin embargo, presenta varias limitaciones. La primera limitación importante es que el pistón de trabajo siempre debe estar cargado para mantenerlo en marcha en la excéntrica y evitar "carreras cortas".
15 Normalmente, esto se logra aportando una amplia presión de aspiración en el pistón para mantenerlo presionado firmemente contra la superficie de la excéntrica.

La segunda disposición es de tipo biela/cruceta. En esta disposición, un extremo de una biela va montado concéntricamente alrededor de una excéntrica utilizando un cojinete (normalmente uno de rodillos antifricción o uno con lubricación hidrodinámica) como conexión entre el diámetro exterior de la excéntrica y el diámetro interior del extremo de la biela. El cojinete con lubricación hidrodinámica tiene la ventaja de ser un cojinete "sin contacto", y por lo tanto solo se desgasta durante los arranques, las paradas y determinadas condiciones adversas. Los cojinetes con lubricación hidrodinámica también tienen la ventaja de poder utilizar la película de aceite que los compone como una especie de amortiguador para absorber la carga de impacto que suele asociarse a condiciones de cavitación adversas en las bombas alternativas. Por último, los diseños de cojinetes con lubricación hidrodinámica son bastante compactos, lo que permite que el tamaño general del extremo de potencia sea significativamente más pequeño que los diseños de cojinetes de rodillos, y son mucho más fáciles de fabricar y montar. Los cojinetes de rodillos tienen la ventaja de permitir relaciones de giro muy bajas, ya que no dependen de la construcción de una película hidrodinámica de aceite (y por tanto de la velocidad tangencial del cojinete) para funcionar. También es posible lubricar los cojinetes de rodillos con grasa, lo que elimina la necesidad de un sistema de lubricación o de refrigeración.

Tanto la disposición de leva/seguidor como la de la biela/cruceta comparten ciertas desventajas, independientemente de la disposición específica del cojinete u otros detalles internos específicos. La primera es el tamaño y la complejidad general del accionamiento, que contiene todos los componentes necesarios para crear un movimiento lineal. Esos componentes suelen ser bastante caros de fabricar y son relativamente grandes en tamaño y peso. Los componentes de desgaste (principalmente retenes y cojinetes) deben cambiarse a intervalos regulares, son difíciles de sustituir y suelen causar cierto nivel de caos o daño colateral cuando fallan. La segunda desventaja es que todas las bombas de este tipo crean e inducen un flujo pulsatorio, tanto aguas arriba como aguas abajo de la bomba. Esto es inherente a las bombas alternativas tradicionales porque traducen el movimiento de rotación en movimiento lineal, lo que significa que los caudales de entrada y salida tienen forma de ondas sinusoidales. Estas pulsaciones crean un efecto adverso en el lado de entrada de la bomba que suele denominarse "pérdida de carga de aceleración" o, en otras palabras, las pérdidas incurridas en la constante aceleración y desaceleración en toda la columna de fluido aguas arriba de la aspiración de la bomba. Los impulsos aguas abajo suelen causar una vibración armónica en la tubería de descarga que puede provocar averías y/o fallos en los componentes del sistema y/o de la propia tubería. Para evitarla, hay que dotar al sistema de dispositivos de amortiguación, normalmente en forma de un acumulador de alta presión que suele denominarse "cámara de equilibrio". Estos dispositivos tienden a ser tanques codificados de alta ingeniería y la mayoría de las veces son caros y difíciles de producir.

Extremos de fluido:

50 Un extremo de fluido típico de una bomba alternativa tendrá una variedad de disposiciones diferentes, pero en general siempre tendrá un puerto de entrada, un puerto de salida, una válvula de retención de entrada, una válvula de retención de salida, un pistón y sellos de empaquetadura. Los sellos de empaquetadura son a menudo materiales plásticos, comúnmente mezclas de politetrafluoroetileno (PTFE) y modificadores estructurales como la fibra de vidrio o el carbono.

55 Los extremos de fluido están normalmente alimentados por una serie de colectores que llevan el fluido de proceso dentro y fuera de estos para su correcto funcionamiento. Estos colectores van desde simples tramos de tubos hasta complejos colectores de tuberías fabricados que integran válvulas e instrumentación, pasando por colectores de alta presión de tipo bloque para la recogida del fluido de descarga a alta presión. Estos colectores tienden a ser algo complejos y caros y albergan múltiples conexiones de tubos y tuberías, lo que suele dar lugar a fugas si estas conexiones no reciben un mantenimiento adecuado; los efectos de estas fugas se describen en el siguiente párrafo.

Un modo de fallo en el extremo del fluido es que la empaquetadura se desgasta, lo que permite que el fluido de proceso (a menudo una sustancia peligrosa) se filtre en el espacio intermedio entre el "extremo de potencia" y el "extremo de fluido". En el caso de los criogénicos, esto casi siempre se considera peligroso, ya que las grandes fugas de sustancias no explosivas suponen un peligro de asfixia. Las sustancias explosivas (como el hidrógeno y los hidrocarburos ligeros) también implican este riesgo, además del riesgo de combustión no deseada. En cualquier caso, estos riesgos se abordan con el uso de un costoso y a veces complejo sistema de purga y detección de fugas, que se utiliza tanto como sistema de contención como de indicación de fallo de la empaquetadura. En condiciones normales, los factores que ocasionan el desgaste de los sellos de empaquetadura son el diferencial de presión, la velocidad del pistón, el número de ciclos operativos, la fricción, la desalineación entre el pistón y la empaquetadura y el movimiento radial residual del extremo de potencia.

El segundo modo de fallo típico es el de los aros de pistón. En condiciones de funcionamiento normales y correctas, los aros de pistón durarán significativamente más tiempo que las empaquetaduras (aunque en condiciones adversas, a veces fallarán antes de la empaquetadura). Los aros de pistón defectuosos no representan una amenaza medioambiental; no obstante, un fallo de este tipo dará lugar a una pérdida de flujo entre leve y severa y afectará al rendimiento de la presión de descarga, dependiendo del grado de desgaste. En condiciones normales, los factores que ocasionan el desgaste de los aros de pistón son el diferencial de presión, la velocidad del pistón, el número de ciclos operativos, la fricción, la desalineación angular entre el pistón y el aro de pistón y el movimiento radial residual del extremo de potencia.

La presente solicitud revela sistemas de bombeo que solucionan los inconvenientes mencionados anteriormente en las bombas alternativas convencionales. Los sistemas de bombeo actuales se benefician del accionamiento lineal que suaviza el perfil de potencia. Como ya se ha dicho, el término "accionamiento lineal" se refiere a un sistema que evita la conversión del movimiento de rotación en movimiento lineal y su correspondiente energía vibratoria. No hay sellos dinámicos, lo que evita que se produzcan fallos por fugas. El principal beneficio de una salida uniforme y sin impulsos y la ausencia de sellos dinámicos se traduce en una mayor vida útil de la bomba.

La figura 1 es una vista en perspectiva del exterior de un sistema ejemplar de bombeo a alta presión GNL/LH2/LN2/LAR 20 de la presente solicitud, mientras que la figura 2 es una vista seccional del sistema de bombeo que muestra dos de las tres bombas lineales internas 22, una de las cuales está parcialmente seccionada. Debe entenderse que el número de bombas lineales 22 dentro de cada sistema puede variar enormemente en función del diseño modular, aunque típicamente será entre 2 y 12. El sistema 20 presenta una carcasa exterior sellada, preferentemente dividida en una carcasa superior 24 atornillada a una carcasa inferior 26. Cada una de las bombas lineales internas 22 incluye una unidad de accionamiento superior 30, en este caso un actuador electromecánico, y una columna de distribución de fluido inferior 32 que incluye válvulas de entrada y de descarga.

La carcasa superior 24 tiene una brida circunferencial agrandada 40 atornillada a una brida agrandada 42 en la parte superior de la carcasa inferior 26. La unidad de accionamiento superior 30 está dentro de la carcasa superior 24 sin ningún conducto conectado a ella, de modo que la carcasa superior acampanada puede retirarse para llevar a cabo el mantenimiento de cualquiera de los componentes de accionamiento de las bombas lineales. Por ejemplo, se puede retirar una tapa superior 43 de la carcasa superior 24 para acceder a la unidad de accionamiento 30 que hay en ella.

La columna de distribución de fluido inferior 32 de cada una de las bombas electromecánicas o hidráulicas se extiende hacia abajo en la cavidad interna definida por la carcasa pasando por las bridas 40 y 42 hasta una cámara inferior 44. El extremo inferior de la carcasa inferior 26 tiene una brida anular 48 que se fija con pernos a una placa colectora inferior 46 que se intercala con una segunda brida anular 50. La primera brida 48 está fijada a un exterior de la carcasa inferior 26, mientras que la segunda brida 50 está fijada a un depósito de almacenamiento de combustible inferior 52. Aunque el depósito de almacenamiento de combustible 52 aparece inmediatamente debajo del sistema de bombeo 20, puede estar ubicado a distancia por encima o por debajo del sistema. Preferentemente, el depósito de almacenamiento de combustible 52 que se muestra es simplemente un depósito de almacenamiento que se suministra con combustible a presión desde un depósito principal remoto (no mostrado). El recinto de las unidades de accionamiento superiores 30 y la columna de distribución de fluido inferior 32 dentro de las carcasas acopladas 24, 26 proporciona un entorno hermético al sistema de bombeo. Cualquier fuga de cualquiera de las bombas lineales 22 del sistema quedará por tanto contenida en el espacio entre las carcasas comunes 24, 26. Además, la presión dentro de las carcasas 24, 26 puede mantenerse a la presión del combustible entrante o muy cerca de ella, lo que reduce en gran medida las fugas del conjunto de pistón/cilindro.

Volviendo a la figura 1, se muestran varios conductos que se extienden desde el sistema de bombeo 20. Un conducto de fluido inferior 60 comprende una entrada de combustible que se abre en el depósito de almacenamiento 52 debajo del sistema de bombeo. Un conducto de fluido intermedio 62 se abre a la cámara inferior 44 dentro de la carcasa inferior 26 para controlar el nivel de líquido en esta. Finalmente, un conducto de fluido superior 64 también se abre a la cámara inferior 44 para controlar la presión. Un par de conductos de instrumentos más grandes 70 y 72 se abren a la cámara inferior 44 y proporcionan pasos para varios cables de alimentación e instrumentos eléctricos (no mostrados) que se conectan a las

unidades de accionamiento 30 de las bombas lineales 22. Debido a que los conductos 70 y 72 se conectan a la carcasa inferior 26, la carcasa superior 24 se puede retirar fácilmente para llevar a cabo el mantenimiento de las unidades de accionamiento 30.

5 La figura 1 también muestra una flecha de entrada de fluido 74 y una flecha de salida de fluido 76. Como ya se ha mencionado, el fluido que entra desde un depósito remoto pasa a través del conducto de fluido inferior 60 y al interior de la cámara interna definida por el depósito de almacenamiento 52. La figura 3A es una vista en perspectiva, mientras que las figuras 3B y 3C son perspectivas de corte parcial de una de las bombas lineales 22. La figura 4 es una vista ampliada de un extremo inferior de una de las bombas lineales, mientras que las figuras 4A y 4B son perspectivas despiezadas de las partes de la misma. Por último, la figura 5 es una vista despiezada en perspectiva del extremo inferior de la bomba interna, y se deben hacer referencias a los componentes mostrados en esta vista junto con las vistas montadas.

10 La figura 3B ilustra un par de pasos de flujo 78 que se extienden verticalmente a través de la placa colectora 46 que conecta el depósito de almacenamiento 52 a una cámara interior más baja de la columna de distribución de fluido 32 de cada una de las bombas lineales 22. Las figuras 3C y 4B muestran una de una pluralidad de canales verticales 80 que conducen hacia arriba desde una cámara de aspiración inferior 82 a través de un par de discos de válvula 84 y 86 apilados uno encima del otro. Los canales 80 están preferentemente espaciados uniformemente alrededor del eje común de los discos de válvula 84 y 86 y puede haber entre 2 y 16 canales (ver Figura 5). Los canales verticales 80 se abren en sus extremos superiores en la parte superior del disco de la válvula superior 84 debajo de una válvula elevadora anular 88. Por encima de la válvula elevadora 88 hay un espacio para la cabeza 90 justo debajo de la cabeza 92 de un pistón 94.

15 Como ya se ha mencionado, la unidad de accionamiento superior 30 (actuador electromecánico o hidráulico) se activa para accionar el pistón 94 de forma lineal y periódica. El movimiento ascendente y descendente del pistón 94 que se desliza dentro de la columna 32 extrae el fluido del depósito de almacenamiento 52 y finalmente lo expulsa a través de un segundo paso de flujo 96 (ver figuras 2 y 3C) en la placa colectora 46 que conduce al puerto de salida indicado por la flecha de salida de fluido 76 en la figura 1. Se entenderá que una pluralidad de los pasos de flujo inferiores 96 conducen a un solo puerto de salida 76 que es común a la pluralidad de las bombas lineales 22. El accionamiento coordinado de las bombas lineales 22 permite mantener un perfil de presión de salida uniforme y constante a través del puerto de salida común.

20 La cabeza 92 del pistón 94 presenta una serie de aros de pistón 98 espaciados verticalmente (ver figuras 4B y 5) que proporcionan un contacto deslizante sellado con un lumen interior de un manguito 100. El manguito encaja estrechamente dentro de una cavidad cilíndrica interior de una sección de la carcasa inferior 101 de la columna de distribución de fluido 32. El movimiento ascendente del pistón 94 crea un gradiente de presión negativa dentro del espacio de la cabeza 90 que a su vez extrae el fluido de la cámara de aspiración 82 a través de los canales verticales 80. La válvula elevadora 88 mantiene los extremos superiores de los canales 80 cerrados en virtud de un muelle helicoidal 102 entre la válvula elevadora y el disco de válvula inferior 86 hasta que la aspiración dentro del espacio libre 90 excede una cantidad predeterminada. En un extremo superior de la sección de la carcasa inferior 101, un sello tubular 104 impide el escape de cualquier fluido o gas del manguito 100 más allá del pistón 94.

25 Una vez que el pistón 94 llega a la parte superior de su carrera, la válvula elevadora 88 se cierra sobre los canales verticales 80. El movimiento descendente del pistón 94 empuja el fluido atraído hacia el espacio de cabeza 90 a través de un puerto de flujo central 110 alineado en los discos de válvula superior e inferior 84, 86. Como se ve en la figura 3C, el fluido se expulsa a través del segundo paso de flujo 96 en la placa colectora 46, por ejemplo, a través de una válvula unidireccional.

30 El mencionado conjunto de la columna de distribución de fluido inferior 32 presenta colectores de aspiración, descarga e hidráulicos integrados (si procede) para reducir el número de sellos requeridos y así reducir las fugas. Más específicamente, los colectores de admisión (es decir, la placa colectora 46 y los pasos de flujo 78, 80), descarga (placa colectora 46, puerto de flujo central 110 y paso de flujo 96) y ventilación están integrados directamente en la bomba, lo que elimina la necesidad de fabricarlos e instalarlos en el sistema de bombeo y, por tanto, reduce drásticamente el número de accesorios necesarios. El "colector de ventilación" comprende el interior de la carcasa sellada que, como se ha dicho, se mantiene preferentemente a la misma presión que el combustible de entrada.

35 Con referencia las figuras 4 y 4A, hay que señalar que el pistón 94 está accionado por un eje de salida 120 que depende de la unidad de accionamiento superior 30. El eje de salida 120 se conecta al pistón 94 a través de un conjunto de acoplamiento 122 que se muestra despiezado en la figura 5. La figura 3 ilustra una de un par de ventanas diametralmente opuestas 124 en una sección de la carcasa superior 126 de la columna de distribución de fluido 32. La ventana 124 permite acceder para instalar/retirar el conjunto de acoplamiento 122 si es necesario reparar/sustituir la unidad de accionamiento superior 30 o los componentes de la columna de distribución de fluido 32. Es decir, el conjunto de acoplamiento 122 permite una separación fácil de estas dos unidades principales.

La figura 6 es una vista seccional vertical de un sistema de bombeo alternativo 140 de la presente solicitud que utiliza un sistema hidráulico. Más particularmente, los elementos del sistema de bombeo alternativo 140 son los mismos que se han descrito anteriormente para un sistema motorizado, pero la unidad de accionamiento superior 30 comprende un conjunto de pistón/cilindro hidráulico 142. Es decir, un eje de salida 144 que se une al conjunto de acoplamiento 122 tiene un cabezal superior 146 que forma el pistón del conjunto de pistón/cilindro 142. La introducción y retirada cíclica de un fluido a presión, preferentemente aceite hidráulico, en una cámara de cilindro superior 148 acciona el eje de salida 144, que a su vez acciona el pistón principal 94. Aunque no se muestra, es deseable montar un transductor diferencial lineal variable (LVDT) en algún lugar a lo largo del cilindro hidráulico que monitorice constante y directamente la posición del pistón hidráulico dentro del cilindro. Junto con el software de feedback y control, el LVDT permite un control muy preciso de la posición, velocidad y aceleración del pistón hidráulico.

La figura 7 es una vista en perspectiva de un sistema de bombeo alternativo de alta presión de GNL/LH2/LN2/LAR 200 de la presente solicitud que incorpora bombas lineales selladas individualmente. El sistema 200 incluye una serie de bombas lineales internas (no mostradas), cada una de las cuales tiene una unidad de accionamiento superior y una columna de distribución de fluido inferior que incluye válvulas de entrada y de descarga, como se muestra más arriba. Sin embargo, en lugar de las carcasa externas 24, 26 que abarcan todas las unidades de bomba única, cada unidad está sellada generalmente dentro de su propia carcasa externa tubular 202. Así, cualquier fuga en cualquiera de las bombas quedará contenida dentro de su propia carcasa sellada 202. Una placa colectora circular inferior 206 comprende los colectores, puertos y conexiones de flujo necesarios para facilitar las transferencias de fluido necesarias. Algunas de las conexiones no se muestran, y debe entenderse que cada una de las bombas individuales dentro de las carcasa 202 funcionan de manera similar a las descritas antes alojadas dentro de una carcasa exterior común.

La bomba presentada aquí es una clara desviación de la tecnología de bomba alternativa tradicional en distintas formas. Sigue habiendo un "extremo de potencia" y un "extremo de fluido", sin embargo, la arquitectura de esos componentes, y la forma en la que interactúan entre sí, ha cambiado. Todos los componentes de este sistema de bombeo están incorporados en una carcasa sellada 24, 26, lo que elimina por completo los problemas mencionados antes en torno a la fuga de fluidos peligrosos a la atmósfera, así como la infraestructura necesaria para monitorizar y prevenir esa fuga. Los colectores de admisión, descarga y ventilación están integrados directamente en la bomba, lo que elimina la necesidad de fabricarlos e instalarlos en el sistema de bombeo y, además, elimina los riesgos de fugas al reducir drásticamente el número de accesorios necesarios.

La bomba de ejemplo demuestra su máxima funcionalidad y eficiencia cuando se configura como una unidad multicilíndrica (por ej., tres unidades 30 como se muestra), disponible con extremos de fluido de efecto simple o doble. Los cilindros están dispuestos en vertical. A diferencia de las bombas alternativas tradicionales, cada cilindro de la bomba de la presente invención se puede controlar de forma independiente, lo que permite controlar el flujo y la presión, además de proporcionar una relación de reducción sin precedentes. La bomba de la presente invención no sustituye solo a una bomba alternativa tradicional, sino que elimina la necesidad de contar con una cantidad significativa de infraestructura de apoyo necesaria para hacer funcionar las bombas alternativas tradicionales, por lo que no se trata de una nueva solución de maquinaria de bombeo, sino de una nueva solución de sistema de bombeo.

Extremos de potencia:

El extremo de potencia de la bomba de la presente invención está disponible como una unidad de accionamiento hidráulico o eléctrico. Las unidades de accionamiento hidráulico o eléctrico, si bien son diferentes mecánicamente, proporcionan los mismos beneficios cuando se comparan con un extremo de potencia de una bomba alternativa tradicional.

A diferencia de los extremos de potencia tradicionales, los extremos de potencia de la bomba de la presente invención proporcionan un movimiento lineal puro (en lugar del movimiento de rotación que se traduce en movimiento alternativo). Además, se puede controlar la unidad de accionamiento de cada cilindro de forma independiente, ya que no están unidos mecánicamente mediante un cigüeñal como en los diseños tradicionales. Cada unidad de accionamiento se controla electrónicamente y puede tener parámetros tales como la posición, la velocidad y la aceleración adaptados específicamente a diversas aplicaciones y a operaciones específicas dentro de una aplicación determinada.

El primer método de accionamiento es utilizar un cilindro hidráulico para accionar el extremo de fluido. La velocidad lineal de desplazamiento del pistón viene determinada por el caudal en el cilindro hidráulico y por el diámetro del pistón dentro del cilindro hidráulico. La "carga del vástago" máxima del cilindro hidráulico es una función del área del pistón dentro de ese cilindro y la presión hidráulica que actúa sobre el mismo. La ventaja de esta disposición es que la capacidad de carga del vástago puede aumentarse ya sea incrementando la presión hidráulica o aumentando el diámetro del pistón hidráulico. El caudal del cilindro hidráulico se controla a través de una servoválvula electrónica. Esta servoválvula se controla mediante un software contenido dentro de un controlador electrónico multiejes. La entrada a este controlador se proporciona preferentemente a través de un transductor diferencial variable lineal (LVDT) que va montado en el cilindro hidráulico. Este

transductor monitoriza constante y directamente la posición del pistón hidráulico dentro del cilindro. Estos componentes juntos forman un sistema de control de circuito cerrado que es capaz de mantener con gran precisión los componentes de posición, velocidad y aceleración del movimiento del cilindro hidráulico.

5 El segundo método de accionamiento es utilizar un actuador electromecánico para accionar el extremo de fluido. En esencia, este actuador es un husillo de bolas accionado por un motor eléctrico integrado. La velocidad lineal de desplazamiento del actuador es directamente proporcional a la velocidad del motor eléctrico. La carga del vástago máxima del actuador es, básicamente, una función del par motor disponible. Esta carga del vástago generalmente puede incrementarse aumentando el tamaño o la capacidad de amperios del motor eléctrico. El par y la velocidad del motor se controlan a través de un controlador de accionamiento de motor especializado (similar a un accionamiento de frecuencia variable). La posición del actuador se controla a través de la posición de rotación y el número de rotaciones que efectúa el motor. Estos parámetros se monitorizan a través de un conmutador electrónico rotativo. El controlador utiliza la salida del conmutador para contar el número de rotaciones del motor, y después utiliza el paso del husillo de bolas para calcular la posición axial del actuador. Estos componentes juntos forman un sistema de control de circuito cerrado capaz de mantener con gran precisión los componentes de posición, velocidad y aceleración del movimiento del actuador electromecánico.

En cada uno de estos casos, los sistemas de accionamiento son significativamente más simples que los extremos de potencia de las bombas alternativas tradicionales. Esto se suma intrínsecamente a la fiabilidad general del sistema de accionamiento. Es relativamente fácil acceder a los componentes de accionamiento cuando se necesita hacer el mantenimiento. Los fallos se detectan a través de la instrumentación de a bordo. Normalmente, estos fallos no serán catastróficos, ya que los accionamientos de cada uno de los cilindros no están unidos mecánicamente entre sí. En caso de fallo, los cilindros pueden desconectarse independientemente y el sistema de bombeo puede continuar funcionando con un caudal reducido o un ciclo de trabajo más intenso. Esto es especialmente fácil si las bombas están selladas individualmente, como en la realización que se muestra en la figura 7.

El movimiento de cada cilindro se puede adaptar a cualquier perfil que se desee. Esto es una ventaja porque permite la eliminación del perfil de descarga sinusoidal que se experimentaría con extremos de potencia alternativos tradicionales. En cambio, el perfil de descarga se puede adaptar para proporcionar un flujo de salida y presión constantes y sin impulsos. Esto elimina eficazmente las pérdidas de carga de aceleración, cantidades significativas de vibración del sistema y la necesidad de la compleja y costosa infraestructura (por ej., una "cámara de equilibrio") que se utiliza tradicionalmente para compensar los impulsos de presión y las vibraciones.

El diseño de estos sistemas de accionamiento es tal que no dependen de la velocidad del accionamiento para mantener una lubricación adecuada (como es el caso de los extremos de potencia tradicionales). Esto significa que la bomba de la presente invención puede "bajarse" a caudales increíblemente bajos y proporcionar una relación de reducción casi infinita, algo que es inalcanzable con la tecnología tradicional. Por ejemplo, la velocidad operativa máxima del sistema de bombeo de la presente invención es preferentemente de unos 120 ciclos por minuto, aunque el sistema puede funcionar a una velocidad tan baja como 1 ciclo por minuto.

Extremos de fluido:

Como un extremo de fluido alternativo típico, el extremo de fluido de la bomba de la presente invención tiene un puerto de entrada, un puerto de salida, una válvula de retención de entrada, una válvula de retención de salida y un pistón, sin embargo, a diferencia de los diseños anteriores, este extremo de fluido no tiene empaquetadura.

En lugar de ser alimentados por una serie de complejos colectores, los extremos de fluido de la bomba de la presente invención están alimentados por una combinación de colector de admisión y de descarga que se integra directamente en el cuerpo de la bomba de la presente invención. No hay tubos, tuberías o accesorios en este diseño. Los extremos fríos se montan directamente en la estructura de la bomba a través del colector mencionado. El gas de ventilación fluye sin peligro en el espacio anular de la presente estructura sellada de la bomba. Las conexiones de proceso en la presente bomba se reducen significativamente en comparación con la tecnología tradicional, de docenas, a preferentemente menos de diez, y más preferentemente a solo tres o cuatro.

El principal modo de fallo en la tecnología tradicional es usualmente que la empaquetadura se desgasta, lo que permite que el fluido del proceso pase a la atmósfera. La empaquetadura se ha eliminado en el diseño de la presente bomba. Los extremos de fluido están alojados en la carcasa sellada de la bomba. Esta carcasa de la bomba se mantiene a la misma presión que el fluido que alimenta la bomba. Como tal, no hay presión diferencial del interior al exterior del extremo frío que fomente el flujo de fugas, por lo que no requiere empaquetadura. Al quitar la empaquetadura, el nuevo modo de fallo principal es el de los aros de pistón, elementos que normalmente tienen una vida significativamente más larga que la

empaquetadura. Para aumentar aún más la vida de los extremos de fluido, la velocidad máxima operativa de este sistema de bombeo es de aproximadamente 120 ciclos por minuto.

Para resumir, esta arquitectura general proporciona diversos beneficios, entre otros:

- 5 • Diseño sellado
- Extremos fríos sin empaquetadura que eliminan las piezas de desgaste primarias
- 10 • 120 ciclos por minuto como máximo para una máxima vida útil (más de 20 000 horas de tiempo medio entre revisiones)
- Relación de reducción casi infinita
- 15 • Accionamiento hidráulico o eléctrico
- Colectores de aspiración, descarga e hidráulicos integrados (si procede)
- Redundancia integrada
- 20 • Funcionamiento sin impulsos (no se requiere cámara de equilibrio)
- Vaporizador integrado de agua-glicol disponible

25 La presente memoria proporciona una bomba de alta presión típicamente para aplicaciones con sistemas de combustible a alta presión como los sistemas de combustible marítimos, gas industrial y energía alternativa. La bomba que se ejemplifica se diseñará con la intención de simplificar y reducir el tamaño con respecto a los diseños actuales, así como con el foco en el aumento de la vida útil del 200%-500%, una reducción significativa de los costes operativos y una mayor facilidad de mantenimiento. Las características de este diseño incluirán caudales de hasta 130 GPM, presiones de descarga de hasta 900-1000 bares, una empaquetadura totalmente contenida y sellada, y el accionamiento/control usando accionamiento lineal electromecánico o hidráulico. Normalmente se venderán en un conjunto de dos (2) unidades para una redundancia del 100%, no obstante, el diseño es tal que permite la operación continua de una sola unidad a capacidad reducida en caso de fallo de un cilindro.

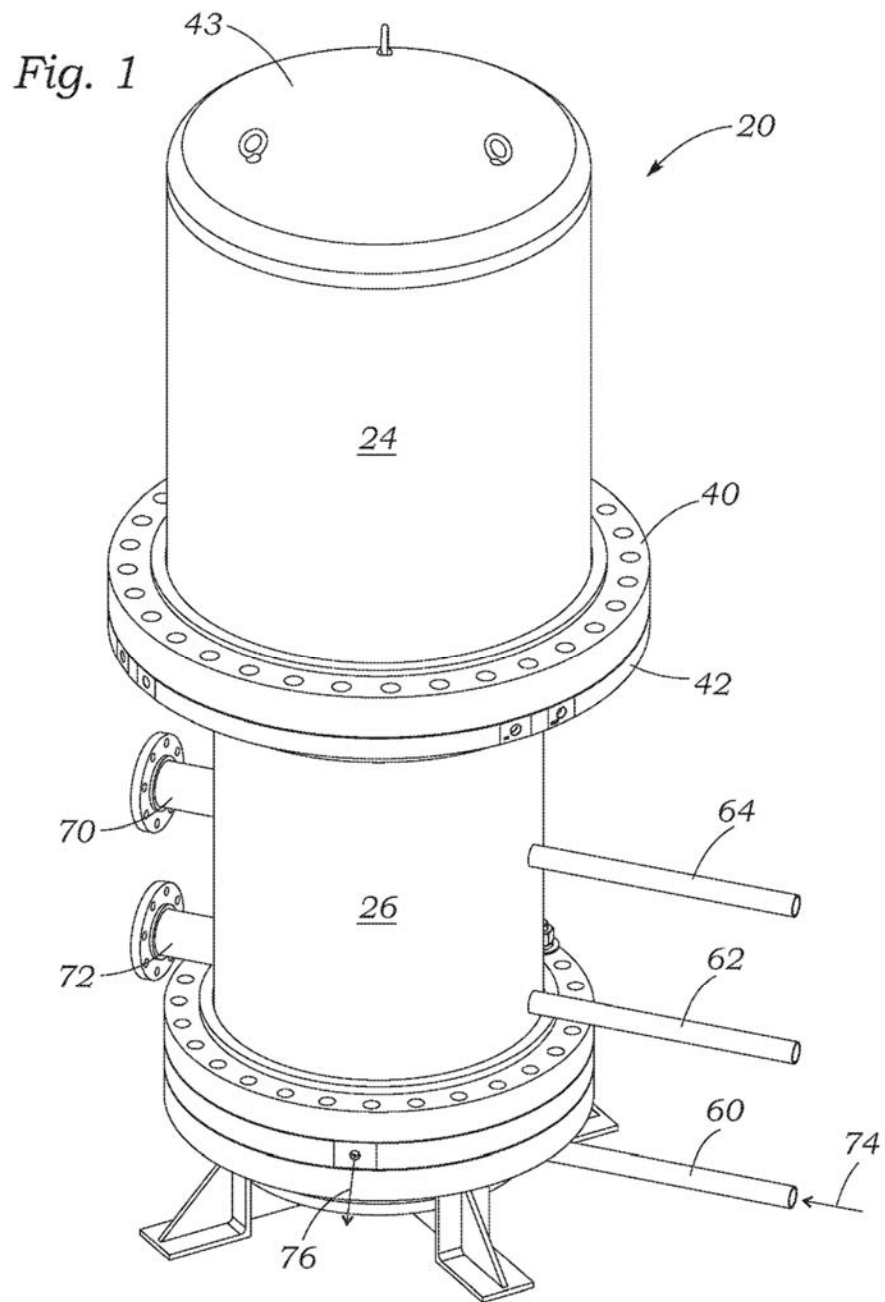
35 Comentarios finales

A lo largo de esta descripción, las realizaciones y ejemplos mostrados deben considerarse a modo de ejemplos más que de limitaciones del alcance de la invención, que está definida exclusivamente por las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema (20) para el bombeo de combustible criogénico a alta presión desde una fuente de combustible para proporcionar una salida uniforme y sin impulsos, que comprende:
- 10 una pluralidad de bombas lineales (22), incluyendo cada una de ellas en serie:
- i. un extremo de potencia superior y un extremo de fluido inferior, teniendo el extremo de potencia un sistema de accionamiento lineal que termina en un eje de transmisión (120) que tiene un movimiento alternativo lineal a lo largo de un eje;
- 15 ii. el sistema de accionamiento del extremo de potencia de cada bomba (22) que es controlable de forma independiente con un software contenido en un controlador electrónico multiejes, y cada sistema de accionamiento lineal es operable a una baja relación de reducción a una velocidad de salida de aproximadamente 1 ciclo por minuto;
- 20 iii. el extremo de fluido que tiene un pistón (94) acoplado al eje de transmisión (120) del extremo de potencia de manera que tiene un movimiento alternativo lineal dentro de un cilindro de fluido (100), teniendo el pistón (94) una cabeza (92) con una pluralidad de aros de pistón (98) distribuidos por la misma que proporcionan un contacto deslizante sellado con un lumen interior del cilindro de fluido (100);
- 25 iv. la ausencia de sellos de empaquetadura en el extremo de fluido inferior para reducir el desgaste y prolongar la vida útil;
- v. un depósito de entrada (52) para recibir y almacenar un combustible criogénico a alta presión procedente de la fuente de combustible;
- 30 vi. un paso de entrada (60) que conduce del depósito de entrada a un extremo inferior de cada cilindro de fluido (100) y a una comunicación valvular con un espacio de cabeza (90) abierto hacia y por debajo de la cabeza (92) del pistón (94) dentro de este, en el que el movimiento ascendente del pistón (94) crea un gradiente de presión negativa en el espacio de cabeza (90) suficiente para permitir que el combustible criogénico a alta presión entre en el espacio de cabeza (90), y el movimiento descendente del pistón (94) expulsa el combustible criogénico a alta presión a través de un paso de flujo inferior (96) y hacia un puerto de salida común (76) a todos los 5 cilindros de fluido (100); una carcasa sellada (24, 26) dispuesta alrededor de una o más de las bombas lineales (22), donde la carcasa está sellada para contener cualquiera de los 10 combustibles criogénicos de alta presión que se escapan del interior del cilindro de fluido (100); y en el que el funcionamiento del sistema incluye el accionamiento coordinado de las bombas separadas para obtener un perfil de presión de salida sin impulsos.
- 35 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que cada sistema de accionamiento del extremo de potencia comprende un actuador electromecánico (30) que tiene un actuador en forma de husillo de bolas giratorias alineado a lo largo del eje, y el sistema (20) incluye un sensor para monitorizar el movimiento de rotación del actuador y un sistema de control de circuito cerrado configurado para mantener los componentes de posición, velocidad y aceleración del eje de transmisión y del pistón en consecuencia.
- 40 3. El sistema de la reivindicación 1, en el que cada sistema de accionamiento del extremo de potencia comprende un cilindro hidráulico (32) por encima del eje de transmisión (120) cuyo movimiento ascendente y descendente se controla mediante una servoválvula electrónica.
- 45 4. El sistema de la reivindicación 3, que incluye además un transductor diferencial lineal variable (LVDT) montado en el cilindro hidráulico (32) que monitoriza la posición del pistón dentro del cilindro de fluido (100) y un sistema de control de circuito cerrado configurado para mantener los componentes de posición, velocidad y aceleración del eje de transmisión y del pistón en consecuencia.
- 50 5. El sistema de la reivindicación 1, en el que hay una única carcasa exterior (202) sellada alrededor de una pluralidad de bombas lineales (22).
- 55 6. El sistema de la reivindicación 5, que incluye además una placa colectora inferior común (46) en la que se monta cada una de las bombas lineales (22) y en la que se forman los pasos de flujo inferiores (96) de cada bomba lineal (22).
- 60 7. El sistema de la reivindicación 1, donde hay una carcasa exterior separada (202) sellada alrededor de cada una de la pluralidad de las bombas lineales (22), y que incluye además una placa colectora inferior común (206) en la que se monta cada una de las bombas lineales (22) y en la que se forman los pasos de flujo inferiores (96) de cada bomba lineal (22).

8. El sistema de la reivindicación 1, donde el depósito de entrada (52) que recibe y almacena el combustible criogénico a alta presión, está situado debajo de la pluralidad de bombas lineales (22), y el sistema (20) incluye una placa colectora (46) dispuesta encima del depósito de entrada (52) al que está acoplada la pluralidad de bombas lineales (22) y en la que se forman los pasos de flujo inferiores (96) de cada bomba lineal (22).
- 5
9. Método de bombeo de combustible criogénico a alta presión desde una fuente de combustible para proporcionar una salida uniforme y sin impulsos, que comprende:
- 10 provisión de un sistema de bombeo con una pluralidad de bombas lineales (22), cada una de las cuales incluye en serie un extremo de potencia superior y un extremo de fluido inferior, el extremo de potencia tiene un sistema de accionamiento lineal que termina en un eje de transmisión (120) que tiene un movimiento alternativo lineal a lo largo de un eje, y el sistema de accionamiento del extremo de potencia de cada bomba (22) es controlable de forma independiente mediante un software contenido en un controlador electrónico multiejes, el extremo de fluido inferior no tiene sellos de empaquetadura para reducir el desgaste y prolongar la vida útil; donde el extremo de fluido de cada bomba lineal (22) tiene un pistón (94) acoplado al eje de transmisión (120) del extremo de potencia, de manera que tiene un movimiento alternativo lineal dentro de un cilindro de fluido, y los cilindros de fluido (100) de la pluralidad de bombas lineales (22) están todos montados juntos y tienen pasos de flujo de salida (96) que conducen a un puerto de salida común (76); suministro combustible criogénico de una fuente de combustible a un paso de entrada (60) del cilindro de fluido (100) de cada una de la pluralidad de bombas lineales (22); activación del sistema de accionamiento para desplazar el eje de transmisión (120) y el pistón acoplado (94) de cada una de la pluralidad de bombas lineales (22) de modo que se introduzca el combustible criogénico en los respectivos cilindros de fluido y se expulse el combustible criogénico a través de los pasos de flujo de salida (96) hacia el puerto de salida común (76), y coordinar el accionamiento de las bombas lineales separadas (22) para obtener un perfil de presión de salida sin impulsos; y
- 15
- 20
- 25 provisión de una carcasa sellada alrededor de una o más de las bombas lineales (22), estando la carcasa sellada para contener cualquiera de los combustibles criogénicos a alta presión que se escapan del interior del cilindro de fluido (100).
10. El método de la reivindicación 9, donde cada sistema de accionamiento del extremo de potencia comprende un actuador electromecánico (30) que tiene un actuador en forma de husillo de bolas giratorias alineado a lo largo del eje, y el sistema incluye un sensor para monitorizar el movimiento de rotación del actuador y un sistema de control de circuito cerrado configurado para mantener los componentes de posición, velocidad y aceleración del eje de transmisión y del pistón en consecuencia, y que incluye el paso del accionamiento coordinado de la pluralidad de bombas lineales (22) para obtener una salida uniforme sin impulsos.
- 30
- 35 11. El método de la reivindicación 9, donde cada sistema de accionamiento del extremo de potencia comprende un cilindro hidráulico (32) por encima del eje de transmisión (120) cuyo movimiento ascendente y descendente se controla mediante una servoválvula electrónica.
- 40 12. El método de la reivindicación 9, donde el paso de proporcionar una carcasa sellada incluye el alojamiento de la pluralidad de las bombas lineales (22) en una sola carcasa (202).
- 45 13. El método de la reivindicación 9, donde el paso de proporcionar una carcasa sellada incluye el alojamiento de cada una de la pluralidad de las bombas lineales (22) en una carcasa separada (202), y que incluye además una placa colectora inferior común (206) donde se monta cada una de las bombas lineales (22) y en la que se forman los pasos de flujo inferiores (96) de cada bomba lineal.
- 50 14. El método de la reivindicación 9, donde el combustible criogénico es gas natural líquido almacenado a temperaturas inferiores a $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la carcasa sellada mantiene una presión interna que es aproximadamente la misma que la del gas natural líquido almacenado.
15. El método de la reivindicación 9, donde cada sistema de accionamiento lineal es operable a una velocidad operativa máxima de 120 ciclos por minuto, y puede operarse hasta 1 ciclo por minuto.



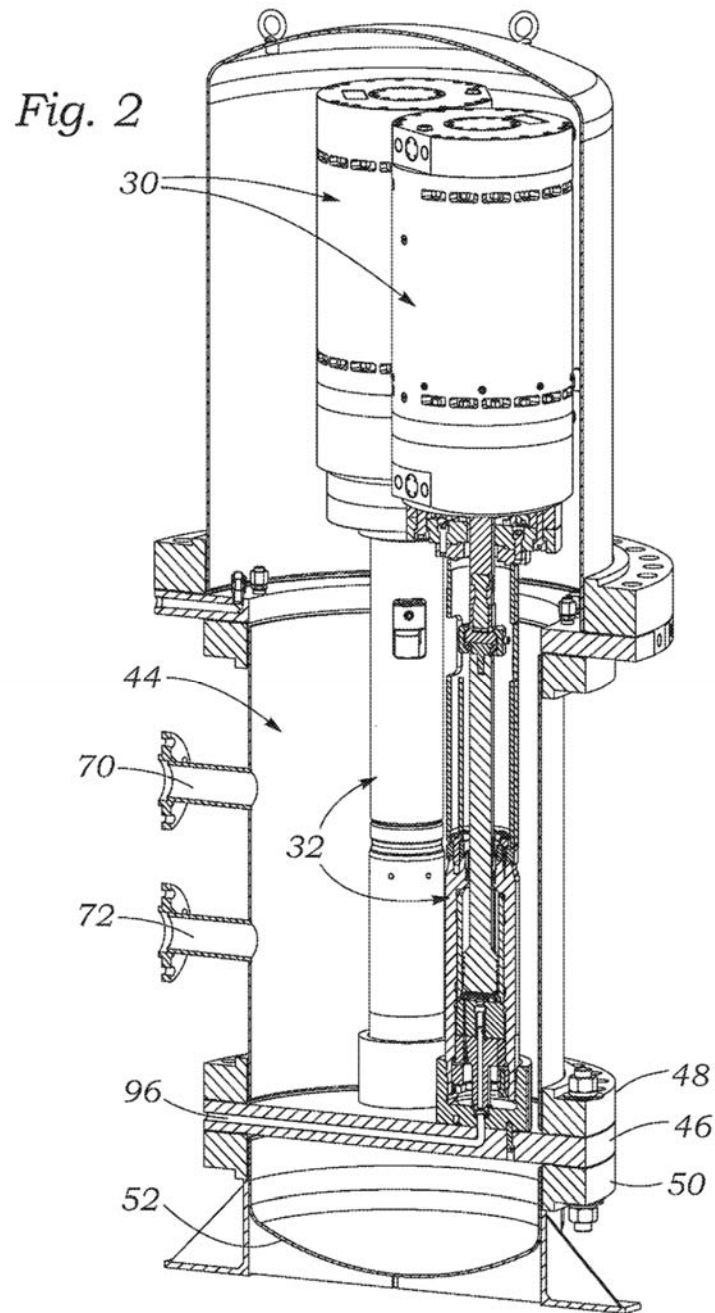


Fig. 3A

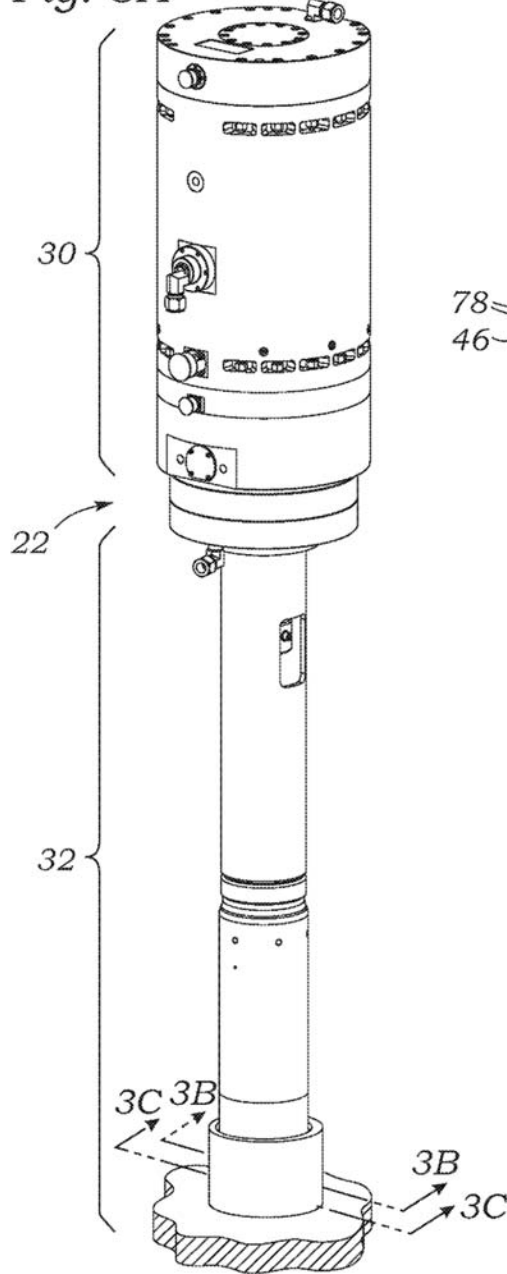


Fig. 3B

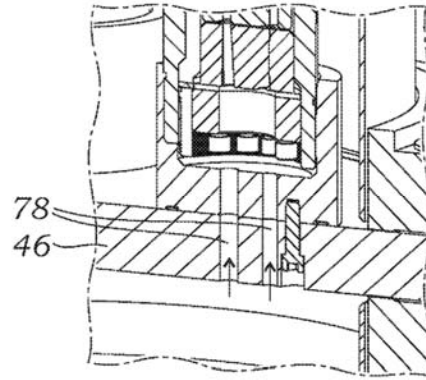


Fig. 3C

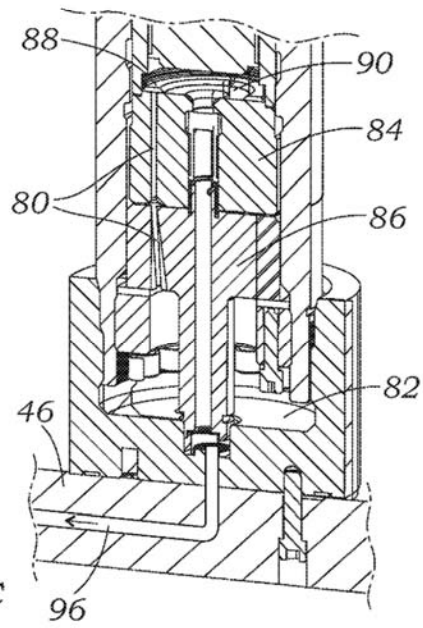


Fig. 4

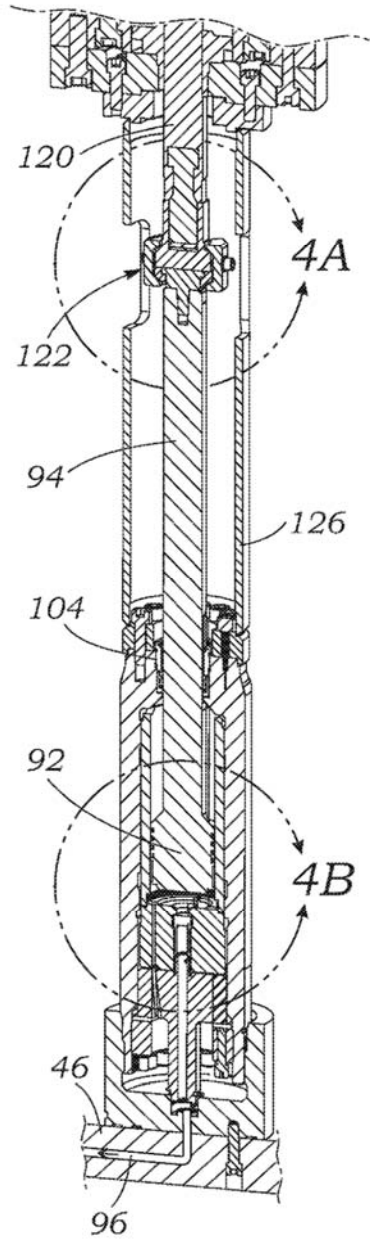


Fig. 4A

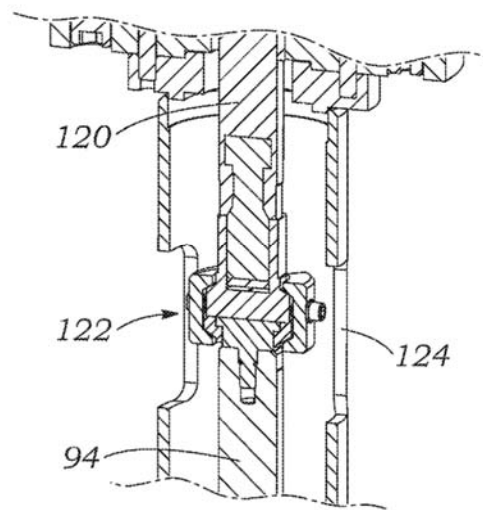
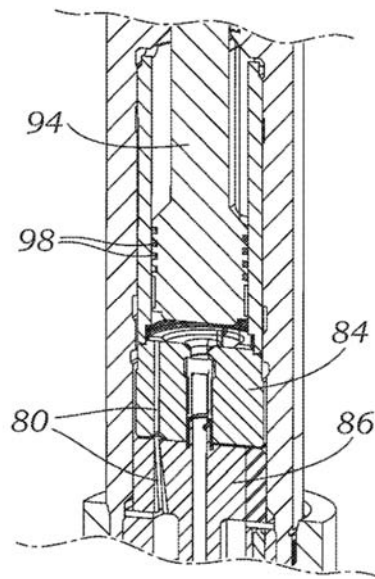
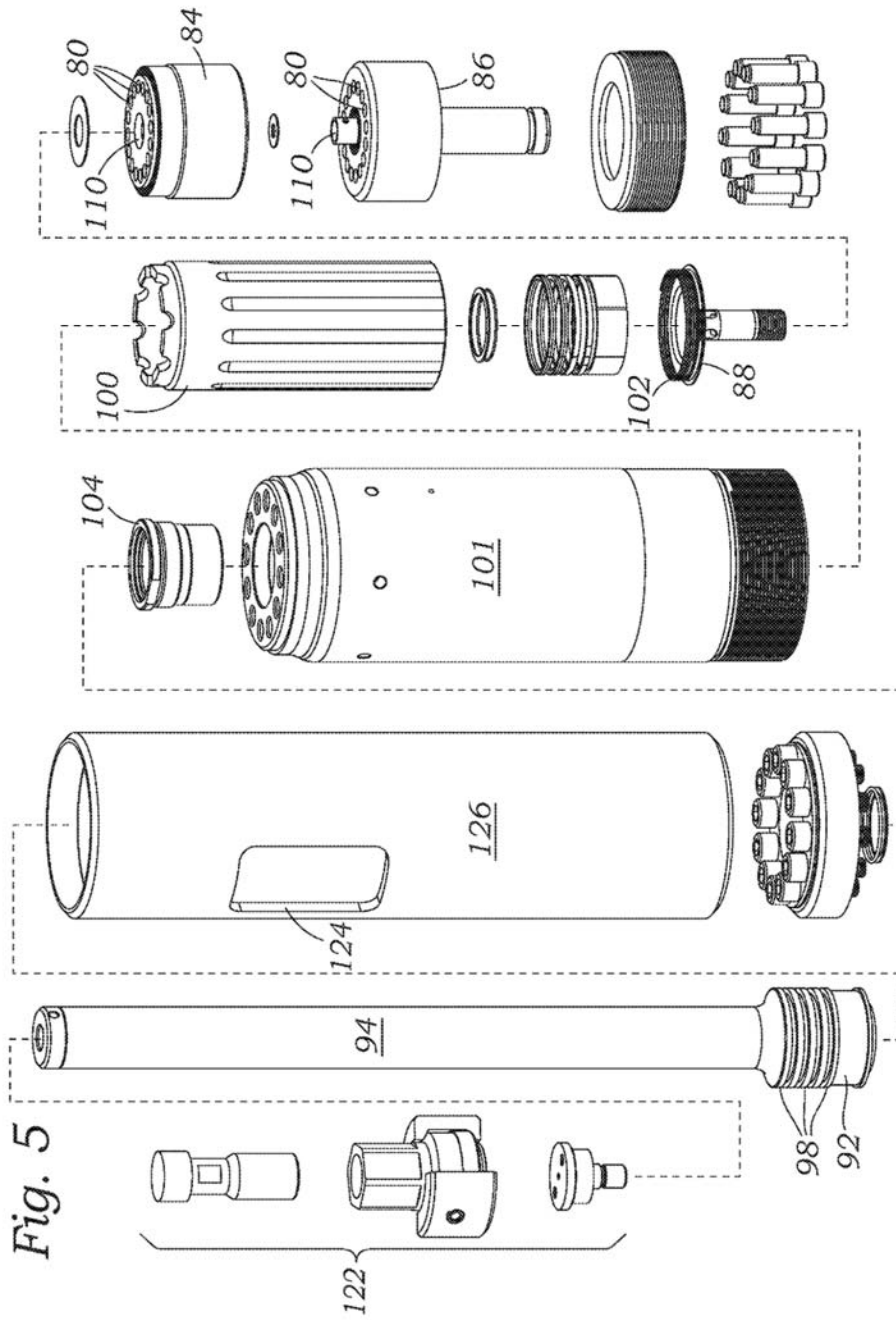


Fig. 4B





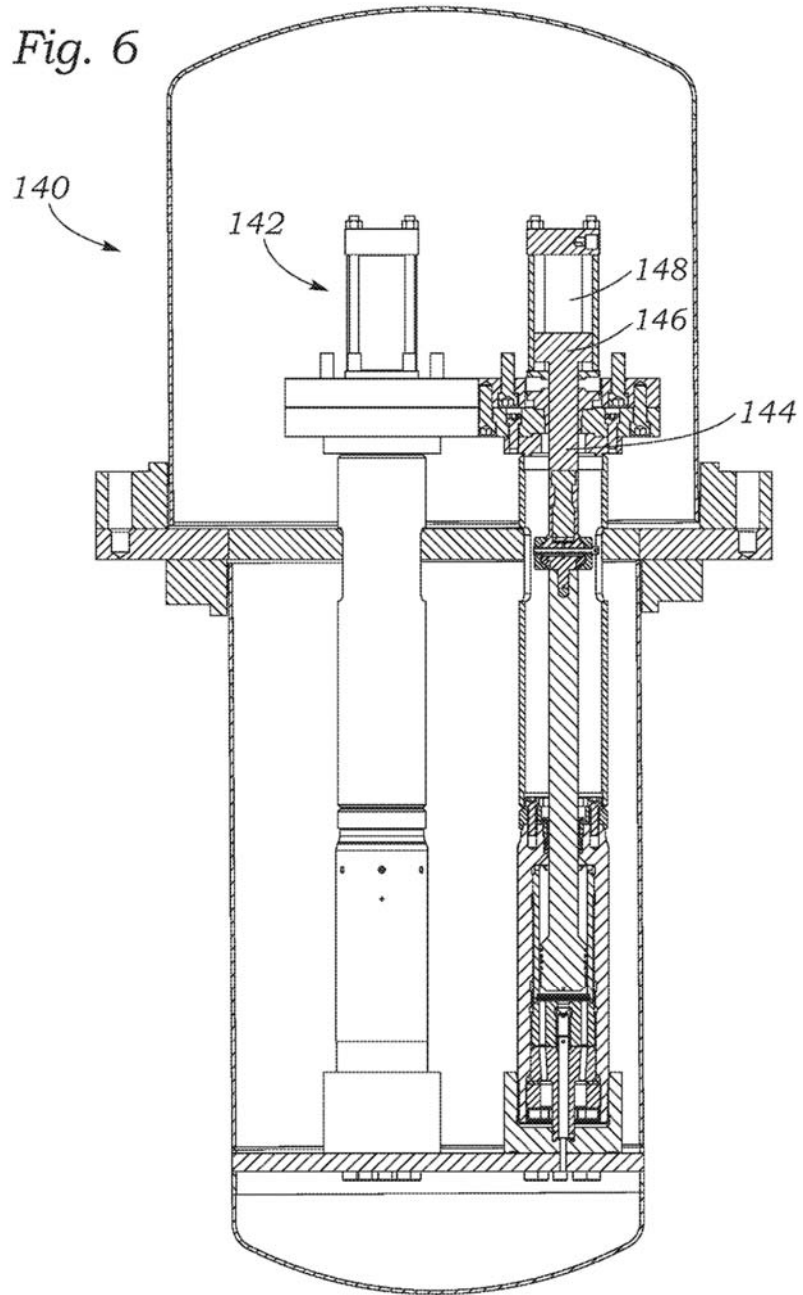


Fig. 7

