

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 909 184**

51 Int. Cl.:

F04D 19/02 (2006.01)

F04D 29/051 (2006.01)

F04D 29/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.08.2019 E 19194533 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.12.2021 EP 3617522**

54 Título: **Compresor de gas húmedo con equilibrio de empuje**

30 Prioridad:

31.08.2018 US 201862725597 P

09.08.2019 US 201916536547

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

05.05.2022

73 Titular/es:

ONESUBSEA IP UK LIMITED (100.0%)

100 New Bridge Street

London EC4V 6JA, GB

72 Inventor/es:

KJELLNES, HANS FREDRIK;

VALLAND, ÅSMUND;

ALMQVIST, JOAKIM;

BUCHER-JOHANNESSEN, THOMAS y

ASKEVOLD, MARIUS

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 909 184 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

Compresor de gas húmedo con equilibrio de empuje

5 ANTECEDENTES

Los turbocompresores convencionales suelen estar diseñados para comprimir un gas. Normalmente se componen de muchas etapas (impulsores giratorios y difusores estáticos) apilados en un eje flexible que gira a una velocidad relativamente alta. Los elementos mecánicos críticos tales como los cojinetes y los dispositivos de equilibrio de empuje, a menudo están expuestos al fluido del proceso. Cualquier impureza en el fluido del proceso tal como sólidos o líquidos, puede ser perjudicial tanto para el rendimiento termodinámico como mecánico del compresor. Cuando se espera que haya impurezas o líquido en la corriente del proceso, se pueden utilizar diferentes tipos de equipos auxiliares para limpiar o secar el gas del proceso aguas arriba del compresor.

Los intentos de modificar los turbocompresores convencionales para que sean denominados "tolerantes a los líquidos" a veces han tenido un éxito limitado y, en algunos casos, solo se pueden aceptar fracciones de volumen de líquido muy bajas. Sin embargo, incluso en estos casos, la presencia de líquido puede provocar un deterioro en el rendimiento termodinámico y mecánico. Los desafíos son aún mayores cuando se diseña un compresor de gas para su uso en un entorno submarino. En un intento de abordar al menos algunas de estas limitaciones, se han desarrollado compresores de rotación inversa que incluyen una primera pluralidad de impulsores que giran alrededor de un eje longitudinal en una primera dirección, y una segunda pluralidad de impulsores intercalados con la primera pluralidad y que giran alrededor del eje longitudinal en una segunda dirección.

El documento US 2451944 describe un compresor de flujo axial que tiene una pluralidad de etapas intercaladas consecutivas de álabes sustancialmente radiales relativamente giratorios que cooperan entre sí llevados por dos miembros generalmente cilíndricos configurados para girar en direcciones opuestas. Los dos miembros están dispuestos uno dentro del otro y tienen diferentes diámetros para definir un paso anual entre ellos a lo largo del cual un fluido se comprime o expande progresivamente. El documento US 9476427 describe un compresor de gas húmedo de rotación inversa que tiene filas alternas de impulsores, con cada fila sucesiva de impulsores montada en un cubo central o en un manguito exterior. No se colocan difusores estáticos entre las filas alternas de impulsores de rotación inversa, de manera que el diseño sea estructuralmente robusto, compacto y capaz de comprimir fluidos que contienen porciones significativas de fase líquida.

RESUMEN

La presente invención reside en un compresor de rotación inversa axial para comprimir un fluido de proceso como se define en la reivindicación 1. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones 2 a 5.

En un segundo aspecto, la presente invención reside en un procedimiento para comprimir un fluido de proceso como se define en la reivindicación 6.

Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones 7 a 9.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para una descripción detallada de las realizaciones de ejemplo, a continuación se hará referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1 es una vista esquemática de una realización de un conjunto de compresor de rotación inversa de acuerdo con los principios descritos en esta invención, esta realización es según la invención;

Las Figuras 2, 3 son vistas transversales laterales del conjunto de compresor de la Figura 1;

La Figura 4 es una vista en sección transversal lateral ampliada del conjunto de compresor de la Figura 1;

la Figura 5 es una vista en sección transversal en perspectiva de una realización de una carcasa interior del conjunto de compresor de la Figura 1 de acuerdo con los principios descritos en esta invención;

La Figura 6 es una vista en sección transversal lateral de la carcasa interior de la Figura 5;

La Figura 7 es una vista en sección transversal en perspectiva de una realización de una etapa final del conjunto de compresor de la Figura 1 de acuerdo con los principios descritos en esta invención;

Las Figuras 8, 9 son vistas en sección transversal laterales de la etapa final de la Figura 7;

La Figura 10 es una vista en sección transversal lateral de otra realización de un conjunto de compresor de rotación inversa de acuerdo con los principios descritos en esta invención, esta realización no es según la invención;

La Figura 11 es una vista en sección transversal lateral de otra realización de un conjunto de compresor de rotación inversa de acuerdo con los principios descritos en esta invención, esta realización tampoco es según la invención; y

La Figura 12 es un diagrama de flujo que representa una realización de un procedimiento para comprimir un fluido de proceso de acuerdo con los principios descritos en esta invención y se relaciona con un posible aspecto adicional de la invención.

5 DESCRIPCIÓN DETALLADA

En los dibujos y la descripción que figura a continuación, las partes similares se marcan típicamente en toda la memoria descriptiva y los dibujos con los mismos números de referencia. Las figuras de los dibujos no necesariamente son a escala. Ciertas características de las realizaciones descritas pueden mostrarse exageradas en escala o en forma algo esquemática y algunos detalles de elementos convencionales pueden no mostrarse en aras de la claridad y la concisión. La presente descripción es susceptible de realizaciones de diferentes formas. Las realizaciones específicas se describen en detalle y se muestran en los dibujos, con el entendimiento de que la presente descripción debe considerarse una ejemplificación de los principios de la descripción, y no pretende limitar la descripción a lo ilustrado y descrito en esta invención.

A menos que se especifique lo contrario, en el análisis que sigue y en las reivindicaciones, las expresiones “que incluye” y “que comprende” se usan en un sentido abierto y, por lo tanto, se debe interpretar que se refieren a “que incluye, pero no se limita a...”. Cualquier uso de cualquier forma de los términos “conectar”, “enganchar”, “acoplar”, “fijar” o cualquier otro término que describa una interacción entre elementos no pretende limitar la interacción a la interacción directa entre los elementos y también puede incluir interacción indirecta entre los elementos descritos. Las diversas características mencionadas anteriormente, así como otras funciones y características descritas con más detalle a continuación, serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica al leer la siguiente descripción detallada de las realizaciones y con referencia a los dibujos adjuntos.

Haciendo referencia a la figura 1, se muestra una realización según la invención de un conjunto de turbocompresor axial de rotación inversa 100. En la realización de la figura 1, el conjunto compresor 100 está configurado para procesar gases multifásicos, gas-líquido y húmedos en un entorno submarino. El conjunto de compresor 100 tiene un eje central o longitudinal 105 y generalmente incluye un motor primero o superior 102, un motor segundo o inferior 110, una carcasa exterior del compresor generalmente cilíndrica 120 posicionada entre los motores 102, 110, un conjunto de eje primero o superior 200 dispuesto de forma giratoria en la carcasa exterior 120, y un conjunto de eje segundo o inferior 300 también dispuesto de forma giratoria en la carcasa exterior 120. Los conjuntos de eje 200, 300 del conjunto de compresor 100 se extienden concéntricamente a través de la carcasa exterior 120. El conjunto de eje superior 200 está acoplado de forma giratoria con el motor superior 102 de manera que el motor superior 102 puede transmitir par y girar el conjunto de eje superior 200 dentro de la carcasa exterior 120, mientras que el conjunto de eje inferior 300 está acoplado de forma giratoria con el motor inferior 110 de modo que el motor inferior 110 puede transmitir par y girar el conjunto de eje inferior 300 dentro de la carcasa exterior 120.

En esta realización, la carcasa exterior 120 del conjunto de compresor tiene un extremo primero o superior 120A, un extremo segundo o inferior 120B opuesto al extremo superior 120A y un paso central 122 que se extiende entre los extremos 120A, 120B. Además, la carcasa exterior 120 incluye un puerto primero o de entrada 124 que se extiende radialmente entre el paso central 122 y el exterior de la carcasa exterior 120, y un puerto segundo o de salida 126 que se extiende radialmente entre el paso central 122 y el exterior de la carcasa exterior 120. En esta realización, el conjunto de compresor 100 incluye una carcasa interior del compresor generalmente cilíndrica 130 colocada en el paso central 122 de la carcasa exterior 120. La carcasa interior 130 incluye una pluralidad de entradas de fluido separadas circunferencialmente 132 próximas al extremo inferior de la carcasa interior 130 y una pluralidad de salidas de fluido separadas circunferencialmente 134 próximas al extremo superior de la carcasa interior 130. El conjunto de eje superior 200 y el conjunto de eje inferior 300 del conjunto de compresor 100 se extienden cada uno a través de un paso central de la carcasa interior 130. El conjunto de eje superior 200 incluye una pluralidad de álabes o impulsores 202 montados y dispuestos en el interior del mismo, mientras que el conjunto de eje inferior 300 incluye una pluralidad correspondiente de álabes o impulsores 302 montados en el exterior del mismo e intercalados con los impulsores 202 del conjunto de eje superior 200. En esta realización, los impulsores intercalados 202, 302 de los conjuntos de eje 200, 300, respectivamente, están dispuestos para engranarse a través de etapas alternas o filas de impulsores, con cada dos filas adyacentes de impulsores que giran en direcciones opuestas. Por lo tanto, cada fila de impulsores 202, 302 forma una etapa separada del conjunto de compresor 100. En lugar de depender de paletas guía o difusores entre las sucesivas etapas adyacentes, el fluido del proceso descargado de una etapa que gira en una dirección entra inmediatamente en la etapa que gira en la dirección opuesta y así sucesivamente a través de varias etapas sucesivas de rotación inversa del conjunto de compresor 100.

Durante la operación del conjunto de compresor 100, el conjunto de eje superior 200 y el conjunto de eje inferior 300 giran en sentido inverso alrededor del eje central 105 por los motores 102, 110, respectivamente. Un flujo de fluido de entrada (indicado por la flecha 125) de fluido de proceso a una presión de fluido de entrada fluye hacia el paso central 122 de la carcasa exterior 120 a través del puerto de entrada 124. El flujo de fluido del proceso fluye a continuación a través de las entradas de fluido 132 de la carcasa interior 130 y es empujado hacia arriba (indicado por las flechas 127) por la rotación inversa de los conjuntos de eje 200, 300. En particular, el motor superior 102 gira el conjunto de eje superior 200 en una primera dirección de rotación alrededor del eje central 105. La rotación del conjunto de eje superior 200 en la primera dirección de rotación hace que los impulsores 202 ejerzan una fuerza sobre el fluido del

proceso en la dirección ascendente 127, que es principalmente paralela al eje central 105. Además, el motor inferior 110 gira el conjunto de eje inferior 300 en una segunda dirección de rotación, opuesta a la primera dirección de rotación, alrededor del eje central 105. La rotación del conjunto de eje inferior hace que los impulsores 302 ejerzan una fuerza sobre el fluido del proceso en la misma dirección ascendente 127 que la fuerza impartida al fluido del proceso por los impulsores 202 del conjunto de eje superior 200. A medida que el fluido del proceso fluye hacia arriba, es presurizado por la acción de los impulsores de rotación inversa 202, 302 de los conjuntos de eje 200, 300, respectivamente, hasta que sale de la carcasa interior 130 a través de las salidas de fluido 134. Desde las salidas de fluido 134, el flujo de fluido de proceso sale del paso central 122 de la carcasa exterior 120 a través del puerto de salida 126 como un flujo de fluido de salida (indicado por la flecha 129) a una presión de fluido de salida que es mayor que la presión de entrada.

Con referencia a las Figuras 1-6, las vistas en sección transversal de la carcasa exterior 120, la carcasa interior 130 y los conjuntos de eje 200, 300 del conjunto de compresor se muestran con mayor detalle en las Figuras 2-4 (la vista en sección transversal lateral de la Figura 3 está girada aproximadamente 90° desde la vista en sección transversal lateral que se muestra en la Figura 2), y la carcasa interior 130 del conjunto de compresor 100 se muestra con mayor detalle en las Figuras 5, 6. Como se muestra particularmente en las Figuras 5, 6, la carcasa interior 130 del conjunto de compresor 100 incluye un paso u orificio central 136 definido por una superficie interior generalmente cilíndrica 138 y una superficie exterior generalmente cilíndrica 140. Las entradas de fluido 132 y las salidas de fluido 134 de la carcasa interior 130 descritas anteriormente se extienden radialmente entre la superficie interior 138 y la superficie exterior 140. En la realización de las Figuras 1-6, la superficie interior 138 de la carcasa interior 130 incluye un reborde anular 142, donde una pluralidad de pasos de equilibrio de presión espaciados circunferencialmente 144 se extienden entre el reborde 142 y la superficie exterior 140 de la carcasa interior 130. Los pasos de equilibrio de presión 144 de la carcasa interior 130 están en comunicación fluida con una pluralidad de pasos de equilibrio de presión espaciados circunferencialmente 128 (que se muestran en la figura 4) formados en la carcasa exterior 120. Cada paso de equilibrio de presión 128 de la carcasa exterior 120 se extiende hasta el exterior del conjunto de compresor 100. Como se discutirá más adelante en esta invención, en esta realización, un conducto de equilibrio de presión 148 (mostrado en la Figura 1) proporciona una comunicación fluida entre los pasos de equilibrio de presión 144, 128 de las carcasas 130, 120, respectivamente, y el flujo de fluido de entrada 125.

En esta realización, el conjunto de eje superior 200 del conjunto de compresor 100 incluye generalmente un eje interior cilíndrico 204 acoplado a un eje exterior anular 210. El eje exterior 210 incluye un tambor generalmente cilíndrico 212 que tiene una superficie interior en la que se disponen los impulsores 202 del conjunto de eje superior 200, y una etapa superior o final 220 acoplada a un extremo superior del tambor 212. El eje interior 204 se extiende desde un extremo superior acoplado al motor superior 102 hasta un extremo inferior acoplado a la etapa final 220 del eje exterior 210 en una interfaz anular 203 formada entre ellos. En esta realización, el extremo inferior del eje interior 204 está acoplado a la etapa final 220 del eje exterior 210 (por ejemplo, mediante soldadura, sujeciones, etc.); sin embargo, en otras realizaciones, el eje interior 204 y el eje exterior 210 del conjunto de eje superior 200 pueden comprender un solo miembro formado monolíticamente.

Haciendo referencia a las Figuras 1-9, la etapa final 220 del eje exterior 210 del conjunto de eje superior 200 se muestra con mayor detalle en las Figuras 7-9. En la realización de las Figuras 1-9, la etapa final 220 tiene un extremo primero o superior 220A, un extremo segundo o inferior 220B opuesto al extremo superior 220A, un miembro cilíndrico interior 222 que se extiende desde el extremo superior 220A y un miembro cilíndrico exterior 240 que se extiende desde el extremo inferior 220B.

El elemento cilíndrico interior 222 de la etapa final 220 incluye una superficie interior generalmente cilíndrica 224 y una superficie exterior generalmente cilíndrica 226. La superficie interior 224 del miembro cilíndrico interior 222 incluye un reborde anular 228 que incluye una pluralidad de pasos de equilibrio de presión espaciados circunferencialmente 230. En particular, cada paso de equilibrio de presión 230 se extiende desde el reborde 228 hasta una apertura 231 separada del reborde 228 y formada en la superficie interior 224 del miembro cilíndrico interior 222. Como se discutirá más adelante en esta invención, los pasos de equilibrio de presión 230 del miembro cilíndrico interior 222 están en comunicación fluida con los pasos de equilibrio de presión 144, 128 de las carcasas 130, 120, respectivamente.

La superficie exterior 226 del miembro cilíndrico interior 222 incluye un reborde anular o puente 232 que conecta el miembro cilíndrico interior 222 con un extremo superior del miembro cilíndrico exterior 240 de la etapa final 220. El puente 232 contiene los miembros cilíndricos 222, 240 de la etapa final 220 y, por lo tanto, la etapa final 220 comprende una etapa final cerrada 220. En esta realización, la superficie exterior 226 del elemento cilíndrico interior 222 incluye un conector 234 para acoplarse con un impulsor de etapa final 236 (mostrado en la Figura 4) del eje exterior 210 que, en aras de la claridad, está oculto en las Figuras 5-7. Aunque en esta realización, el impulsor de etapa final 236 está acoplado al miembro cilíndrico interior 222 a través del conector 234, en otras realizaciones, el impulsor de etapa final 236 se puede formar monolíticamente con el miembro cilíndrico interior 222.

El miembro cilíndrico exterior 240 de la etapa final 220 incluye una pluralidad de puertos radiales espaciados circunferencialmente 244 próximos a un extremo superior del miembro cilíndrico exterior 240 y una interfaz anular 246 configurada para acoplarse a un extremo superior del tambor 212 del eje exterior 210. Dado que la etapa final 220 comprende una etapa final cerrada 220, el elemento cilíndrico exterior 240 incluye puertos 244 para dirigir el flujo de fluido de salida 129 hacia las salidas de fluido 134 del cilindro interior 130. En esta realización, se forma un canal

anular 248 entre el miembro cilíndrico interior 222 y el miembro cilíndrico exterior 240 de la etapa final 220. Durante el funcionamiento del conjunto de compresor 100, el flujo de fluido de salida 129 mostrado en la figura 1 pasa a través del canal anular 248 y fluye a través de los puertos radiales 244 de la etapa final 220 antes de fluir a través de las salidas de fluido 134 de la carcasa interior 130 y salir del conjunto de compresor 100 a través del puerto de salida 126 de la carcasa exterior 120.

Como se muestra particularmente en la Figura 4, el conjunto de compresor 100 incluye un cojinete de empuje primero o superior 400 que se posiciona en el paso central 136 de la carcasa interior 130 y se acopla con una superficie exterior cilíndrica del eje interior 204 del conjunto de eje superior 200 para absorber cargas de empuje dirigidas axialmente aplicadas al conjunto de eje superior 200. Además, el conjunto de compresor 100 incluye un cojinete radial primero o superior 402 que se acopla a la superficie exterior del cojinete de empuje superior proximal 400 del eje interior 204 para soportar la rotación relativa entre el eje interior 204 y la carcasa interior 130. En esta realización, una pluralidad de pasos de fluido de barrera se extienden a través del eje interior 202 del conjunto de eje superior 200 hasta un extremo inferior del mismo. Como se describirá más adelante en esta invención, los pasos de fluido de barrera del eje interior 204 están en comunicación fluida con un sistema de fluido de barrera 405 del conjunto de compresor 100 configurado para suministrar un fluido de barrera presurizado (a través, por ejemplo, de una bomba de fluido de barrera y un controlador asociado) que es distinto del fluido de proceso a los componentes del conjunto de compresor 100, incluido un conjunto de sello de fluido de barrera primero o superior 410 posicionado radialmente entre el eje interior 204 y el miembro cilíndrico interior 222 de la etapa final 220 del eje exterior 210. El conjunto de sello de fluido de barrera superior 410 ayuda a garantizar que el fluido dispuesto en los pasos de equilibrio de presión 128, 144 y 230 (que en conjunto comprenden un circuito de equilibrio de presión 150 del conjunto de compresor 100) esté aislado de otras porciones del conjunto de compresor 100.

Como se muestra particularmente en las Figuras 2-4, en esta realización, el conjunto de eje inferior 300 del conjunto de compresor 100 incluye generalmente un eje interior generalmente cilíndrico 310 y un eje exterior anular o tambor 340 dispuesto alrededor y acoplado a una superficie exterior del eje interior 310. El tambor 340 incluye una superficie exterior sobre la que están dispuestos los impulsores 302 del conjunto de eje inferior 300. Aunque en esta realización el conjunto de eje inferior 300 comprende un eje interior 310 y un tambor 340 distintos, en otras realizaciones, el eje interior 310 y el tambor 340 pueden comprender un solo miembro formado monolíticamente.

En esta realización, un extremo superior del eje interior 310 del conjunto de eje inferior 300 incluye una pluralidad de pasos de fluido de barrera que están en comunicación fluida con los pasos de fluido de barrera del conjunto de eje superior 200. Un cojinete anular de rotación inversa está situado entre el eje interior 310 del conjunto de eje inferior 300 y el eje interior 204 del conjunto de eje superior 200 para permitir la rotación inversa entre ellos. Los conductos de fluido de barrera del conjunto de eje inferior 300 están configurados para suministrar fluido de barrera del sistema de fluido de barrera 405 a un conjunto de sello de fluido de barrera segundo o intermedio 412 que comprende un sello de rotación inversa configurado para sellar la interfaz anular formada entre el eje interior 310 del conjunto de eje inferior 300 y el miembro cilíndrico interior 222 de la etapa final 220 del conjunto de eje superior 200. Al igual que el conjunto de sello de fluido de barrera superior 410 del sistema de fluido de barrera 405, el conjunto de sello de fluido de barrera intermedio 412 ayuda a garantizar que el fluido dispuesto en el circuito de equilibrio de presión 150 esté aislado de otras porciones del conjunto de compresor 100.

El conjunto de compresor 100 incluye además un segundo cojinete de empuje o inferior 403 posicionado en el paso central 122 de la carcasa exterior 120 que se acopla a una superficie exterior cilíndrica del eje interior 310 del conjunto de eje inferior 300 para absorber las cargas de empuje dirigidas axialmente aplicadas al conjunto de eje inferior 300. En esta realización, el conjunto de compresor 100 incluye además un cojinete radial segundo o intermedio 404 y un cojinete radial tercero o inferior 406, cada uno posicionado en el paso central 136 de la carcasa interior 130. El cojinete radial intermedio 404 se acopla a la superficie exterior del eje exterior 210 del conjunto de eje superior 200 próximo a un extremo inferior del mismo para soportar la rotación relativa entre el eje exterior 210 y la carcasa interior 130. El cojinete radial inferior 406 se acopla a una superficie exterior del eje interior 310 del conjunto de eje inferior 300 para soportar la rotación relativa entre el eje interior 310 y la carcasa interior 130.

En esta realización, el sistema de fluido de barrera 405 del conjunto de compresor 100 incluye un tercer o intermedio conjunto de sello de fluido de barrera 414 configurado para sellar la interfaz anular formada entre el eje interior 310 del conjunto de eje inferior 300 y el eje exterior 210 del conjunto de eje superior 200. El conjunto de sello de fluido de barrera intermedio 414 comprende un sello de rotación inversa y se alimenta con fluido de barrera presurizado a través de los pasos de fluido de barrera formados en el eje interior 310. El sistema de fluido de barrera 405 incluye además un cuarto o inferior conjunto de sello de fluido de barrera 416 que está configurado para sellar la interfaz anular formada entre un extremo inferior del eje exterior 210 del conjunto de eje superior 200 y la superficie interior 138 de la carcasa interior 130. El conjunto de sello de fluido de barrera inferior 416 es suministrado con fluido de barrera del sistema de fluido de barrera 405 a través de pasos formados en la carcasa interior 130 (no mostrada en las Figuras 2-4).

Como se muestra particularmente en la Figura 4, el conjunto de compresor 100 incluye un conjunto de sello giratorio superior o primero anular 430 posicionado entre la superficie interior 138 de la carcasa interior 130 y la etapa final 220. En particular, el conjunto de sello giratorio superior 430 se acopla de forma sellada con la superficie exterior 226 del miembro cilíndrico interior 222 de la etapa final 220 mientras permite la rotación relativa entre la etapa final 220 y el

cilindro interior 130. El conjunto de compresor 100 incluye adicionalmente un segundo conjunto de sello giratorio anular o inferior 434 posicionado entre la superficie interior 138 de la carcasa interior 130 y la etapa final 220. El conjunto de sello giratorio inferior 434 acopla herméticamente la superficie exterior 242 del miembro cilíndrico exterior 240 de la etapa final 220 al mismo tiempo que permite la rotación relativa entre la etapa final 220 y el cilindro interior 130. Además, en esta realización, el conjunto de compresor 100 incluye un conjunto de sello anular de rotación inversa 438 posicionado radialmente entre la etapa final 220 del conjunto de eje superior 200 y el conjunto de eje inferior 300. En particular, el conjunto de sello de rotación inversa 438 se acopla herméticamente con la superficie exterior 226 del miembro cilíndrico interior 222 de la etapa final 220 y una superficie interior generalmente cilíndrica 342 del tambor 340 del conjunto de eje inferior 300.

El acoplamiento de sellado entre la etapa final 220 y el tambor 340 del conjunto de eje inferior 300 proporcionado por el conjunto de sello de rotación inversa 438 forma una cámara de equilibrio de presión anular 238 que está en comunicación fluida con los pasos de equilibrio de presión 230 de la primera etapa 220, y por lo tanto comprenden una porción del circuito de equilibrio de presión 150 descrito anteriormente. En particular, la cámara de equilibrio de presión 238 se extiende radialmente entre la superficie interior 342 del tambor 340 del conjunto de eje inferior 300 y una superficie exterior del eje interior 310 del conjunto de eje inferior 300.

Como se describió anteriormente, el circuito de equilibrio de presión 150 del conjunto de compresor 100 está en comunicación fluida con el flujo de fluido de entrada 125 a través del conducto de equilibrio de presión 148 y, por lo tanto, la presión del fluido dentro de la cámara de equilibrio de presión 238, así como los pasos de equilibrio de presión (p. ej. , pasos 128, 144, 230) del circuito de equilibrio de presión 150 es sustancialmente igual a la presión de entrada del flujo de fluido de entrada 125, siendo la presión del fluido de entrada del flujo de fluido de entrada 125 que se introduce en la carcasa exterior 120 sustancialmente menor que la presión del fluido de salida del flujo de fluido de salida 129 que sale de la carcasa exterior 120. La presión del fluido de entrada dispuesta en el circuito de equilibrio de presión 150 proporciona una carga de empuje contra porciones del conjunto de eje inferior 300 en una segunda dirección o descendente (generalmente opuesta al recorrido ascendente axial del flujo de fluido 127). Como se muestra particularmente en la Figura 4, la porción del conjunto de eje inferior 300 expuesta a la presión del fluido de entrada del circuito de equilibrio de presión 150 comprende un área de superficie circular interior proyectada axialmente 350 definida por un diámetro 352 que es igual al diámetro del conjunto de sello de rotación inversa 438. Durante el funcionamiento del conjunto de compresor 100, una porción del flujo de fluido de salida 129 que sale de la etapa final 220 puede purgarse o filtrarse a través del sello de rotación inversa 438 y hacia la cámara de equilibrio de presión 238 del circuito de equilibrio de presión 150.

En esta realización, el circuito de equilibrio de presión 150 está configurado para recircular cualquier fluido de salida purgado en la cámara de equilibrio de presión 238 hacia el flujo de fluido de entrada 125 a través del conducto de equilibrio de presión 148, proporcionando así una salida para el fluido de salida de alta presión. Dado que la presión del fluido de entrada aplica una fuerza de presión contra el conjunto de eje inferior 300 en la dirección ascendente 127, la fuerza de presión descendente aplicada al área de la superficie interior proyectada axialmente 350 del conjunto de eje inferior 300 por la presión del fluido de entrada no produce una carga de empuje neta en el conjunto de eje inferior 300. En otras palabras, la carga de empuje descendente aplicada al área de superficie interior proyectada axialmente 350 del conjunto de eje inferior 300 se equilibra con la carga de empuje ascendente aplicada a un área de superficie interior proyectada axialmente correspondiente ubicada cerca de un extremo inferior del conjunto de eje inferior 300. De esta manera, el conjunto de eje inferior 300 del conjunto de compresor 100 comprende un conjunto de eje inferior de empuje equilibrado 300.

En particular, sin el acoplamiento de sellado proporcionado por el conjunto de sello de rotación inversa 438, el área de la superficie interior proyectada axialmente 350 del conjunto de eje inferior 300 estaría expuesta a la presión del fluido de salida del flujo de fluido de salida 129 que sale de la etapa final 220 del conjunto de eje superior 200 y, por lo tanto, las cargas de empuje impartidas al conjunto de eje inferior 300 aumentarían. Por lo tanto, al exponer el área de la superficie interior proyectada axialmente 350 del conjunto de eje inferior 300 a la presión del fluido de entrada en lugar de la mayor presión del fluido de salida, el conjunto de sello de rotación inversa 438 reduce la carga de empuje total impartida al conjunto de eje inferior 300 en la dirección descendente por la acción de los impulsores de rotación inversa 202, 302 de los conjuntos de eje 200, 300, respectivamente. Al reducir la cantidad de carga de empuje impartida al conjunto de eje inferior 300, la presión diferencial entre el flujo de fluido de salida 129 y el flujo de fluido de entrada 125 logrado por el conjunto de compresor 100 puede aumentar sin poner en peligro la integridad estructural del conjunto de eje inferior 300. Por lo tanto, el sello de rotación inversa 438 está configurado para maximizar la presión diferencial alcanzable entre los flujos de fluido 129, 125, aumentando así la eficiencia del conjunto de compresor 100.

En esta realización, mientras que la carga de empuje descendente aplicada al conjunto de eje inferior 300 se reduce por la acción del circuito de equilibrio de presión 150 como se describió anteriormente, se aplica una carga de empuje dirigida axialmente neta reducida en la dirección descendente al conjunto de eje inferior 300 al conjunto de eje inferior 300 para evitar que el conjunto de eje inferior 300 flote o vibre dentro de la carcasa exterior 120 durante el funcionamiento del conjunto de compresor 100. En particular, la carga neta de empuje descendente aplicada al conjunto de eje inferior 300 corresponde a un área de superficie proyectada axialmente exterior anular del conjunto de eje inferior 300 definida por un radio exterior 356 que se extiende entre el conjunto de sello de rotación inversa 438 y una superficie cilíndrica exterior del tambor 340 del conjunto de eje inferior 300. Por lo tanto, la cantidad de carga de

empuje descendente impartida al conjunto de eje inferior 300 se puede adaptar según se desee ajustando el tamaño del radio exterior 356.

En esta realización, el conjunto de compresor 100 también está configurado para aumentar la presión diferencial máxima entre los flujos de fluido 125, 129 que puede lograrse de manera segura mediante el conjunto de compresor 100 al distribuir las cargas de empuje en la etapa final 220 del conjunto de eje superior 200. En particular, las cargas de par y empuje aplicadas al impulsor de la etapa final 236 pueden transferirse al miembro cilíndrico interior 222 de la etapa final 220 a través de la conexión formada entre ellos a través del conector 234. Las cargas transferidas desde el impulsor de la etapa final 236 al miembro cilíndrico interior 222 de la etapa final 220 pueden distribuirse al miembro cilíndrico exterior 240 a través del puente anular 232 que acopla el miembro cilíndrico exterior 240 de la etapa final 220 con el miembro cilíndrico interior 222. De esta manera, las cargas de empuje aplicadas a la etapa final 220 se pueden compartir o distribuir entre los miembros cilíndricos 222, 240, aumentando así la cantidad de cargas de empuje que se pueden aplicar de manera segura a la etapa final 220 sin dañar la etapa final 220.

Además, mientras que un extremo radialmente interior del impulsor de etapa final 236 está conectado al miembro cilíndrico interior 222 de la etapa final 220, en esta realización, un extremo radialmente exterior del impulsor de etapa final 236 no está conectado al miembro cilíndrico exterior 240. Por lo tanto, se permite que el impulsor de etapa final 236 se flexione en relación con el miembro cilíndrico exterior 240 y el impulsor de etapa final 236, que tiene un área de sección transversal relativamente delgada en relación con los miembros cilíndricos 222, 240, está sustancialmente aislado de las cargas de empuje aplicadas al miembro cilíndrico exterior 240 de la etapa final 220. De esta manera, el impulsor de etapa final 236 puede aislarse al menos parcialmente del par, las cargas centrífugas y las cargas de empuje, protegiendo al impulsor de etapa final 236 de daños durante la operación del conjunto de compresor 100. Aunque en esta realización el impulsor de etapa final 236 no está conectado al miembro cilíndrico exterior 240 de la etapa final 220, en otras realizaciones, el impulsor de etapa final 236 puede estar conectado tanto con el miembro cilíndrico interior 222 como con el miembro cilíndrico exterior 240 de la etapa final 220. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, los miembros cilíndricos 222, 240 y el impulsor de etapa final 236 pueden comprender un único miembro formado monolíticamente.

Más allá de reducir la carga de empuje aplicada al conjunto de eje inferior 300, al exponer el área de la superficie interior proyectada axialmente 350 del conjunto de eje inferior 300 a la presión del fluido de entrada, el conducto de equilibrio de presión 150 del conjunto de compresor 100 está configurado simplemente para la configuración del fluido de barrera sistema 405, reduciendo así el tamaño, peso, coste y/o complejidad del conjunto de compresor 100. En particular, el sistema de fluido de barrera 405 está configurado para suministrar fluido de barrera a cada conjunto de sello de fluido de barrera 410, 412, 414 y 416 a una presión que es ligeramente superior a la presión del fluido a la que cada conjunto de sello de fluido de barrera 410, 412, 414, y 416 queda expuesta de tal manera que cualquier fuga a través de los conjuntos de sello de fluido de barrera 410, 412, 414 y/o 416 comprende la fuga de fluido de barrera hacia el flujo de fluido de proceso (es decir, los flujos de fluido 125, 127 y 129) en lugar de la fuga de fluido de proceso hacia el sistema de fluido de barrera 405.

En esta realización, el conjunto de sello de fluido de barrera intermedia 414 y el conjunto de sello de fluido de barrera inferior 416, cada uno posicionado cerca de un extremo inferior de la carcasa interior 130 donde el flujo de fluido de entrada 125 entra en las entradas de fluido 132 de la carcasa interior 130, están expuestos a la presión del fluido de entrada. Además, debido al suministro de presión de fluido de entrada a través del circuito de equilibrio de presión 150 y el acoplamiento de sellado proporcionado por el conjunto de sello de rotación inversa 438, el conjunto de sello de fluido de barrera superior 410 y el conjunto de sello de fluido de barrera intermedio 412 también están expuestos a la presión del fluido de entrada. Por lo tanto, cada uno de los conjuntos de sello de fluido de barrera 410, 412, 414 y 416 del sistema de fluido de barrera 405 está expuesto a la presión del fluido de entrada. Dado que los conjuntos de sello de fluido de barrera 410, 412, 414 y 416 están cada uno expuesto sustancialmente a la misma presión de fluido, el fluido de barrera suministrado a cada uno de los conjuntos de sello de fluido de barrera 410, 412, 414 y 416 puede disponerse a una sola presión que es ligeramente mayor que la presión del fluido de entrada del conjunto de compresor 100. Por lo tanto, en lugar de necesitar suministrar fluido de barrera a presiones variables (lo que requiere múltiples bombas de fluido de barrera, controladores, etc.), el sistema de fluido de barrera 405 solo necesita suministrar un fluido de barrera a una sola presión para cada uno de los conjuntos de sello de fluido de barrera 410, 412, 414 y 416, simplificando así la configuración del sistema de fluido de barrera 405 del conjunto de compresor 100.

Según la invención, la realización que se muestra en las Figuras 1-9 incluye un conjunto de eje superior 200 que comprende una etapa final cerrada 220. Otras realizaciones de conjuntos de compresor que incluyen un conjunto de eje inferior de empuje equilibrado pueden emplear una etapa final abierta 2. Tales realizaciones no son según la invención. Por ejemplo, con referencia a la Figura 10, se muestra una realización de un conjunto de compresor 500 que incluye un conjunto de eje superior 530 que tiene una etapa final abierta 540. El conjunto de compresor 500 de la Figura 10 incluye características en común con el conjunto de compresor 100 que se muestra en las Figuras 1-9, y las características compartidas están etiquetadas de manera similar. En particular, en la realización de la Figura 10, el conjunto de compresor 500 tiene un eje central o longitudinal 505 y generalmente incluye una carcasa exterior 502, una carcasa interior 510 recibida en un paso central de la carcasa exterior 502, un conjunto de eje primero o superior 530 y un conjunto de eje segundo o inferior 300' de configuración similar al conjunto de eje inferior 300 del conjunto

de compresor 100 y configurado para rotar de manera inversa el conjunto de eje superior relativo 530 del conjunto de compresor 500.

El conjunto de eje superior 530 del conjunto de compresor 500 generalmente incluye el eje interior 204 acoplado a un eje exterior anular 532. El eje exterior 532 del conjunto de eje superior 530 incluye el tambor 212 y la etapa superior o final 540 acoplada al extremo superior del tambor 212. En esta realización, la etapa final 540 del eje exterior 532 incluye un miembro cilíndrico interior 542 que se extiende desde un extremo superior de la etapa final 540 y un miembro cilíndrico exterior 550 que se extiende desde un extremo inferior de la etapa final 540. A diferencia de la etapa final 220 del conjunto de compresor inventivo 100, la etapa final 540 del conjunto de compresor 500 no incluye un reborde anular o puente que conecte el miembro cilíndrico interior 542 con el miembro cilíndrico exterior 550. En su lugar, el fluido del proceso sale del conjunto de compresor 500 como un flujo de fluido de salida (indicado por las flechas 507 en la Figura 10) a través de la apertura anular formada entre un extremo superior del miembro cilíndrico exterior 550 y una superficie exterior generalmente cilíndrica 544 del miembro cilíndrico interior 542 de la última etapa 540. El flujo de fluido de salida 507 sale del conjunto de compresor 500 a través de una pluralidad de salidas de fluido espaciadas circunferencialmente 512 formadas en la carcasa interior 510, y un puerto de salida (no mostrado en la Figura 10) formado en la carcasa exterior 502.

En esta realización, el miembro cilíndrico interior 542 de la etapa final 540 incluye un reborde anular 546 que tiene una pluralidad de pasos de equilibrio de presión espaciados circunferencialmente 548 formados en él, extendiéndose cada paso de equilibrio de presión 548 hasta un extremo inferior del miembro cilíndrico interior 542. La etapa final 540 incluye además un impulsor de etapa final 554 que se extiende entre el miembro cilíndrico interior 542 y el miembro cilíndrico exterior 550. En esta realización, el impulsor de etapa final 554 se forma monolíticamente con miembros cilíndricos 542, 550; sin embargo, en otras realizaciones, el impulsor de etapa final 554 puede acoplarse por separado con miembros cilíndricos 542, 550. Un paso de equilibrio de presión 556 se extiende a través del impulsor de etapa final 554. El paso de equilibrio de presión 556 está en comunicación fluida tanto con el paso de equilibrio de presión 548 del miembro cilíndrico interior 540 de la etapa final 540 como con un paso de equilibrio de presión anular 511 formado radialmente entre una superficie exterior del tambor 212 del conjunto de eje superior 530 y una superficie interior generalmente cilíndrica 514 de la carcasa interior 510.

El conjunto de compresor 500 incluye un conjunto anular de sello giratorio primero o superior 570 posicionado radialmente entre la superficie interior 514 de la carcasa interior 510 y la superficie exterior 544 del miembro cilíndrico interior 542 (próximo a un extremo superior del mismo) de la etapa final 540, y está configurado para sellar la interfaz anular formada entre ellos. Además, el conjunto de compresor 500 incluye un conjunto de sello giratorio anular segundo o inferior 574 posicionado radialmente entre una superficie exterior generalmente cilíndrica 551 del miembro cilíndrico exterior 550 de la etapa final 540 y la superficie interior 514 de la carcasa interior 510, y está configurado para sellar la interfaz anular formada entre ellos. Además, el conjunto de compresor 500 incluye un conjunto de sello anular de rotación inversa 578 posicionado radialmente entre la superficie exterior 544 del miembro cilíndrico interior 542 (próxima a un extremo inferior del mismo) de la etapa final 540 y la superficie interior 342 del tambor 340 del conjunto de eje inferior 300'.

El acoplamiento de sellado entre la etapa final 540 y el tambor 340 del conjunto de eje inferior 300' proporcionado por el conjunto de sello de rotación inversa 578 forma una cámara anular de equilibrio de presión 560 que está en comunicación fluida con los pasos de equilibrio de presión 511, 548 y 556. La cámara de equilibrio de presión 560 y los pasos de equilibrio de presión 511, 548 y 556 comprenden colectivamente un circuito de equilibrio de presión 562 del conjunto de compresor 500. El paso de equilibrio de presión 511 formado entre la carcasa interior 510 y el tambor 212 del conjunto de eje superior 530 está en comunicación fluida con las entradas de fluido de la carcasa interior 510 y, por lo tanto, el fluido dispuesto en el circuito de equilibrio de presión 562 está dispuesto sustancialmente a la presión de fluido de entrada del flujo de fluido de entrada que entra en la carcasa interior 510.

En la configuración descrita anteriormente, una porción del conjunto de eje inferior 300' está expuesta a la presión del fluido de entrada del circuito de equilibrio de presión 562, comprendiendo la porción un área de superficie circular interior proyectada axialmente 580 definida por un diámetro 582 que es igual a un diámetro del conjunto de sello de rotación inversa 578 del conjunto de compresor 500. Por lo tanto, de manera similar al funcionamiento del circuito de equilibrio de presión 150 del conjunto de compresor inventivo 100, el circuito de equilibrio de presión 562 del conjunto de compresor 500 reduce la carga neta de empuje descendente aplicada al conjunto de eje inferior 300' al equilibrar el empuje descendente aplicado al área de superficie interior proyectada axialmente 580 del conjunto de eje inferior 300' con una carga de empuje ascendente correspondiente aplicada al conjunto de eje inferior 300' desde la presión del fluido de entrada expuesta a un extremo inferior del conjunto de eje inferior 300'.

Sin embargo, a diferencia del conjunto de compresor inventivo 100, el conjunto de compresor 500 equilibra el empuje del conjunto de eje inferior 300' utilizando un circuito de equilibrio de presión 562 que incluye una etapa final abierta 540. Esta configuración no es según la invención. Sin embargo, en algunas aplicaciones, puede ser preferible emplear una etapa final abierta 540, que no requiere que el flujo de fluido de salida 507 fluya a través de una pluralidad de puertos espaciados circunferencialmente formados en la etapa final. Además, en lugar de recircular el flujo de fluido de salida arrastrado que se ha filtrado a través de los sellos 570, 574 y/o 578 a través de pasos formados en la carcasa

exterior 502, el flujo de fluido de salida que se ha filtrado al circuito de equilibrio de presión 562 se recircula a las entradas de fluido de la carcasa interior 510 a través del paso de equilibrio de presión 511 (indicado por flechas 584).

Haciendo referencia a la Figura 11, se muestra otra realización de un conjunto de compresor 600 que incluye un conjunto de eje superior 610 que tiene una etapa final abierta 620 y, por lo tanto, tampoco es según la invención. El conjunto de compresor 600 de la Figura 11 incluye características en común con el conjunto de compresor 100 mostrado en las Figuras 1-9 y el conjunto de compresor 500 que se muestra en la Figura 10, y las características compartidas se etiquetan de manera similar. En la realización de la figura 11, el conjunto de compresor 600 tiene un eje central o longitudinal 605 y generalmente incluye una carcasa exterior 502, una carcasa interior 510, un conjunto de eje primero o superior 610 y un conjunto de eje segundo o inferior 650 configurado para girar en sentido contrario con respecto al conjunto de eje superior 610 del conjunto de compresor 600.

El conjunto de eje superior 610 del conjunto de compresor 600 generalmente incluye el eje interior 204 acoplado a un eje exterior anular 612. El eje exterior 612 del conjunto de eje superior 610 incluye el tambor 212 y la etapa superior o final 620 acoplada al extremo superior del tambor 212. En esta realización, la etapa final 620 del eje exterior 612 incluye un miembro cilíndrico interior 622 que se extiende desde un extremo superior de la etapa final 620 y un miembro cilíndrico exterior 640 que se extiende desde un extremo inferior de la etapa final 620. Similar a la etapa final 540 del conjunto de compresor 500 que se muestra en la Figura 10, la etapa final 620 del conjunto de compresor 600 no incluye un reborde anular o puente que conecta el miembro cilíndrico interior 622 con el miembro cilíndrico exterior 640. Por lo tanto, el fluido de proceso sale del conjunto de compresor 500 como un flujo de líquido de salida (indicado por las flechas 607 en la Figura 11) a través de la apertura anular formada entre un extremo superior del miembro cilíndrico exterior 640 y una superficie exterior generalmente cilíndrica 624 del miembro cilíndrico interior 622 de la etapa final 620.

En esta realización, el miembro cilíndrico interior 622 de la etapa final 620 incluye pasos de equilibrio de presión 548 formados en él y un impulsor de etapa final 630 formado monolíticamente con miembros cilíndricos 620, 640. Sin embargo, a diferencia del impulsor de etapa final 554 de la etapa final 540, el impulsor de etapa final 630 de la etapa final 620 no incluye un paso interno de equilibrio de presión para comunicar la presión del fluido de entrada. Además, mientras que el impulsor de etapa final 630 se forma monolíticamente con miembros cilíndricos 622, 640, en otras realizaciones, el impulsor de etapa final 630 se puede acoplar por separado con miembros cilíndricos 622, 640.

El conjunto de eje inferior 650 incluye generalmente un eje interior generalmente cilíndrico 652 y un eje exterior anular o tambor 670 dispuesto alrededor y acoplado a una superficie exterior del eje interior 652. Similar al tambor 340 del conjunto de eje inferior 300 que se muestra en las Figuras 2-9, el tambor 670 del conjunto de eje inferior 650 incluye una superficie exterior en la que se disponen los impulsores 302. En esta realización, el eje interior 652 del conjunto de eje inferior 650 incluye una pluralidad de pasos de equilibrio de presión espaciados circunferencialmente 654 que se extienden desde un extremo superior del mismo, donde los pasos de equilibrio de presión 654 están en comunicación fluida con las entradas de fluido (no se muestra en la Figura 11) de la carcasa interior 510 del conjunto de compresor 600.

El tambor 670 del conjunto de eje inferior 650 incluye un reborde anular 672 próximo a un extremo superior del tambor 670, donde el reborde anular 672 se acopla con el extremo superior del eje interior 652 del conjunto de eje inferior 650. En esta realización, el tambor 670 incluye una pluralidad de pasos de equilibrio de presión espaciados circunferencialmente 674, extendiéndose cada paso 674 axialmente entre los extremos superior e inferior del reborde 672 y en comunicación fluida con un paso de equilibrio de presión correspondiente 654 del eje interior 650. El conjunto de compresor 600 incluye conjuntos de sello giratorio 570, 574 y conjunto de sello de rotación inversa 578, definiendo así una cámara de equilibrio de presión anular 632 formada alrededor del eje interior 652 del conjunto de eje inferior 650 y que se extiende axialmente entre un extremo inferior del miembro cilíndrico interior 622 de la etapa final 620 y el extremo superior del reborde anular 672 del tambor 670. La cámara de equilibrio de presión 632 está en comunicación fluida con los pasos de equilibrio de presión 548 de la etapa final 620 y los pasos de equilibrio de presión 654, 674 del eje interior 652 y el tambor 670, respectivamente, del conjunto de eje inferior 670. La cámara de equilibrio de presión 632 y los pasos de equilibrio de presión 548, 654 y 674 comprenden colectivamente un circuito de equilibrio de presión 680 del conjunto de compresor 600. Con los pasos de equilibrio de presión 654 del eje interior 652 del conjunto de eje inferior 650 en comunicación fluida con las entradas de fluido de la carcasa interior 510, el fluido dispuesto en el circuito de equilibrio de presión 680 está dispuesto sustancialmente a la presión del fluido de entrada del flujo de fluido de entrada que entra en la carcasa interior 510 del conjunto de compresor 600.

En la configuración descrita anteriormente, una porción del conjunto de eje inferior 650 se expone a la presión de fluido de entrada del circuito de equilibrio de presión 680, comprendiendo la porción un área de superficie circular, interior axialmente proyectada 682 definida por un diámetro 684 que es igual a un diámetro del conjunto de sello de rotación inversa 578 del conjunto de compresor 600. Por lo tanto, similar al funcionamiento del circuito de equilibrio de presión 562 del conjunto de compresor 500, el circuito de equilibrio de presión 680 del conjunto de compresor 600 reduce la carga de empuje descendente neta aplicada a un conjunto de eje inferior 650 al equilibrar el empuje descendente aplicado al área de superficie interior proyectada axialmente 682 del conjunto de eje inferior 650 con una carga de empuje ascendente correspondiente aplicada a un conjunto de eje inferior 650 de la presión de fluido de entrada expuesta a un extremo inferior del conjunto de eje inferior 650. Además, en esta realización, el flujo de fluido de salida

que se ha filtrado a través de los sellos 570, 574, y/o 578 y al circuito de equilibrio de presión se recircula a las entradas de fluido de la carcasa interior 510 a través de los pasos de equilibrio de presión 654, 674 (indicados por las flechas 686).

- 5 A diferencia del circuito de equilibrio de presión 562 del conjunto de compresor 500, donde la presión del fluido de entrada se comunicaba al circuito 562 a través del paso de equilibrio de presión anular 511 formado entre la carcasa interior 510 y el tambor 212, la presión del fluido de entrada se comunica al circuito de equilibrio de presión 680 del conjunto de compresor 600 a través de la pluralidad de pasos de equilibrio de presión 654 formados dentro del eje interior 652 del conjunto de eje inferior 650. La realización de la Figura 11 no es según la invención. Sin embargo, en algunas aplicaciones, puede ser preferible comunicar la presión del fluido de entrada a través de los pasos de equilibrio de presión 654 del eje interior 652 en lugar de un paso anular formado entre el tambor 212 y la carcasa interior 510 (por ejemplo, debido a restricciones espaciales u otras limitaciones que restringen el diseño del conjunto de compresor). Además, dado que el impulsor de etapa final 630 no incluye un paso interno 630, el área de la sección transversal del impulsor de etapa final 630 puede ser mayor que el impulsor de etapa final 554 del conjunto de compresor 500 y, por lo tanto, el impulsor de etapa final 630 del conjunto de compresor 600 puede soportar un par de torsión, cargas centrífugas y cargas de empuje relativamente mayores que el impulsor de etapa final 554.

Haciendo referencia a la Figura 12, se muestra un diagrama de flujo de un procedimiento 700 para comprimir un fluido de proceso. En el bloque 702 del procedimiento 700, un flujo de entrada de un fluido de proceso fluye hacia el interior de una carcasa a una presión de entrada. En algunas realizaciones, el bloque 702 incluye un flujo de fluido de entrada que fluye 125 en la carcasa exterior 120 del conjunto de compresor inventivo 100 a una presión de fluido de entrada. En otras realizaciones, el bloque 702 comprende un flujo de fluido de entrada que fluye 125 en la carcasa exterior 502 de conjuntos de compresor no inventivos 500 y/o 600 a la presión de entrada. En el bloque 704 del procedimiento 700, un primer conjunto de eje dispuesto en la carcasa y que comprende una primera pluralidad de impulsores alrededor de un eje longitudinal en una primera dirección de rotación. En algunas realizaciones, el bloque 704 comprende un conjunto de eje superior giratorio 200, que incluye impulsores 202, alrededor del eje central 105 en una primera dirección de rotación. En otras realizaciones, el bloque 704 comprende conjuntos de eje superior giratorio 530, 610 alrededor de los ejes centrales 505, 605, respectivamente, en la primera dirección de rotación.

En el bloque 706 del procedimiento 700, un segundo conjunto de eje dispuesto en la carcasa y que comprende una segunda pluralidad de impulsores intercalados con la primera pluralidad de impulsores gira alrededor del eje longitudinal en una segunda dirección de rotación opuesta a la primera dirección de rotación. En algunas realizaciones, el bloque 706 comprende el conjunto de eje inferior giratorio 300, incluidos los impulsores 302, sobre el eje central 105 en una segunda dirección de rotación. En otras realizaciones, el bloque 706 comprende los conjuntos de eje inferior giratorios 300, 650 sobre los ejes centrales 505, 605, respectivamente en la segunda dirección de rotación. En el bloque 708 del procedimiento 700, se aplica una fuerza de presión dirigida axialmente a cada extremo del conjunto de eje inferior con el fluido del proceso a la presión de entrada. En algunas realizaciones, el bloque 708 comprende comunicar una porción del flujo de fluido de entrada 125 a la presión de entrada a una cámara de equilibrio de presión (p. ej., cámaras de equilibrio de presión 238, 560 y 632) posicionada axialmente entre un conjunto de eje superior (p. ej., conjuntos de eje superior 200, 530 y 610) y un conjunto de eje inferior (por ejemplo, conjuntos de eje inferior 300 y 650) a través de un circuito de equilibrio de presión (por ejemplo, circuitos de equilibrio de presión 150, 562 y 680) que incluye la cámara de equilibrio de presión, aplicando por lo tanto una fuerza de presión contra un extremo superior del conjunto de eje inferior mediante un fluido dispuesto en la cámara de equilibrio de presión a la presión de entrada.

La discusión anterior pretende ser ilustrativa de los principios y varias realizaciones de la presente descripción. Aunque se han mostrado y descrito ciertas realizaciones, un experto en la técnica puede realizar modificaciones de las mismas sin apartarse de las enseñanzas de la descripción. Las realizaciones descritas en esta invención son únicamente ejemplares y no son limitativas. Por consiguiente, el alcance de protección de la invención no está limitado a la descripción establecida anteriormente, sino que está limitada únicamente por las reivindicaciones que obran a continuación.

REIVINDICACIONES

1. Un compresor de rotación inversa axial (100) para comprimir un fluido de proceso, que comprende:

un primer conjunto de eje (200) dispuesto en la parte superior de una carcasa (130) y giratorio alrededor de un eje longitudinal (105), comprendiendo el primer conjunto de eje (200) un eje radialmente exterior (210), y una primera pluralidad de impulsores (202) acoplados al eje radialmente exterior (210), en el que el eje radialmente exterior (210) comprende una etapa final (220), en la que la etapa final (220) comprende:

un miembro cilíndrico radialmente interior (222);

un miembro cilíndrico radialmente exterior (240) que comprende un puerto de salida (244);

un reborde anular (228) que se extiende entre el miembro cilíndrico interior (222) y el miembro cilíndrico exterior (240); y

un canal anular (248) formado entre el miembro cilíndrico interior (222) y el miembro cilíndrico exterior (240) y que termina en el reborde anular (228), donde un impulsor final (236) de la primera pluralidad de impulsores (202) está posicionado en el canal anular (248);

un segundo conjunto de eje (300) dispuesto en una parte inferior de la carcasa (130) y giratorio alrededor del eje longitudinal (105), comprendiendo el segundo conjunto de eje (300) una segunda pluralidad de impulsores (302) intercalados con la primera pluralidad de impulsores (202);

un primer sello anular (430), entre una superficie radialmente exterior (226) del miembro cilíndrico interior (222) de la etapa final (220) y una superficie interior (138) de la carcasa (130) y un segundo sello anular (434) entre una superficie radialmente exterior (242) del miembro cilíndrico exterior (240) de la etapa final (220) y la superficie interior (138) de la carcasa (130), estando el primer y segundo sellos anulares (430, 434) configurados para permitir la rotación relativa entre la etapa final (220) y la carcasa (130); y

un tercer sello anular (438) posicionado entre la superficie radialmente exterior (226) del miembro cilíndrico interior (222) de la etapa final (220) y una superficie interior (342) del segundo conjunto de eje (300), el tercer sello anular (438) configurado para permitir la rotación inversa entre la etapa final (220) y el segundo conjunto de eje (300).

2. El compresor (100) de la reivindicación 1, en el que un extremo radialmente interior del impulsor final (236) está acoplado al elemento cilíndrico interior (222) de la etapa final (220) y un extremo radialmente exterior del impulsor final (236) se permite que se flexione con respecto al miembro cilíndrico exterior (240) de la etapa final (220).

3. El compresor (100) de la reivindicación 1, que comprende además un circuito de equilibrio de presión (150) configurado para estar en comunicación fluida con un flujo de entrada (125) del fluido de proceso a una presión de entrada, en la que el circuito de equilibrio de presión comprende (150) una cámara (238) posicionada axialmente entre la etapa final (220) y el segundo conjunto de eje (300).

4. El compresor (100) de la reivindicación 3, en el que el circuito de equilibrio de presión (150) comprende además:

un primer paso (144) que se extiende a través de la carcasa (130); y

un segundo paso (230) que se extiende a través de la etapa final (220).

5. El compresor (100) de la reivindicación 1, que comprende además un sistema de fluido de barrera (405) que comprende:

un primer conjunto de sello de fluido de barrera (410) posicionado alrededor del primer conjunto de eje (200) y configurado para recibir un fluido de barrera a una primera presión;

un segundo conjunto de sello de fluido de barrera (414) posicionado alrededor del segundo conjunto de eje (300) y configurado para recibir el fluido de barrera a la primera presión.

6. Un procedimiento para comprimir un fluido de proceso en un compresor de rotación inversa axial, que comprende:

(a) hacer fluir un flujo de entrada (125) del fluido de proceso en una carcasa (130) a una presión de entrada;

(b) girar un primer conjunto de eje (200) dispuesto en una parte superior de la carcasa (130) alrededor de un eje longitudinal (105) en una primera dirección de rotación, comprendiendo el primer conjunto de eje (200) un eje radialmente exterior (210) y una primera pluralidad de impulsores (202) acoplados en la dirección del eje radialmente exterior (210), en la que el eje radialmente exterior (210) comprende una etapa final (220) que comprende:

un miembro cilíndrico radialmente interior (222);

un miembro cilíndrico radialmente exterior (240) que comprende un puerto de salida (244) configurado para dirigir el flujo de fluido (129) hacia las salidas de fluido (134) en la carcasa (130);

un reborde anular (228) que se extiende entre el miembro cilíndrico interior (222) y el miembro cilíndrico exterior (240); y

un canal anular (248) formado entre el miembro cilíndrico interior (222) y el miembro cilíndrico exterior (240) y que termina en el reborde anular (228), en el que un impulsor final (236) de la primera pluralidad de impulsores (202) está posicionado en el canal anular (248).

- 5 (c) girar un segundo conjunto de eje (300) dispuesto en una parte inferior de la carcasa (130) y que comprende una segunda pluralidad de impulsores (302) intercalados con la primera pluralidad de impulsores (202) alrededor del eje longitudinal (105) en una segunda dirección de rotación opuesta a la primera dirección de rotación; y
 - (d) hacer fluir un flujo de salida del fluido de proceso desde la carcasa (130) a una presión de salida;
 - 10 (e) proporcionar un primer sello anular (430) entre una superficie radialmente exterior (226) del miembro cilíndrico interior (222) de la etapa final (220) y una superficie interior (138) de la carcasa (130) y un segundo sello anular (434) entre una superficie radialmente exterior (242) del miembro cilíndrico exterior (240) de la etapa final (220) y la superficie interior (138) de la carcasa (130), estando el primer y segundo sello anular (430, 434) configurados para permitir la rotación relativa entre la etapa final (220) y la carcasa (130); y
 - 15 (f) evitar la exposición de un área de superficie interior proyectada axialmente (350) del conjunto de eje inferior (300) a la presión de salida del flujo de salida que sale de la etapa final (220) del conjunto de eje superior proporcionando un tercer sello anular (438) posicionado entre la superficie exterior (226) del miembro cilíndrico interior (222) de la etapa final (220) y una superficie interior (342) del segundo conjunto de eje (300), el tercer sello anular (438) configurado para permitir la rotación inversa entre la etapa final (220) y el segundo conjunto de eje (300).
 - 20
7. El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende además:
(g) aplicar una fuerza de presión dirigida axialmente a cada extremo del segundo conjunto de eje (300) con el fluido de proceso a la presión de entrada.
- 25 8. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que (g) comprende:
(g1) comunicar el fluido de proceso a la presión de entrada a una cámara (238) posicionada axialmente entre el primer conjunto de eje (200) y el segundo conjunto de eje (300).
9. El procedimiento de la reivindicación 8, que comprende además:
30 filtrar una porción del flujo de salida a la cámara (238); y
recircular la porción filtrada del flujo de salida al flujo de entrada.

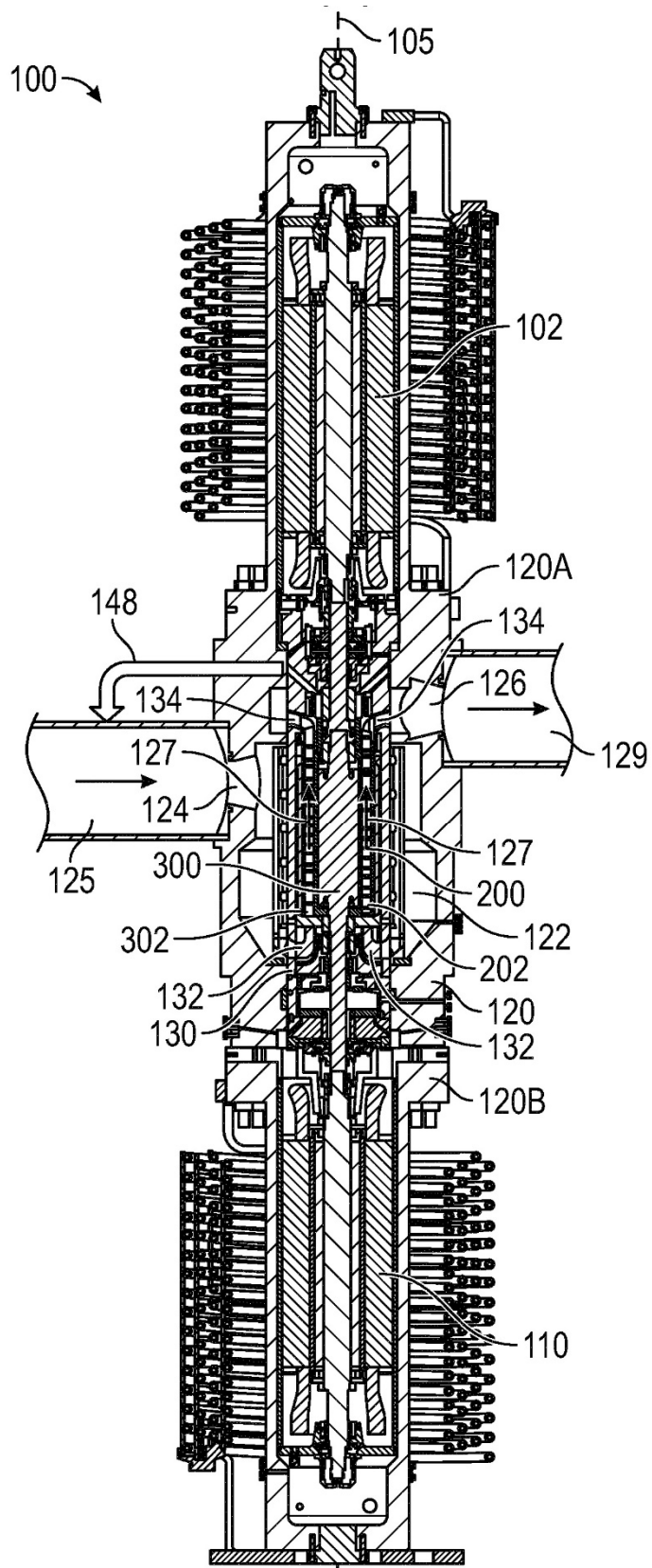


FIG. 1

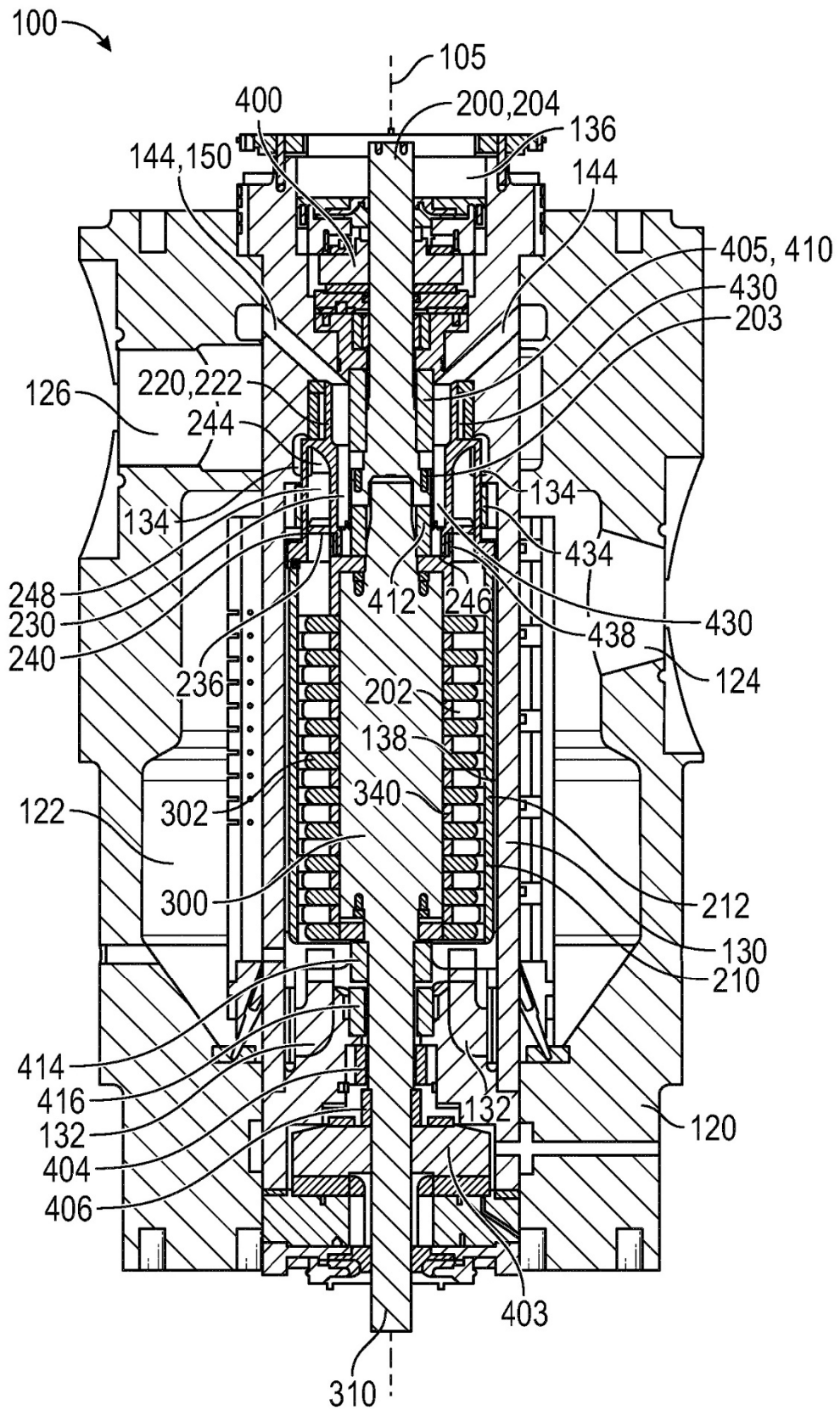


FIG. 2

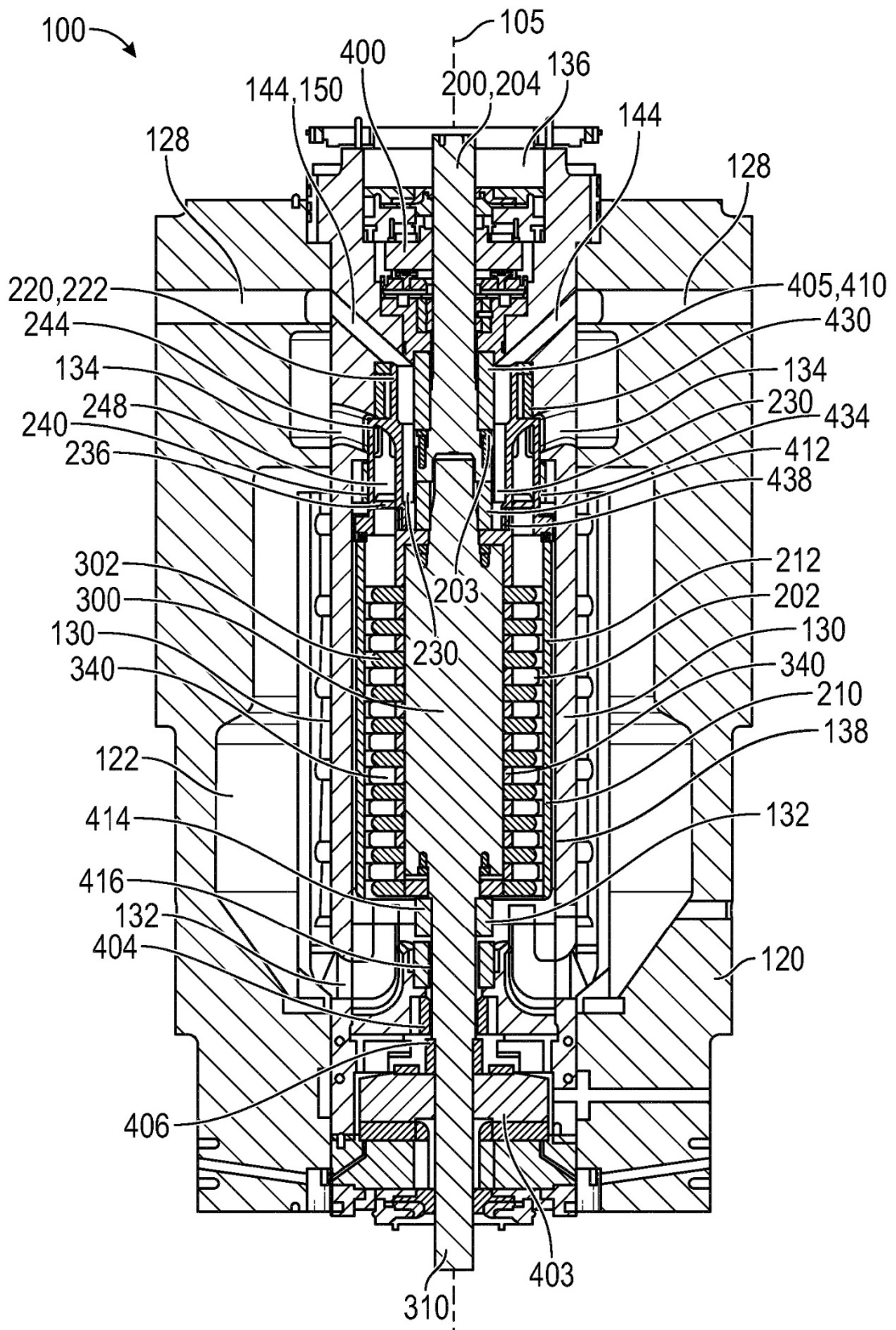
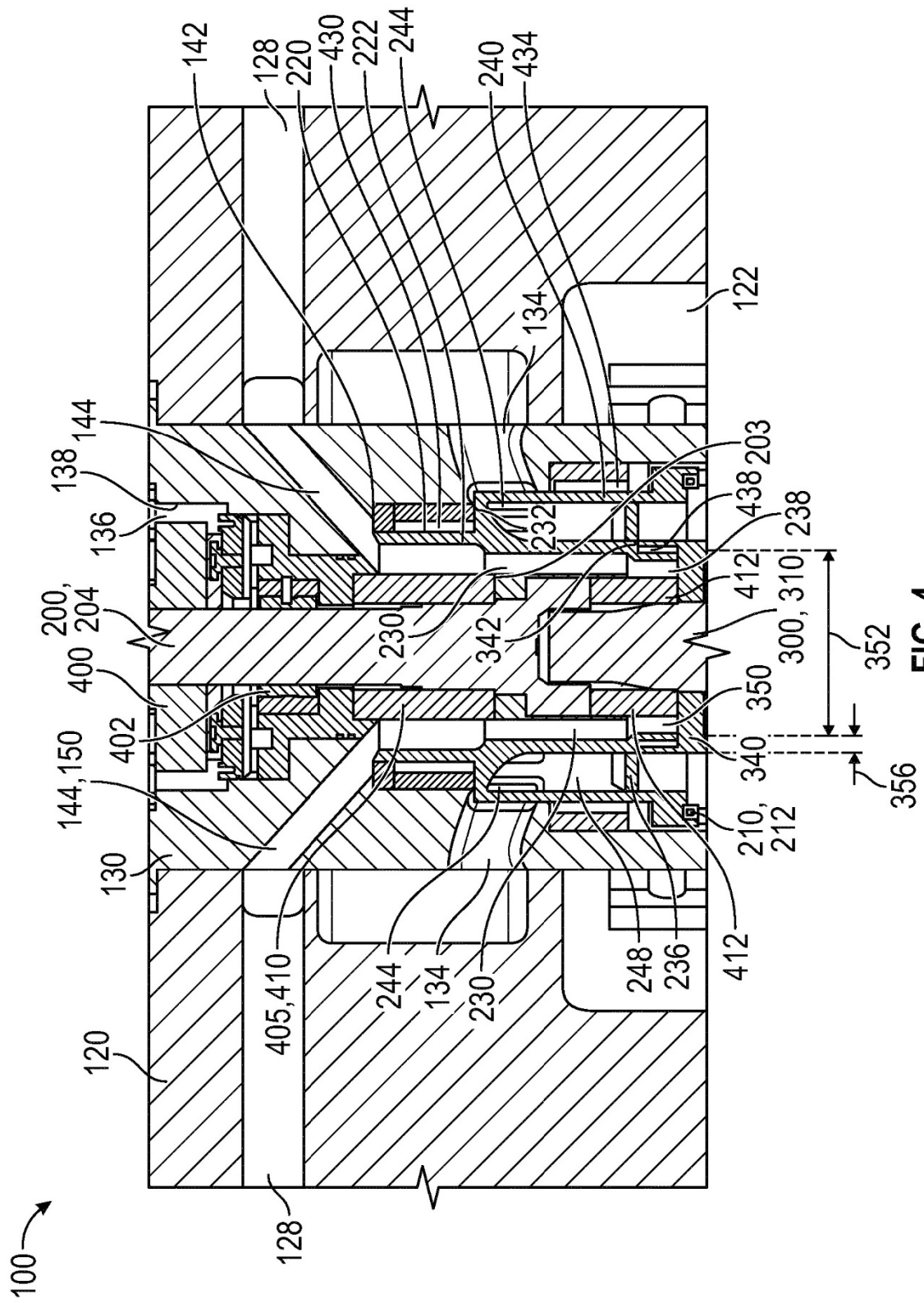


FIG. 3



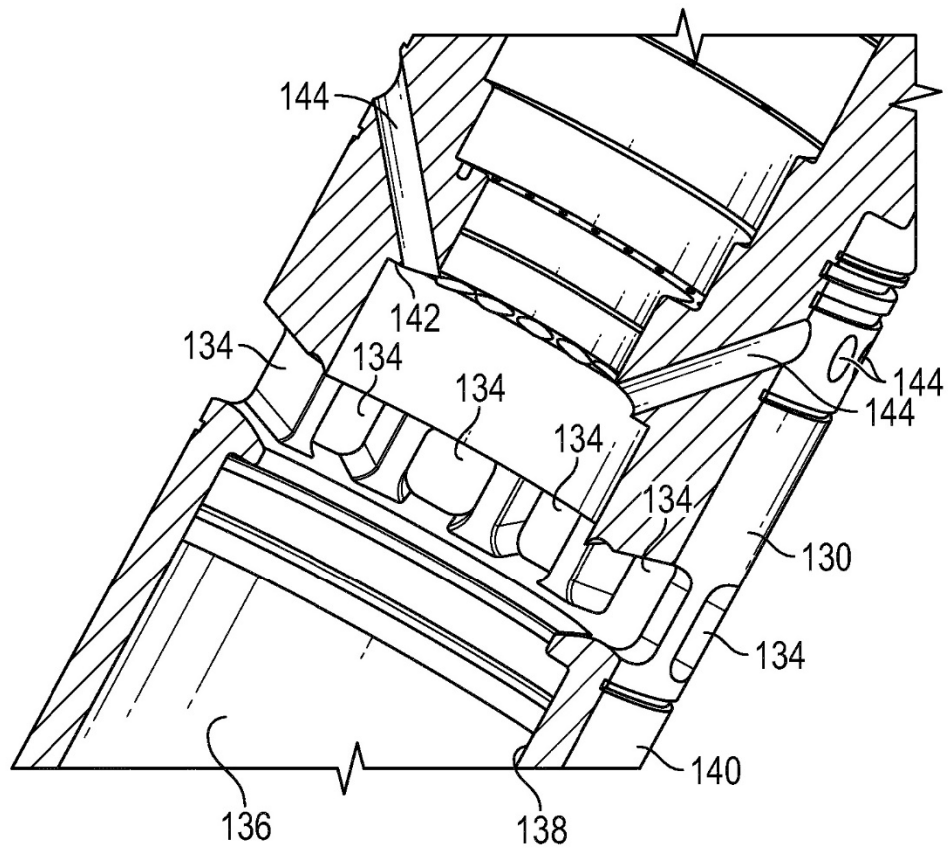


FIG. 5

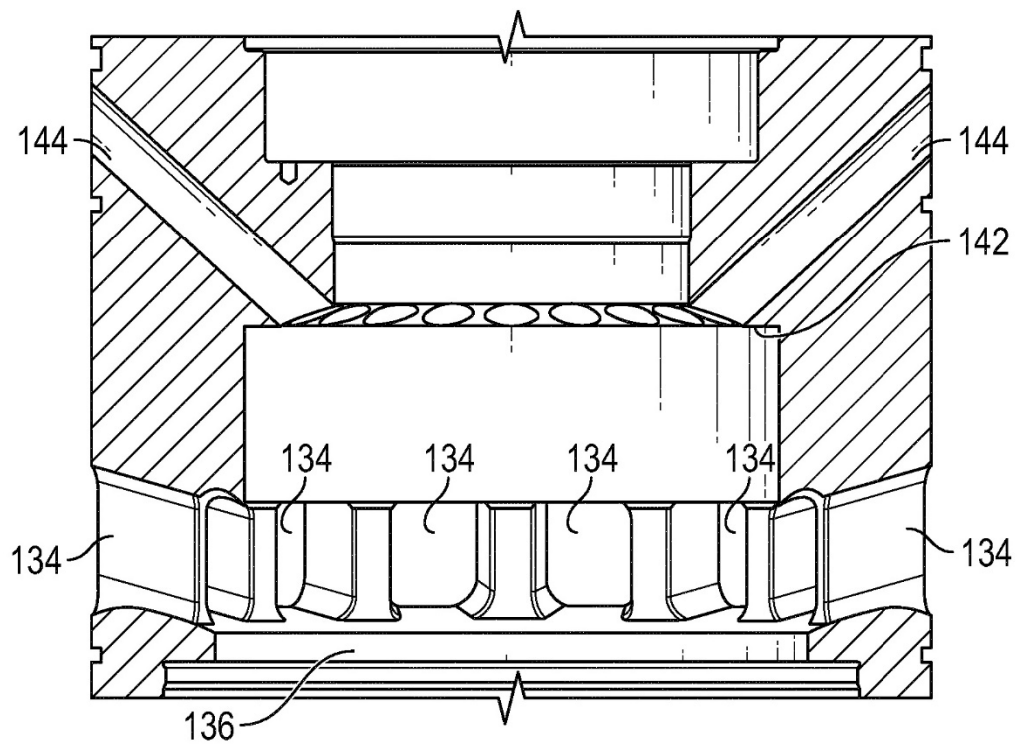


FIG. 6

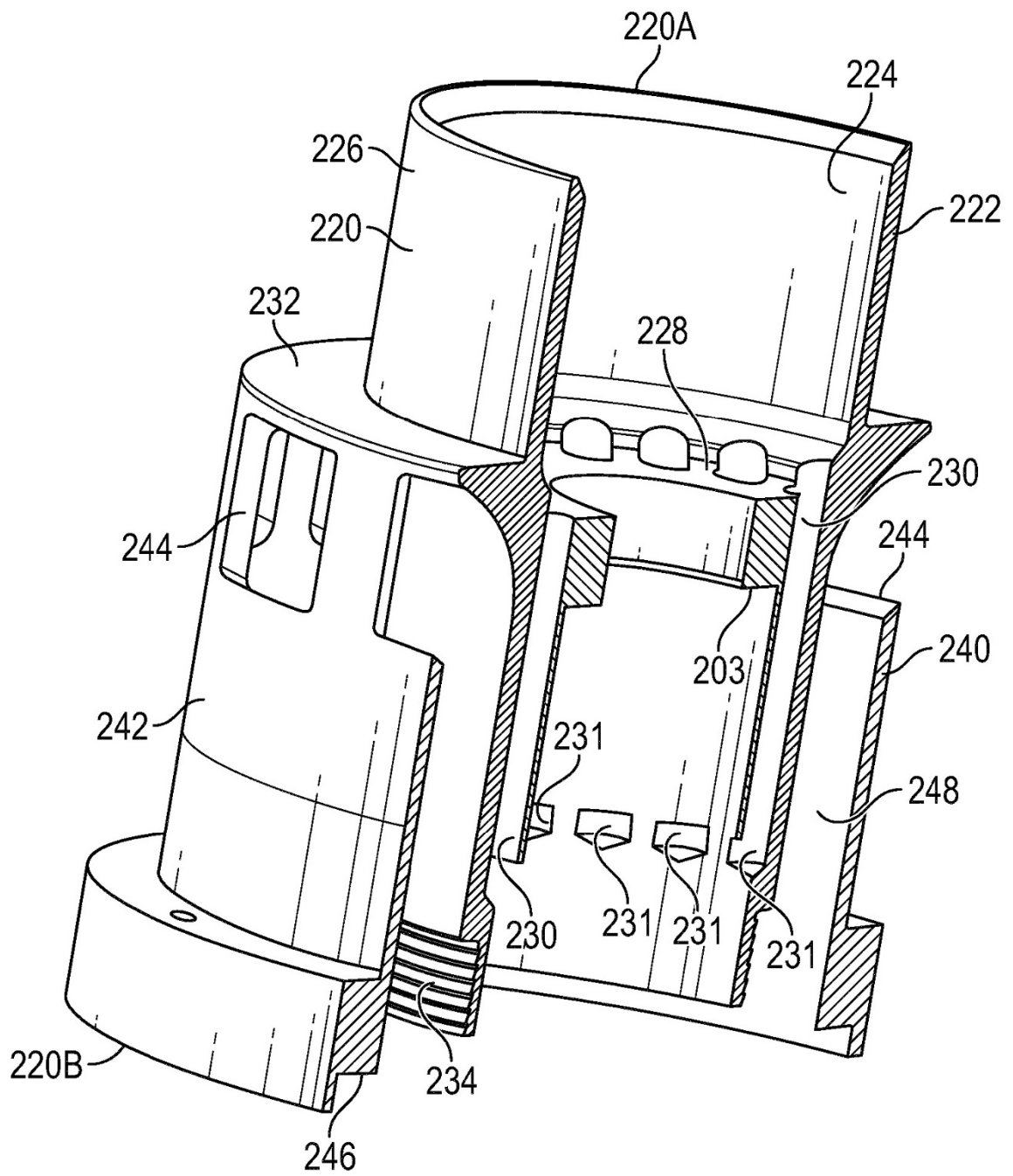


FIG. 7

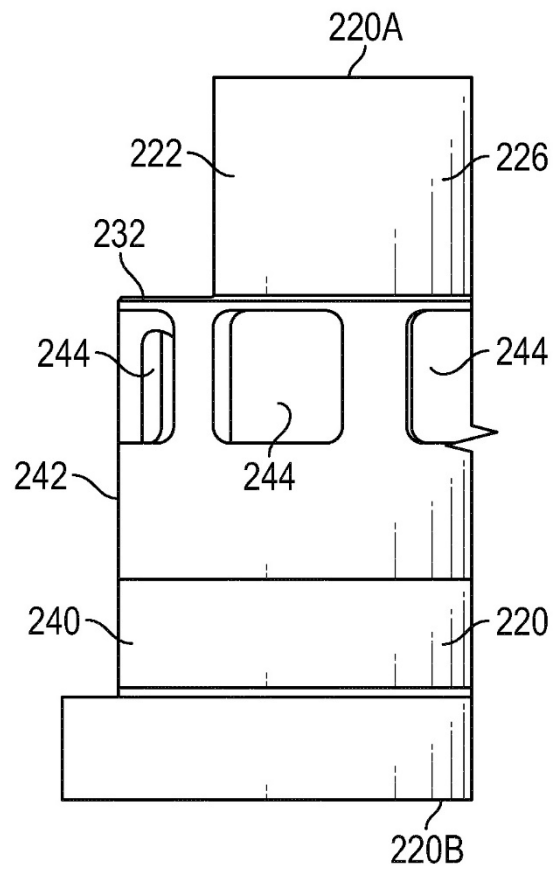


FIG. 8

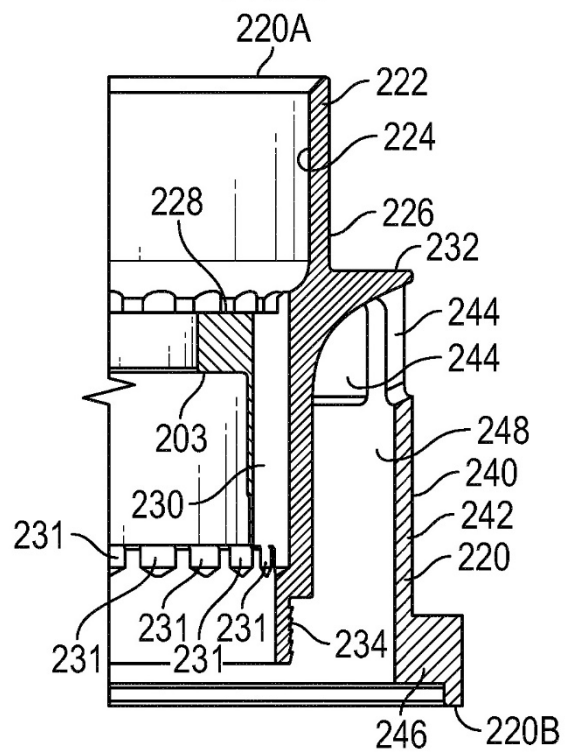


FIG. 9

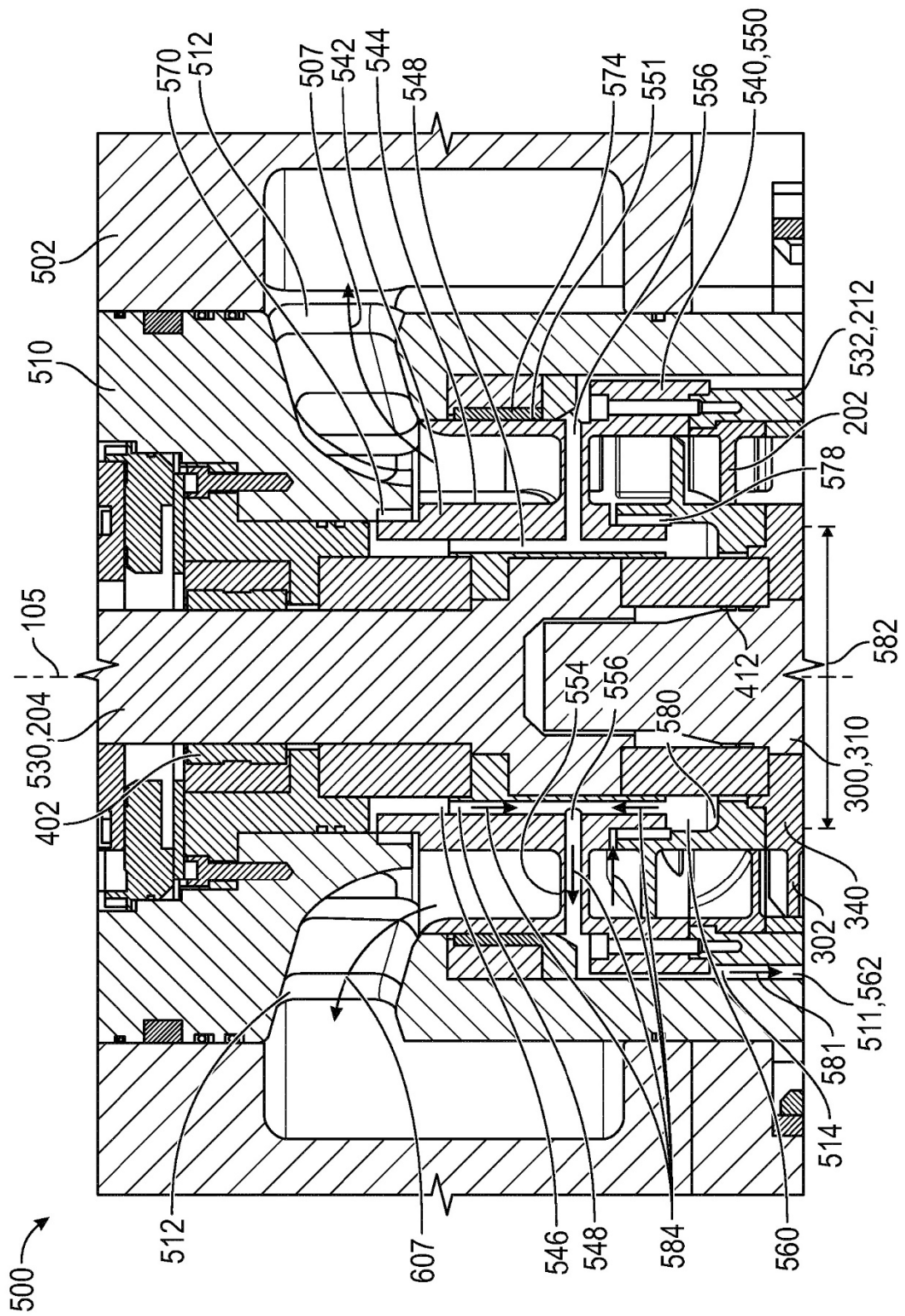


FIG. 10

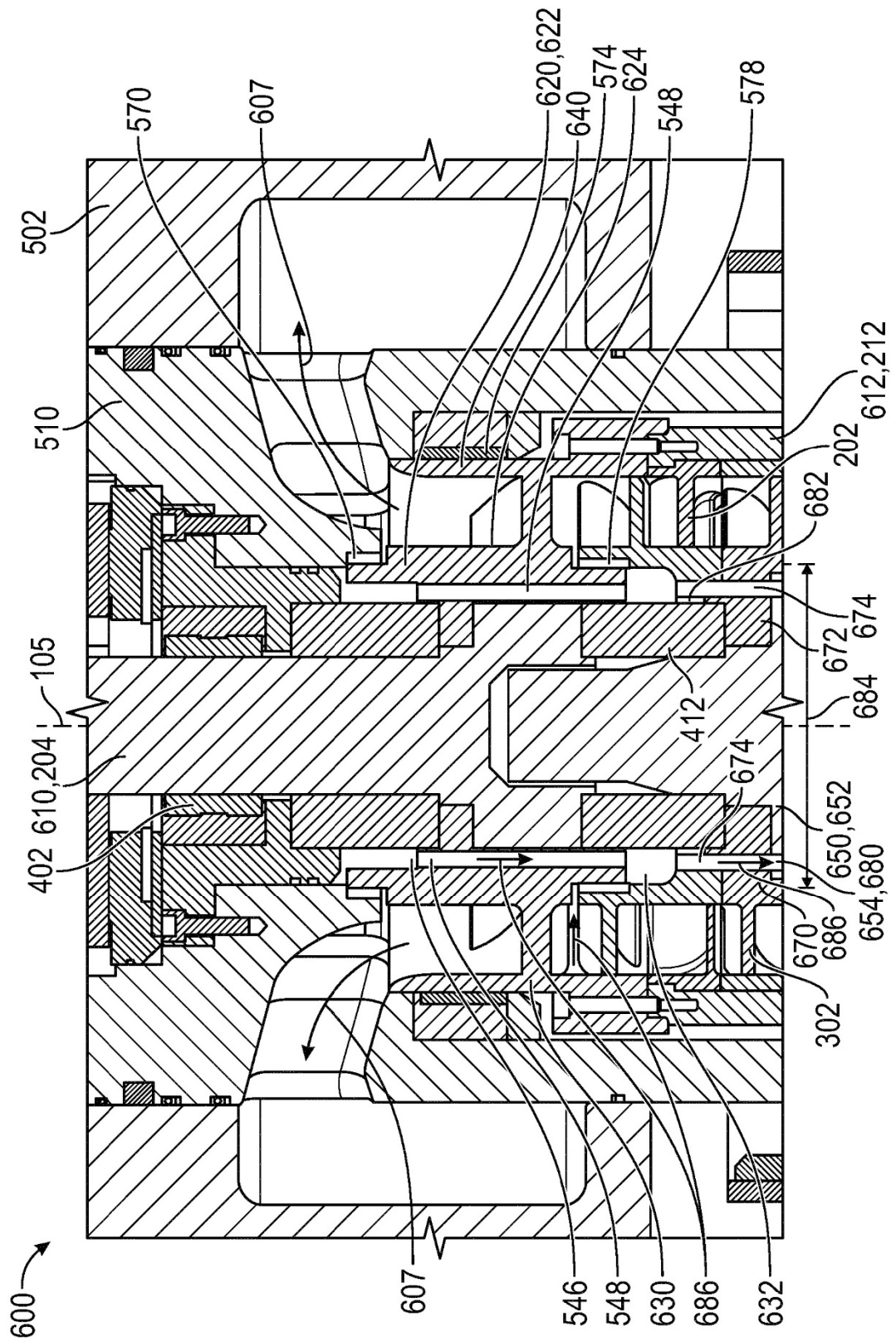


FIG. 11

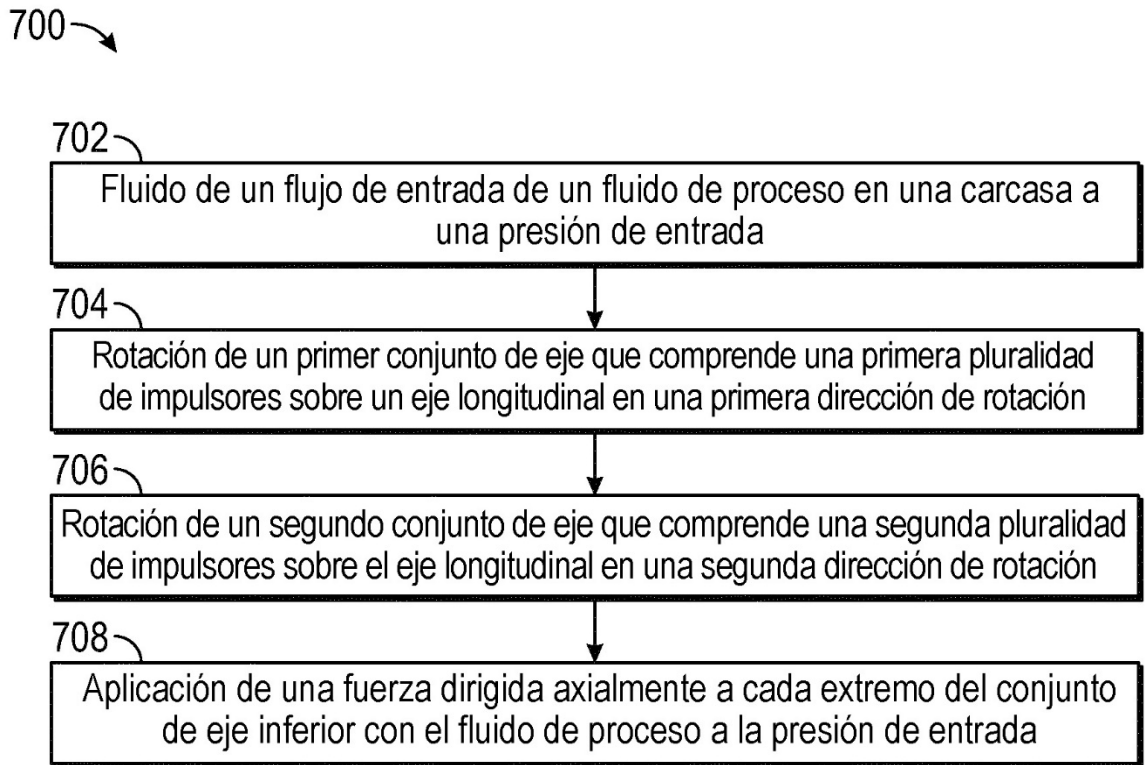


FIG. 12