

SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE FRICCIÓN EN EL FONDO DE POZO CON UN AGITADOR FLEXIBLE

REFERENCIA CRUZADA A APLICACIONES RELACIONADAS

[0001] La presente solicitud reivindica prioridad sobre la solicitud de patente no provisional estadounidense n.º 17/837.780 presentada el 10 de junio de 2022 y titulada "Downhole Friction Reduction Systems Having a Flexible Agitator", que se incorpora al presente documento por referencia en su totalidad.

DECLARACIÓN RELATIVA AL PATROCINIO FEDERAL INVESTIGACIÓN O DESARROLLO

[0002] No se aplica.

ANTECEDENTES

[0003] Al perforar un pozo en una formación de tierra, por ejemplo para la recuperación de hidrocarburos o minerales de una formación del subsuelo, es práctica habitual conectar una broca en el extremo inferior de una sarta de perforación formada por una pluralidad de uniones de tuberías conectadas entre sí de extremo a extremo y, a continuación, girar la sarta de perforación de modo que la broca avance hacia abajo en la tierra para crear un pozo a lo largo de una trayectoria predeterminada. En algunas aplicaciones, el fluido de perforación o "lodo" se bombea a presión por la sarta de perforación, sale por la cara de la broca hacia el interior del pozo y, a continuación, asciende por el anillo entre la sarta de perforación y la pared lateral del pozo hasta la superficie. El fluido de perforación, que puede ser a base de agua o de aceite, suele ser viscoso para mejorar su capacidad de transportar los recortes del pozo a la superficie. Además, la sarta de perforación puede estar conectada a un ensamble de fondo de pozo (BHA) que incluye un motor de lodo de fondo de pozo configurado para hacer girar la broca en respuesta al bombeo del fluido de perforación presurizado.

[0004] En algunos casos, la sarta de perforación puede no girar desde la superficie cuando el motor de lodo acciona la rotación de la broca y, en su lugar, la sarta de perforación puede deslizarse por el pozo a medida que la broca penetra en la formación. La sarta de perforación puede formar lo que se denomina una "torta de lodo" a lo largo de una pared lateral del pozo, que proporciona una barrera física entre el pozo y la formación de tierra para reducir la pérdida de fluido hacia la formación de tierra. Además, porciones de la sarta de perforación pueden ocasionalmente "pegarse" a una pared lateral del pozo a medida que la sarta se desliza a través del pozo, aumentando indeseablemente la cantidad de fricción entre la sarta de perforación y el pozo, lo que puede limitar el "alcance" o la longitud del pozo. En algunas aplicaciones, la sarta de perforación está provista de una o más herramientas de reducción de la fricción diseñadas para reducir la fricción entre la sarta de perforación y el pozo. Las herramientas de reducción de la fricción pueden estar configuradas para generar un movimiento oscilante en la sarta de perforación en respuesta a la obstrucción o estrangulamiento periódicos del flujo de fluido de perforación hacia el BHA.

BREVE RESUMEN

[0005] Una realización de un agitador desplegable en un pozo comprende una carcasa que comprende un eje central y un paso central, una válvula dispuesta en la carcasa y que comprende un primer cuerpo de válvula que tiene una primera cara de contacto y un segundo cuerpo de válvula al que se le permite girar con respecto al primer cuerpo de válvula y que tiene una segunda cara de contacto configurada para entrar en contacto con la primera cara de contacto, un primer adaptador de válvula acoplado a la carcasa y que comprende un primer receptáculo que recibe al menos una porción del primer cuerpo de válvula para acoplar el primer adaptador de válvula al primer cuerpo de válvula, y un asiento de válvula flexible colocado en el primer receptáculo del primer adaptador de válvula entre el primer cuerpo de válvula y el primer adaptador de válvula y en donde el asiento de válvula flexible está configurado para permitir que el primer cuerpo de válvula se flexione con relación al primer adaptador de válvula por lo que se puede formar una desalineación angular entre un eje central del primer cuerpo de válvula y un eje central del primer adaptador de válvula. En algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible está configurado para permitir una desalineación angular máxima entre el eje central del primer cuerpo de válvula y el eje central del primer adaptador de válvula que está entre $0,01^\circ$ y $5,00^\circ$. En algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible está configurado para permitir una desalineación angular máxima entre el eje central del primer cuerpo de válvula y el eje central del primer adaptador de válvula que está entre $2,00^\circ$ y $4,00^\circ$. En ciertas realizaciones, un estator colocado en la carcasa y un rotor posicionado de forma giratoria en el estator y conectado a uno del primer cuerpo de válvula y el segundo cuerpo de válvula. En ciertas realizaciones, el asiento de válvula flexible comprende un elemento de polarización mecánica configurado para aplicar una fuerza de polarización al primer cuerpo de válvula. En algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible está formado a partir de un material elastomérico. En algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible está formado a partir de un material que tiene una clasificación de durómetro en la escala de dureza Shore A entre 40 y 120. En ciertas realizaciones, el asiento de válvula flexible sella la conexión formada entre el primer cuerpo de válvula y el primer adaptador de válvula. En algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible comprende un cuerpo formado a partir de un primer material que tiene una primera dureza y un anillo espaciador incrustado en el cuerpo que está formado a partir de un segundo material que tiene una segunda dureza que es mayor que la primera dureza.

[0006] Una realización de un agitador desplegable en un pozo comprende una carcasa que comprende un eje central y un paso central, una válvula dispuesta en la carcasa y que comprende un primer cuerpo de válvula que tiene una primera cara de contacto y un segundo cuerpo de válvula al que se le permite rotar con respecto al primer cuerpo de válvula y que tiene una segunda cara de contacto configurada para entrar en contacto con la primera cara de contacto, un primer adaptador de válvula acoplado a la carcasa y que comprende un primer receptáculo que recibe al menos una porción del primer cuerpo de válvula para acoplar el primer adaptador de válvula al primer cuerpo de válvula, y un asiento de válvula flexible colocado en el primer receptáculo del primer adaptador de válvula entre el primer cuerpo de válvula y el primer adaptador de válvula y en el que el asiento de válvula flexible está formado de un material que tiene un índice de durómetro en la escala de dureza Shore A entre 40 y 120. En algunas realizaciones, el material del que está formado el asiento de válvula flexible tiene una clasificación de durómetro en la escala de dureza Shore A entre 70 y 90. En algunas realizaciones, el agitador comprende

un estator colocado en la carcasa y un rotor posicionado de forma giratoria en el estator y conectado a uno del primer cuerpo de válvula y el segundo cuerpo de válvula. En ciertas realizaciones, el asiento de válvula flexible está configurado para permitir que el primer cuerpo de válvula se flexione con respecto al primer adaptador de válvula, por lo que se puede formar una desalineación angular entre un eje central del primer cuerpo de válvula y un eje central del primer adaptador de válvula. En ciertas realizaciones, el asiento de válvula flexible está configurado para permitir una desalineación angular máxima entre el eje central del primer cuerpo de válvula y el eje central del primer adaptador de válvula que está entre $0,01^\circ$ y $5,00^\circ$. En algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible sella la conexión formada entre el primer cuerpo de válvula y el primer adaptador de válvula.

[0007] Una realización de un agitador desplegable en un pozo comprende una carcasa que comprende un eje central y un paso central, una válvula dispuesta en la carcasa y que comprende un primer cuerpo de válvula que tiene una primera cara de contacto y un segundo cuerpo de válvula al que se le permite rotar con respecto al primer cuerpo de válvula y que tiene una segunda cara de contacto configurada para entrar en contacto con la primera cara de contacto; un primer adaptador de válvula acoplado a la carcasa y que comprende un primer receptáculo que recibe al menos una porción del primer cuerpo de válvula para acoplar el primer adaptador de válvula al primer cuerpo de válvula, y un asiento de válvula flexible colocado en el primer receptáculo del primer adaptador de válvula y que sella la conexión formada entre el primer cuerpo de válvula y el primer adaptador de válvula. En algunas realizaciones, el agitador comprende un estator colocado en la carcasa y un rotor posicionado de forma giratoria en el estator y conectado a uno de los cuerpos de la primera válvula y del segundo. En ciertas realizaciones, el asiento de válvula flexible está configurado para permitir que el primer cuerpo de válvula se flexione con respecto al primer adaptador de válvula, por lo que se puede formar una desalineación angular entre un eje central del primer cuerpo de válvula y un eje central del primer adaptador de válvula. En ciertas realizaciones, el asiento de válvula flexible está configurado para permitir una desalineación angular máxima entre el eje central del primer cuerpo de válvula y el eje central del primer adaptador de válvula que está entre $0,01^\circ$ y $5,00^\circ$. En algunas realizaciones, el agitador comprende un segundo adaptador de válvula acoplado a la carcasa y que comprende un segundo receptáculo que recibe al menos una porción del segundo cuerpo de válvula para acoplar el segundo adaptador de válvula al segundo cuerpo de válvula, en donde el asiento de válvula flexible comprende un primer asiento de válvula flexible y el agitador comprende además un segundo asiento de válvula flexible posicionado en el segundo receptáculo del segundo adaptador de válvula y que sella la conexión formada entre el segundo cuerpo de válvula y el segundo adaptador de válvula.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0008] Para una descripción detallada de las realizaciones divulgadas, se hará referencia ahora a los dibujos adjuntos en los que:

[0009] La figura 1 es una vista esquemática de un sistema de perforación que incluye un agitador según algunas realizaciones;

[0010] La figura 2 es una vista lateral del agitador de la figura 1;

- [0011] La figura 3A es una vista en sección transversal lateral de una sección de fondo de pozo del agitador de la figura 1;
- [0012] La figura 3B es una vista en sección transversal lateral de una sección de fondo de pozo del agitador de la figura 1;
- [0013] La figura 4 es una vista en perspectiva, en sección transversal parcial, de un sub de potencia del agitador de la Figura 1 de acuerdo con algunas realizaciones;
- [0014] La figura 5 es una vista en sección transversal del sub de potencia de la figura 4;
- [0015] La figura 6 es una vista en sección transversal lateral ampliada de una realización de una válvula rotativa del agitador de la figura 1;
- [0016] La figura 7 es una vista en perspectiva de una realización de un primer cuerpo de válvula de la válvula rotativa de la figura 6;
- [0017] La figura 8 es una vista en perspectiva de una realización de un segundo cuerpo de válvula de la válvula rotativa de la figura 6;
- [0018] La figura 10 es una vista esquemática del extremo de la válvula rotativa de la figura 6 en una configuración cerrada;
- [0019] La figura 11 es otra vista en sección transversal lateral de la válvula rotativa de la figura 6; y
- [0020] Las figuras 12-14 son vistas en sección transversal lateral de otras realizaciones de válvulas rotativas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES DIVULGADAS

[0021] La siguiente exposición se refiere a diversas realizaciones. Sin embargo, un experto en la materia entenderá que los ejemplos aquí expuestos tienen una amplia aplicación, y que la discusión de cualquier realización se entiende sólo como un ejemplo de esa realización, y no pretende sugerir que el alcance de la divulgación, incluyendo las reivindicaciones, se limita a esa realización. Las figuras de los dibujos no están necesariamente a escala. Ciertas características y componentes pueden mostrarse a escala exagerada o de forma algo esquemática, y algunos detalles de elementos convencionales pueden no mostrarse en aras de la claridad y la concisión.

[0022] En la siguiente discusión y en las reivindicaciones, los términos "incluyendo" y "comprendiendo" se utilizan de manera abierta y, por lo tanto, deben interpretarse como que significan "incluyendo, pero no limitado a...". Además, el término "acoplar" o "acopla" pretende significar una conexión indirecta o directa. Por lo tanto, si un primer dispositivo se acopla a un segundo dispositivo, esa conexión puede ser a través de una conexión directa o a través de una conexión indirecta, como se logra a través de otros dispositivos, componentes y conexiones. Además, como se usa en este documento, los términos "axial" y "axialmente" generalmente significan a lo largo o paralelo a un eje central (por ejemplo, el eje central de un cuerpo o un puerto), mientras que los términos "radial" y "radialmente" generalmente significan perpendicular al eje central. Por ejemplo, una distancia axial se refiere a una distancia medida a lo largo o paralela al eje central, y una distancia radial significa una distancia medida perpendicular al eje central. Cualquier referencia a arriba o abajo en la descripción y las reivindicaciones se realiza con fines de claridad, con "arriba", "superior", "hacia arriba", "flujo ascendente" o "ascendente" significando hacia la

superficie del pozo y con “abajo”, “inferior”, “hacia abajo”, “flujo descendente” o “descendente” significando hacia el extremo terminal del pozo, independientemente de la orientación del pozo.

[0023] Como se ha descrito anteriormente, las herramientas de reducción de la fricción pueden utilizarse a veces para reducir la fricción entre una sarta de perforación y una pared lateral de un pozo. En particular, la herramienta de reducción de la fricción puede inducir un movimiento oscilatorio en la sarta de perforación en un esfuerzo por romper la fricción estática y evitar que la sarta de perforación se adhiera a la pared lateral del pozo. Las herramientas convencionales de reducción de la fricción pueden comprender un agitador y un oscilador o herramienta de choque situada ascendente del agitador (por ejemplo, entre el agitador y un extremo superior de la sarta de perforación en la superficie). El agitador puede incluir una válvula que obstruye o estrangula periódica y bruscamente el flujo de fluido de perforación a través del agitador, creando así un impulso de presión dentro del fluido de perforación que se desplaza ascendente hasta la herramienta de choque. La herramienta de choque puede incluir un mandril cargado por resorte que puede extenderse en respuesta a la aplicación del pulso de presión contra el mandril y que también puede retraerse en respuesta a una fuerza de polarización aplicada contra el mandril por un miembro de polarización de la herramienta de choque después de que se haya disipado el pulso de presión. En consecuencia, la herramienta de choque puede periódicamente axialmente extender y retraer en respuesta a la aplicación periódica de pulsos de presión dentro del fluido de perforación inducida por el agitador colocado descendente de la herramienta de choque. El movimiento oscilatorio axial inducido en la herramienta de choque puede comunicarse a la sarta de perforación acoplada a la herramienta de choque para impedir que la sarta de perforación se adhiera a la pared lateral del pozo.

[0024] Los agitadores de fondo de pozo pueden incluir un par de placas o cuerpos de válvula que forman un sello de metal con metal entre ellos para abrir y cerrar periódicamente los pasos de flujo formados en el par de cuerpos de válvula a medida que el par de cuerpos de válvula gira uno con respecto al otro. De esta manera, el par de cuerpos de válvula puede accionar continuamente el agitador entre configuraciones abiertas y cerradas a medida que el par de cuerpos de válvula continúa girando uno con respecto al otro. Por ejemplo, un primer cuerpo de válvula del par de cuerpos de válvula puede estar conectado a un rotor de una disposición de rotor y estator y, por lo tanto, puede girar con respecto a un segundo cuerpo de válvula del par de cuerpos de válvula en respuesta al flujo de fluido de perforación a través del agitador.

[0025] A menudo, el primer cuerpo de la válvula giratoria está desalineado angularmente con respecto al segundo cuerpo de la válvula estacionaria, lo que da como resultado que sólo una pequeña porción de una superficie de contacto o sellado del cuerpo de la válvula giratoria entre en contacto con una superficie de contacto o sellado correspondiente del cuerpo de la válvula estacionaria. En otras palabras, un eje central del cuerpo de la válvula giratoria puede estar en un ángulo distinto de cero con respecto a un eje central del cuerpo de la válvula estacionaria cuando el cuerpo de la válvula giratoria se desliza hacia el cuerpo de la válvula estacionaria.

[0026] Dadas las tolerancias de fabricación y otros aspectos prácticos, puede ser extremadamente difícil producir un agitador en el que el par de cuerpos de válvula permanezcan en una alineación angular sustancial durante el funcionamiento del agitador. Por ejemplo, es típico que un revestimiento

de estator de la disposición de rotor y estator tenga un desplazamiento respecto a la línea central que varía a lo largo de la longitud de la revestimiento de estator. Dado que el revestimiento de estator orienta y posiciona el rotor con respecto a la carcasa del estator en la que se encuentra el revestimiento de estator, el desplazamiento del revestimiento de estator produce una desalineación angular entre el eje central del cuerpo de la válvula giratoria y el eje central de la carcasa del estator y el eje central del cuerpo de la válvula estacionaria, que normalmente está conectado y alineado con la carcasa del estator. La desalineación angular producida entre el par de cuerpos de válvula da lugar a cargas puntuales significativamente elevadas a las que el par de cuerpos de válvula, relativamente frágiles, es susceptible de fracturarse. Por lo tanto, las cargas puntuales elevadas impartidas al par de cuerpos de válvula debido a la desalineación angular entre ellos pueden potencialmente dañar o minimizar la vida operativa del par de cuerpos de válvula.

[0027] En consecuencia, en el presente documento se describen realizaciones de agitadores y sistemas de reducción de fricción que incluyen un par de placas o cuerpos de válvula, donde al menos uno de los cuales está acoplado a un asiento de válvula flexible para permitir que el cuerpo de válvula se flexione con respecto a una carcasa (por ejemplo, una carcasa de estator) del agitador. El asiento de válvula flexible puede comprender un material flexible, como un material elastomérico que tenga una clasificación de durómetro relativamente baja. Alternativamente, el asiento de válvula flexible puede estar hecho de un material relativamente más rígido, pero configurado como un elemento de polarización mecánica, como un resorte ondulado, un resorte de arco, una arandela flexible, etc. El asiento de válvula flexible puede estar bloqueado de manera rotatoria al adaptador de válvula a través de un adhesivo o un enclavamiento mecánico, como una disposición de lengüeta y ranura. Además, el asiento de válvula flexible y la superficie exterior correspondiente del cuerpo de válvula al que está acoplado pueden estar ahusados para ayudar a conectar el cuerpo de válvula al asiento de válvula flexible.

[0028] Como ejemplo, el cuerpo de válvula estacionario puede estar conectado a la carcasa del estator a través de un adaptador de válvula estacionario y un asiento de válvula flexible correspondiente configurado para permitir que el adaptador de válvula estacionario se flexione y, por lo tanto, entre en desalineación angular con el adaptador de válvula estacionario. De esta manera, el cuerpo de válvula estacionario puede flexionarse en respuesta al contacto entre los cuerpos de válvula giratorios y estacionarios, por lo que el cuerpo de válvula estacionario puede mantener una alineación angular sustancial entre los ejes centrales de los cuerpos de válvula giratorios y estacionarios. Al permitir que al menos uno del par de cuerpos de válvula se flexione con respecto a su respectivo adaptador de válvula, las cargas puntuales aplicadas al par de cuerpos de válvula pueden minimizarse ya que los ejes centrales del par de cuerpos de válvula permanecen sustancialmente paralelos durante el funcionamiento del agitador. De esta manera, el asiento de válvula flexible puede reducir el grado de desgaste y daño relacionado con fracturas incurrido por el par de cuerpos de válvula y maximizar la vida útil operativa del par de cuerpos de válvula.

[0029] Con referencia a la Figura 1, se muestra una realización de un pozo o sistema de perforación 10 para perforar o producir hidrocarburos a partir de un pozo o pozo de sondeo. En esta realización ejemplar, el sistema de perforación 10 generalmente incluye una estructura de soporte vertical o torre de perforación

12 sostenida por una plataforma de perforación 14. La plataforma 14 incluye una plataforma de perforación o piso de perforación 16 que soporta una mesa giratoria 18 que gira selectivamente mediante un motor principal (no mostrado), tal como un motor eléctrico, controlado por un controlador de motor. La torre de perforación 12 incluye un bloque móvil 20 controlado por un malacate 22 para elevar y bajar una columna de perforación 24 suspendida del bloque móvil 20. La columna de perforación 24 del sistema de perforación 10 se extiende hacia abajo a través de la mesa giratoria 18, una pila de preventores de reventones (BOP) 26 y dentro de un pozo 3 que se extiende dentro de una formación de tierra subterránea 5 a lo largo de un eje central o longitudinal 15 desde la superficie 7. La columna de perforación 24 está formada a partir de una pluralidad de juntas de tubería de perforación 28 conectadas de extremo a extremo. En esta realización ejemplar, un ensamble de fondo de pozo (BHA) 30 está unido a la junta de tubería más baja 28 y una broca 32 está unida al extremo de fondo de pozo del BHA 30. En otras realizaciones, el sistema de perforación 10 puede comprender un sistema de perforación en alta mar que incluye una columna de perforación que se extiende a través de un tubo ascendente marino y dentro de un pozo submarino.

[0030] En esta realización, la broca 32 se hace girar con la mesa giratoria 18 a través de la columna de perforación 24 y el BHA 30. Al girar la broca 32 con peso sobre la broca (WOB) aplicado a la misma, la broca 32 desintegra las formaciones del subsuelo para perforar el pozo 3. En algunas realizaciones, se puede utilizar un mando superior para girar la columna de perforación 24 en lugar de la rotación mediante la mesa giratoria 18. En algunas aplicaciones, se dispone un motor de fondo de pozo (motor de lodo) 35 en la columna de perforación 24 para hacer girar la broca 32 en lugar de o además de hacer girar la columna de perforación 24 desde la superficie 7. En particular, el motor de lodo 35 puede hacer girar la broca 32 cuando un fluido de perforación pasa a través del motor de lodo 35 bajo presión. En esta realización ejemplar, se instala una sarta de revestimiento 34 y se extiende hacia abajo generalmente desde la superficie 7 hacia al menos una porción del pozo 3. En algunas realizaciones, la sarta de revestimiento 34 se cementa dentro del pozo 3 para aislar varias zonas de tierra separadas verticalmente y evitar la transferencia de fluido entre las zonas. La pila BOP 26 se asegura al extremo superior del pozo de la sarta de revestimiento 34. La sarta de revestimiento 34 puede comprender múltiples miembros tubulares, como piezas de tubería roscada que se unen de extremo a extremo para formar conexiones herméticas a líquidos o herméticas a gases, para evitar el intercambio de fluido y presión entre el pozo 3 y la zona de tierra circundante.

[0031] Se forma un espacio anular o anillo 36 entre la pared lateral 9 del pozo 3 y la sarta de perforación 24 y entre la superficie interior de la sarta de revestimiento 34 y la sarta de perforación 24. En otras palabras, el anillo 36 se extiende a través del pozo 3 y la sarta de revestimiento 34. En otras palabras, el anillo 36 se extiende a través del pozo 3 y la sarta de revestimiento 34. La pila BOP 26 incluye un espacio anular o una vía de flujo en comunicación fluida con el ánulo 36. Un operador o sistema de control de perforación del sistema de perforación 10 puede abrir y cerrar de forma selectiva y controlable uno o más BOP de la pila BOP 26 para permitir, restringir o inhibir el flujo de fluido de perforación u otro fluido a través del anillo 36. En esta realización ejemplar, el sistema de perforación 10 incluye un sistema de circulación de fluido de perforación para hacer circular fluido de perforación o lodo 40 a través de la sarta de perforación 24 y de vuelta al anillo 36. El fluido de perforación 40 generalmente funciona para enfriar la

broca de perforación 32, eliminar los recortes del fondo del pozo 3 y mantener una presión deseada o un perfil de presión en el pozo 3 durante las operaciones de perforación. El sistema de perforación incluye además un depósito de fluido de perforación o tanque de lodo 42, una bomba de suministro 44, una línea de suministro 46 conectada a la salida de la bomba de suministro 44, y un tubo de suministro 48 para suministrar fluido de perforación 40 a la sarta de perforación 24.

[0032] En esta realización ejemplar, junto con las juntas de la tubería de perforación 28, la sarta de perforación 24 incluye un sistema de reducción de la fricción 50 que incluye un agitador flexible 100 y está configurado para reducir la fricción entre la sarta de perforación 24 y la pared lateral 9 del pozo 3 al tiempo que evita o al menos minimiza el daño a una pared lateral o torta de lodo del pozo 3. Aunque en la figura 1 se muestra un único sistema de reducción de la fricción 50, en otras realizaciones, el sistema de perforación 10 puede incluir una pluralidad de sistemas de reducción de la fricción 50 espaciados a lo largo de la sarta de perforación 24. Adicionalmente, mientras que en esta realización ejemplar el agitador 100 comprende un componente del sistema de reducción de fricción 50, en otras realizaciones, el agitador 100 puede no comprender un componente del sistema 50 y en su lugar puede estar asociado con otro equipamiento del sistema de perforación 10. En esta realización ejemplar, el sistema de perforación 10 puede ser operado mediante el cual el fluido de perforación 40 es bombeado a través de la sarta de perforación 24 y al motor de lodo 35 para hacer rotar la broca de perforación 32. Como el motor de lodo 35 es operado para rotar la broca de perforación 32, la sarta de perforación 24 puede no ser rotada en la superficie por la mesa rotatoria 18 y en su lugar puede deslizarse axialmente a través del pozo 3. El fluido de perforación puede ser bombeado a una presión de fluido de perforación a través del sistema de reducción de fricción 50 para inducir un movimiento oscilatorio axial en la sarta de perforación 24 y romper así la fricción estática entre la sarta de perforación 24 y la pared lateral 9 del pozo 3.

[0033] Con referencia ahora a las Figuras 2, 3A y 3B, se muestra una realización del agitador 100. En esta realización ejemplar, el agitador 100 tiene un eje central o longitudinal 105 y generalmente incluye un sub primero o superior 102, un sub segundo o inferior 120 que está opuesto al sub superior 102, un sub de potencia o sección 140 y una válvula rotativa 200. Si bien no se muestra en las Figuras 2, 3A y 3B, el agitador 100 puede combinarse con un sub de choque para formar el sistema de reducción de fricción 50 que se muestra en la Figura 1. Alternativamente, el agitador 100 puede combinarse con un equipo distinto o adicional a un sub de choque.

[0034] Los sub superior e inferior 102, 120 del agitador 100 pueden acoplar cada uno el agitador 100 a la columna de perforación 24. El sub superior 102 incluye un primer extremo o extremo superior 104, un segundo extremo o extremo inferior 106 que está opuesto al extremo superior 104, y un orificio o paso central 108 que se extiende entre los extremos 104, 106. El sub superior 102 también incluye un conector superior interno 110 en el extremo superior 104 del mismo y formado en una superficie interior del sub superior 102. El conector superior 110 puede conectarse de manera liberable o roscada a una junta de tubería de perforación 28 de la columna de perforación 24 del sistema de perforación 10 que se muestra en la Figura 1. El sub superior 102 incluye además un conector inferior externo 112 en el extremo inferior 106 del mismo y formado en una superficie exterior del sub superior 102. El conector inferior 112 puede conectarse de manera liberable o roscada a un extremo ascendente del sub de potencia 140 del agitador 100.

[0035] En esta realización ejemplar, una guía de dardo 116 está conectada al sub superior 102 y se proyecta hacia afuera desde el extremo inferior del pozo 106 del sub superior 102. La guía de dardo 116 incluye un orificio o paso central que se reduce gradualmente en diámetro al moverse desde un primer extremo o extremo superior del pozo de la guía de dardo 116 conectado al extremo inferior del pozo 106 del sub superior 102 hasta un segundo extremo o extremo inferior del pozo que está opuesto al extremo superior del pozo de la guía de dardo 116. La guía de dardo 116 incluye además una pluralidad de aberturas o puertos radiales espaciados circunferencialmente. La guía de dardo 116 está configurada para guiar un miembro de obturación o dardo transportado por flujo hacia el sub de potencia 140 del agitador 100. Además, la guía de dardo 116 puede ayudar a dirigir un flujo de fluido de perforación a través del sub de potencia 140 del agitador 100. Además, la guía de dardo 116 puede actuar como un retén de rotor para evitar que un rotor 160 del sub de potencia 140 retroceda y se desacople de una carcasa de estator 142 del sub de potencia 140. Además, se puede entender que en otras realizaciones, el agitador 100 puede no incluir la guía de dardo 116.

[0036] El sub inferior 120 incluye un primer extremo o extremo superior 122, un segundo extremo o extremo inferior 124 que está opuesto al extremo superior 122 y un orificio o paso central 126 que se extiende entre los extremos 122, 124. El sub inferior 120 también incluye un conector superior externo 128 en el extremo superior 122 del mismo y formado sobre una superficie exterior del sub inferior 120. El conector superior 128 puede conectarse de manera liberable o roscable al sub de potencia 140 del agitador 100 como se explicará más adelante. El sub inferior 120 incluye además un conector inferior externo 130 en el extremo inferior 124 del mismo y formado sobre una superficie exterior del sub inferior 120. El conector inferior 130 puede conectarse de manera liberable o roscable a una junta de tubería de perforación 28 de la sarta de perforación 24 del sistema de perforación 10.

[0037] Haciendo referencia aún a las Figuras 2, 3A, 3B, 4 y 5, el sub de potencia 140 del agitador 100 está configurado generalmente para hacer circular el fluido de perforación en respuesta al bombeo del fluido de perforación 40 en la superficie por la bomba de suministro 44 mostrada en la Figura 1 a lo largo de una pluralidad de trayectorias de flujo distintas. En esta realización ejemplar, el sub de potencia 140 incluye generalmente una carcasa o carcasa de estator 142 y un rotor 160 dispuesto de manera giratoria en la carcasa de estator 142. La carcasa de estator 142 tiene un eje central o longitudinal 145 (mostrado en la Figura 5) e incluye un primer extremo o extremo superior 144, un segundo extremo o extremo inferior 146 y un paso central definido por una superficie interior generalmente cilíndrica 148 que se extiende entre los extremos 144, 146. La superficie interior 148 de la carcasa de estator 142 incluye un primer conector o extremo superior interno 150 posicionado en el extremo superior 144 y que forma un primer extremo o extremo de caja superior de la carcasa de estator 142. El conector superior 150 está configurado para acoplarse de manera roscada con el conector inferior 112 del sub superior 102 para acoplar la carcasa de estator 142 con el sub superior 102. Además, un ensamble de sello anular puede posicionarse en el extremo superior 102. interfaz formada entre el extremo superior 144 de la carcasa del estator 142 y el extremo inferior 106 del sub superior 102 para sellar la conexión formada entre ellos.

[0038] La superficie interior 148 de la carcasa del estator 142 incluye adicionalmente un segundo conector interno o conector de fondo de pozo 152 posicionado en el extremo de fondo de pozo 146 de la misma, formando un segundo extremo o extremo de caja de fondo de pozo de la carcasa del estator 142.

El conector de fondo de pozo 152 de la carcasa del estator 142 puede conectarse al conector de fondo de pozo 128 del sub inferior 120. En esta realización ejemplar, un revestimiento o inserto de estator elastomérico de forma helicoidal 154 está formado en la superficie interior 148 de la carcasa del estator 142. Una superficie interior de forma helicoidal 156 del inserto de estator 154 define una pluralidad de lóbulos de estator 158 (solo algunos de los cuales están etiquetados en las Figuras 3A y 3B en aras de la claridad). En otras realizaciones, la carcasa del estator 142 puede no incluir un inserto y, en su lugar, puede comprender un único cuerpo formado monolíticamente.

[0039] En esta realización ejemplar, el rotor 160 tiene un eje central o longitudinal 175 (mostrado en la Figura 5) e incluye un primer extremo o extremo superior 162, un segundo extremo o extremo inferior 164 que está opuesto al extremo superior 162, y una superficie exterior 165 de forma helicoidal que se extiende entre los extremos 162, 164 y que define una pluralidad de lóbulos del rotor 166 (sólo unos pocos de los cuales están etiquetados en las Figuras 3A y 3B en aras de la claridad) que se entrelazan con los lóbulos del estator 158 de la carcasa 142 del estator. El rotor 160 incluye además un orificio central o paso 168 que se extiende completamente a través del rotor 160 entre los extremos 162, 164, y un receptáculo de fondo de pozo 170 que se extiende dentro del rotor 160 desde el extremo de fondo de pozo 164 del mismo. Como se describirá más adelante, en esta realización ejemplar, el rotor 160 interactúa con la válvula rotativa 200 del agitador 100 a través del receptáculo de fondo de pozo 170 del mismo.

[0040] En esta realización ejemplar, el agitador 100 puede incluir un miembro obturador transportado por flujo o dardo 172 (mostrado en la Figura 3A). Específicamente, el agitador 100, incluyendo los subsistemas 102, 120, el subsistema de potencia 140, y la válvula rotatoria 200, pueden ser inicialmente introducidos en el pozo 3 a lo largo de la sarta de perforación 24 sin el dardo 172. El agitador 100 puede entonces ser operado dentro del pozo 3 sin el dardo 172. El agitador 100 puede entonces ser operado dentro del pozo 3 para inducir una oscilación en al menos una porción de la sarta de perforación 24. En algún momento durante la operación del agitador 100, puede ser deseable ajustar la frecuencia de la oscilación inducida en la sarta de perforación 24 por el agitador 100. El dardo 172 puede ser transportado por el flujo a lo largo de la sarta de perforación 24 sin el dardo 172. El dardo 172 puede ser transportado por flujo o bombeado desde la superficie 7 a través de la sarta de perforación 24 y aterrizado dentro de la potencia sub 140 por lo que el agitador 100 puede inducir una oscilación en la sarta de perforación 24 a una segunda frecuencia que es diferente de la primera frecuencia. Puede entenderse que el dardo 172 comprende un componente opcional que puede no ser bombeado dentro de la subunidad de potencia 140 durante cada uso del agitador 100.

[0041] En esta realización ejemplar, el dardo 172 incluye una boquilla de dardo 174 posicionada dentro de un paso central del dardo 172. Un perfil de aterrizaje externo 173 del dardo 172 está configurado para aterrizar contra un perfil de aterrizaje interno formado en una superficie cilíndrica interna del rotor 160 que define el paso central 168 del mismo. El dardo 172 puede incluir además un par de ensambles de sellado anular formados en una superficie exterior del mismo y configurados para sellar la superficie interior del rotor 160 al aterrizar en el mismo. Los ensambles de sellado del dardo 172 pueden restringir un flujo de fluido a través de una interfaz anular formada entre la superficie interior del rotor 160 y la superficie exterior del dardo 172. Adicionalmente, en esta realización ejemplar, a medida que el dardo 172 es bombeado, el dardo 172 es guiado dentro del paso central 168 del rotor 160 por la guía 116 del rotor. Particularmente,

la reducción gradual en el diámetro del paso central de la guía del dardo 116 centraliza el dardo 172 dentro de la potencia sub 140 para alinear suficientemente un eje central del dardo 172 y el eje central del rotor 160 para permitir que el dardo 172 ingrese al paso central 168 del rotor 160. La guía de dardo 116 también puede prevenir que el rotor 160 se desplace hacia arriba debido a la presión negativa que puede ocurrir después de una patada en el pozo.

[0042] Como se muestra mejor en la figura 5, en esta realización ejemplar, el rotor 160 tiene un lóbulo 166 menos que la carcasa del estator 142. En esta configuración, cuando se ensamblan el rotor 160 y la carcasa del estator 142, se forma una serie de cavidades 178 entre la superficie exterior 165 del rotor 160 y la superficie interior 156 del inserto del estator 154 de la carcasa del estator 142. Cada cavidad 178 está sellada de las cavidades adyacentes mediante juntas formadas a lo largo de la superficie de contacto de la carcasa del estator 142. Cada cavidad 178 está sellada de las cavidades 178 adyacentes mediante juntas formadas a lo largo de las líneas de contacto entre la carcasa del estator 142 y el rotor 160. Además, el eje central 175 del rotor 160 está desplazado radialmente con respecto al eje central 145 de la carcasa del estator 142 en un valor fijo conocido como la "excentricidad" del ensamble rotor-estator. En consecuencia, el rotor 160 puede describirse como girando excéntricamente dentro de la carcasa 142 del estator.

[0043] En esta realización ejemplar, el ensamble de la carcasa del estator 142 y el rotor 160 forma un dispositivo de cavidad progresiva, y en particular, un motor de cavidad progresiva configurado para transferir la presión del fluido aplicada al ensamble rotor-estator en par rotacional aplicado al rotor 160. Específicamente, durante el funcionamiento del agitador 100, el fluido de perforación 40 se bombea a presión a un extremo ascendente del agitador 100. Una primera porción del fluido de perforación 40 se bombea a presión a un extremo ascendente del agitador 100. Una primera porción del fluido de perforación 40 que entra en el agitador 100 fluye a lo largo de un primer o primer recorrido de flujo 180 que se extiende a través del paso central 168 del rotor 160. Una segunda porción del fluido de perforación 40 que entra en el agitador 100 fluye en cambio alrededor del paso central 168 del rotor 160 a lo largo de una segunda trayectoria de flujo 182 y dentro de un primer conjunto de cavidades abiertas 178. Un diferencial de presión a través de las cavidades adyacentes 178 fuerza al rotor 160 a rotar con respecto a la carcasa 142 del estator. A medida que el rotor 160 gira dentro del alojamiento del estator 142, las cavidades adyacentes 178 se abren y se llenan con el fluido de perforación 40 que fluye a lo largo de la segunda trayectoria de flujo 182.

[0044] A medida que este proceso de rotación y llenado se repite de manera continua, el fluido de perforación 40 que fluye a lo largo de la segunda trayectoria de flujo 182 fluye progresivamente hacia abajo a lo largo de la carcasa del estator 142 y continúa impulsando la rotación del rotor 160. El rotor 160 gira alrededor del eje central 175 del rotor 160 en una primera dirección de rotación (indicada por la flecha 167 en la figura 5). Además, el rotor 160 gira alrededor del eje central 145 de la carcasa del estator 142 en una segunda dirección de rotación (indicada por la flecha 169 en la Figura 5) que es la opuesta a la primera dirección de rotación de la flecha 167.

[0045] Haciendo referencia ahora a las Figuras 3B, 6-11, se proporcionan vistas adicionales de la válvula 200 en las Figuras 6-11. La válvula rotativa 200 del agitador 100 está configurada para aplicar periódicamente la presión de al menos parte del fluido de perforación 40 que fluye a través de la válvula

rotativa 200 contra el sub inferior 120. Los impulsos de presión generados por la válvula rotativa 200 pueden aplicarse al sub inferior 120 para generar periódicamente un movimiento oscilatorio. Los pulsos de presión generados por la válvula rotativa 200 pueden ser aplicados a un sub de choque para generar periódicamente movimiento oscilatorio en la sarta de perforación 24. En esta realización ejemplar, la válvula rotativa 200 generalmente incluye un primer adaptador de válvula 202 o de fondo de pozo, un segundo adaptador de válvula 230 o de fondo de pozo, un primer plato o cuerpo de válvula 250 o de fondo de pozo, un segundo plato o cuerpo de válvula 280 o de fondo de pozo, y un asiento de válvula 310 flexible.

[0046] El adaptador de válvula de pozo 202 recibe el cuerpo de válvula de pozo 250 y acopla o asegura el cuerpo de válvula de pozo 250 al rotor 160 del sub de potencia 140, por lo que se restringe la rotación relativa entre el cuerpo de válvula de pozo 250 y el rotor 160. Como se muestra particularmente en la Figura 6, el adaptador de válvula de pozo 202 incluye un primer extremo o extremo de pozo 204, un segundo extremo o extremo de fondo de pozo 206 que está opuesto al extremo de pozo 204, y un orificio o paso central 208 que se extiende entre los extremos 204, 206. El adaptador de válvula de pozo 202 también incluye un conector de pozo externo 210 en el extremo de pozo 204 del mismo y formado en una superficie exterior del adaptador de válvula de pozo 202. El conector de pozo 210 puede conectarse de manera liberable o roscada a un conector de fondo de pozo formado en el receptáculo 170 del rotor 160, por lo que el adaptador de válvula de pozo 202 puede recibido y asegurado en el receptáculo 170 para conectar el adaptador de válvula de pozo 202 con el rotor 160. Un ensamble de sello anular puede estar posicionado en la interfaz formada entre el receptáculo 170 del rotor 160 y el extremo de pozo 204 del adaptador de válvula de pozo 202 para sellar la conexión formada entre ellos. Alternativamente, un sello de metal a metal puede estar formado directamente entre el receptáculo 170 y el adaptador de válvula de pozo 202. El adaptador de válvula de pozo 202 incluye además un receptáculo de fondo de pozo 212 formado en el mismo en el extremo de fondo de pozo 206 del mismo. El receptáculo de fondo de pozo 212 puede recibir una porción del cuerpo de válvula de pozo 250 para asegurar el cuerpo de válvula 250 al adaptador de válvula de pozo 202. Por ejemplo, el adaptador de válvula de pozo 202, con el cuerpo de válvula de pozo 250 recibido en el receptáculo de fondo de pozo 212, puede ajustarse por contracción mediante contracción por calor sobre el cuerpo de válvula de pozo 250 para bloquear el adaptador de válvula de pozo 202 al cuerpo de válvula 250. En otras realizaciones, se pueden utilizar varios mecanismos y técnicas para conectar el cuerpo de válvula de pozo 250 con el adaptador de válvula de pozo 202.

[0047] El adaptador de válvula de fondo de pozo 230 de la válvula rotativa 200 tiene un eje central o longitudinal 235 y de manera similar incluye un primer extremo o extremo de fondo de pozo 232, un segundo extremo o extremo de fondo de pozo 234 que está opuesto al extremo de fondo de pozo 232, y un orificio o paso central 236 definido por una superficie interna generalmente cilíndrica 237 que se extiende entre los extremos 232, 234. El adaptador de válvula de fondo de pozo 230 también incluye un receptáculo de fondo de pozo 238 en el mismo en el extremo de fondo de pozo 232 del mismo. El receptáculo de fondo de pozo 238 puede recibir una porción del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 para asegurar el cuerpo de válvula 280 al adaptador de válvula de fondo de pozo 230.

[0048] El adaptador de válvula de fondo de pozo 230 incluye además un conector de fondo de pozo externo 240 en el extremo de fondo de pozo 234 del mismo y formado en una superficie exterior del adaptador de válvula de fondo de pozo 230. El conector de fondo de pozo 240 puede conectarse de forma

liberable o roscable al extremo de fondo de pozo 122 del sub inferior 120 para acoplar el adaptador de válvula de fondo de pozo 230 y el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 al sub inferior 120. Un ensamble de sello anular puede colocarse en la interfaz formada entre el extremo de fondo de pozo 234 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230 y el extremo de fondo de pozo 122 del sub inferior 120 para sellar la conexión formada entre ellos. Además, como se describirá más adelante, el asiento de válvula flexible 310 también se recibe en el receptáculo de fondo de pozo 238 entre el adaptador de válvula de fondo de pozo 230 y la porción del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 recibida en el receptáculo 238. Como se describirá más adelante en el presente documento, el asiento de válvula flexible 310 proporciona una conexión flexible entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el adaptador de válvula de fondo de pozo 230 de tal manera que el cuerpo de válvula 280 puede flexionarse con respecto al adaptador de válvula 230 y el submarino inferior 120 conectado al mismo.

[0049] Como se muestra particularmente en las Figuras 6 y 7, el cuerpo de válvula de pozo superior 250 de la válvula rotativa 200 tiene un eje central o longitudinal 251 (mostrado en la Figura 6) e incluye generalmente un primer extremo de pozo superior 252, un segundo extremo de pozo inferior 254 que está opuesto al extremo de pozo superior 252, un orificio o paso central 256 definido por una superficie interior generalmente cilíndrica 258 que se extiende entre los extremos 252, 254, y una superficie exterior generalmente cilíndrica 260 que también se extiende entre los extremos 252, 254. El extremo de pozo inferior 254 define una cara de contacto de pozo inferior generalmente plana 255 del cuerpo de válvula de pozo superior 250. En esta realización ejemplar, el cuerpo de válvula de pozo superior 250 incluye adicionalmente una pluralidad de pasos de flujo de pozo superior espaciados circunferencialmente 262. Cada paso de flujo de pozo superior 262 se extiende desde la cara de contacto de pozo inferior 255 a la superficie exterior 260 del cuerpo de la válvula de pozo superior 250. Como se explicará más adelante en el presente documento, los pasos de flujo de pozo superior 262 pueden comunicarse con pasos de flujo correspondientes del cuerpo de la válvula de fondo de pozo 280 cuando un área definida por los cuerpos de válvula 250 y 280 de la válvula rotativa 200 está en una configuración abierta para maximizar el área de flujo a través de la misma para minimizar una caída de presión a través de la válvula rotativa 200. En esta realización ejemplar, uno o más puertos de enfriamiento de pozo superior 257 están formados en y se extienden a la cara de contacto de fondo de pozo 255 del cuerpo de la válvula de pozo superior 250.

[0050] Además, en esta realización ejemplar, el cuerpo de la válvula de fondo de pozo 250 incluye una pluralidad de puertos radiales 264 circunferencialmente espaciados. En particular, cada puerto radial 264 está alineado circunferencialmente con un paso de flujo 262 correspondiente. En esta configuración, cada puerto radial 264 se extiende desde un paso de flujo correspondiente 262 al paso central 256 del cuerpo de válvula de pozo ascendente 250 proporcionando así comunicación fluida entre el paso de flujo 262 y el paso central 256.

[0051] El cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 de la válvula rotativa 200 tiene un eje central o longitudinal 281 y generalmente incluye un primer extremo o extremo de pozo 282, un segundo extremo o extremo de pozo 284 que está opuesto al extremo de pozo 282, un orificio o paso central 286 definido por una superficie interior generalmente cilíndrica 288 que se extiende entre los extremos 282, 284, y una superficie exterior generalmente cilíndrica 290 que también se extiende entre los extremos 282,

284. El extremo de pozo 282 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 define una cara de contacto de pozo generalmente plana 285 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280. Como se describirá más adelante en el presente documento, se forma un sello de metal a metal entre la cara de contacto de pozo 255 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 y la cara de contacto de pozo 285 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280, por lo que se produce una rotación relativa entre los cuerpos de válvula 250 y 280 da como resultado que la válvula rotatoria 200 cambie cíclicamente entre las configuraciones abierta y cerrada. En esta realización ejemplar, uno o más puertos de enfriamiento de fondo de pozo 287 (mostrados en la Figura 8) están formados en y se extienden hasta la cara de contacto de fondo de pozo 285 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280. Los puertos de enfriamiento de fondo de pozo 287 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 están en comunicación fluida con los puertos de enfriamiento de fondo de pozo 257 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 250. Los puertos de enfriamiento 257, 287 de los cuerpos de válvula 250 y 280 retienen fluido (por ejemplo, fluido de perforación) para enfriar los cuerpos de válvula 250 y 280. Se puede entender que en otras realizaciones los cuerpos de válvula 250 y 280 pueden no incluir los puertos de enfriamiento 257 y 287, respectivamente.

[0052] En esta realización ejemplar, el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 incluye una pluralidad de pasos de flujo de fondo de pozo 298 circunferencialmente espaciados. Cada paso de flujo de fondo de pozo 298 se extiende desde la cara de contacto de fondo de pozo 285 hasta la superficie exterior 290 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280. Como se discutirá más adelante, los pasos de flujo de fondo de pozo 298 pueden comunicarse con los correspondientes pasos de flujo de fondo de pozo 262 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 cuando la válvula rotativa 200 está en la configuración abierta, mientras que la comunicación de fluidos directamente entre los pasos de flujo 262 y 298 está restringida cuando la válvula rotativa 200 está en la configuración cerrada.

[0053] El cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 se coloca axialmente adyacente al cuerpo de válvula de fondo de pozo 280, por lo que la cara de contacto de fondo de pozo 255 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 puede contactar con la cara de contacto de fondo de pozo 285 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280. En algunas realizaciones, se forma una interfaz de sellado metal-metal 275 generalmente plana (mostrada en la figura 6) entre la parte de la cara de contacto de fondo de pozo 255 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 que está en contacto con la cara de contacto de fondo de pozo 285 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 mediante la cual se restringe la comunicación de fluidos a través de la interfaz de sellado 275. Los cuerpos de válvula 250 y 280 pueden estar formados a partir de materiales endurecidos configurados para resistir el desgaste por fricción como, por ejemplo, materiales basados en tungsteno como el carburo de tungsteno. En esta realización ejemplar, el cuerpo de válvula 250 de fondo de pozo está bloqueado rotacionalmente al rotor 160 del sub de potencia, mientras que el cuerpo de válvula 280 de fondo de pozo está generalmente bloqueado rotacionalmente a la carcasa del estator 142 del sub de potencia (el asiento de válvula flexible 310 permite un grado limitado de movimiento entre el cuerpo de válvula 280 y la carcasa del estator 142).

[0054] Como se muestra particularmente en la Figura 11, el cuerpo de la válvula de fondo de pozo 280 está conectado al adaptador de la válvula de fondo de pozo 230 a través del asiento de válvula flexible 310 que permite un grado limitado de movimiento relativo entre el cuerpo de la válvula de fondo

de pozo 280 y tanto el adaptador de la válvula de fondo de pozo 230 como el sub inferior 120. Aunque en esta realización ejemplar es el cuerpo de la válvula de fondo de pozo 280 el que está conectado al asiento de válvula flexible 310, en otras realizaciones, solo el cuerpo de la válvula de fondo de pozo 250 puede estar conectado al asiento de válvula flexible 310 mientras que en otras realizaciones más, cada cuerpo de válvula 250 y 280 puede estar conectado a un asiento de válvula flexible separado. Se puede entender que la rigidez del asiento de válvula flexible puede ser mayor en realizaciones en las que cada cuerpo de válvula 250 y 280 está conectado a un asiento de válvula flexible separado.

[0055] El asiento de válvula flexible 310 se forma a partir de un material flexible para permitir un grado limitado de movimiento relativo o flexión entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el adaptador de válvula de fondo de pozo 230. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible 310 está formado de un material elastomérico o de goma. En algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible 310 comprende un material que tiene una dureza en la escala de dureza Shore A de entre 40 y 120 aproximadamente. En algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible 310 comprende un material que tiene una dureza en la escala de dureza Shore A de entre 70 y 90 aproximadamente. Puede entenderse que la dureza del asiento de válvula flexible 310 puede variar de los rangos ejemplares enumerados anteriormente en otras realizaciones.

[0056] Como se muestra en particular en la Figura 11, en esta realización ejemplar, el asiento de válvula flexible 310 incluye un primer extremo o extremo de fondo de pozo 312, un segundo extremo o extremo de fondo de pozo 314 que está opuesto al extremo de fondo de pozo 312, y un orificio o paso central definido por una superficie interna 316 que se extiende entre los extremos 312 y 314, y una superficie externa 318 que también se extiende entre los extremos 312 y 314. La superficie interior 316 contacta y se une a la superficie exterior 290 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280, mientras que la superficie exterior 318 del asiento de válvula flexible 310 contacta y se une a la superficie interior 237 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230. En esta realización ejemplar, la superficie interna 316 sella contra la superficie externa 290 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 mientras que la superficie externa 318 sella contra la superficie interna 237 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230, sellando así la conexión entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el adaptador de válvula de fondo de pozo 230.

[0057] En algunas realizaciones, un adhesivo tal como un adhesivo de vulcanización está situado a lo largo de la interfaz formada entre la superficie interior 316 del asiento de válvula flexible 310 y la superficie exterior 290 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280, y/o a lo largo de la interfaz formada entre la superficie exterior 318 del asiento de válvula flexible 310 y la superficie interior 237 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230. El adhesivo puede ayudar a resistir la rotación relativa entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el adaptador de válvula de fondo de pozo 250 resultante del contacto por fricción entre los adaptadores de válvula 250 y 280 durante el funcionamiento del agitador 100. En otras realizaciones, el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 puede enclavarse mecánicamente con el adaptador de válvula de fondo de pozo 250 para resistir la rotación relativa entre ellos. Por ejemplo, el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 puede incluir una lengüeta externa que se enclava en una ranura interna del adaptador de válvula de fondo de pozo 250 como parte de una disposición de lengüeta y ranura o en forma de cola de milano.

[0058] En esta realización ejemplar, el asiento de válvula flexible 310 incluye una porción o sección cilíndrica 320 y un saliente anular u hombro 322 situado en el extremo de fondo de pozo 314 del mismo y que se extiende radialmente hacia el interior desde la sección cilíndrica 310 del asiento de válvula flexible 310. La deformación de la sección cilíndrica 320 y el saliente 322 permiten un grado limitado de desalineación angular entre el eje central 281 del cuerpo 280 de la válvula de fondo de pozo y el eje central 235 del adaptador 230 de la válvula de fondo de pozo.

[0059] En esta realización ejemplar, la superficie interna 316 del asiento de válvula flexible 310 es ahusada a lo largo de la longitud longitudinal de la sección cilíndrica 320 del mismo de tal manera que un diámetro interno (DI) de la superficie interna 316 disminuye moviéndose desde el extremo de pozo ascendente 312 del mismo hasta la saliente 322. La conicidad del asiento de válvula flexible 310 coincide con una conicidad formada a lo largo de la porción de la superficie exterior 290 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 que se recibe en el receptáculo de fondo de pozo 238 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230. En algunas realizaciones, la conicidad formada a lo largo de la superficie interior 316 del asiento de válvula flexible 310 y la superficie exterior 290 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 está entre aproximadamente cero y 10°; sin embargo, el grado de conicidad a lo largo de las superficies 290 y 316 puede variar en otras realizaciones. La conicidad del asiento de válvula flexible 310 y del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 puede reforzar la conexión formada entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el asiento de válvula flexible 310, de tal manera que la conexión formada entre ellos tiene menos probabilidades de verse comprometida o romperse durante el funcionamiento del agitador 100.

[0060] Particularmente, en algunas realizaciones, un material flexible es moldeado por compresión con el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el adaptador de válvula de fondo de pozo 250 para formar un ensamble que incluye el adaptador 250, el cuerpo 280, y el asiento de válvula flexible 310 con el cuerpo 280 y el asiento 310 cada uno recibido en el receptáculo de fondo de pozo 328 del adaptador de válvula de fondo de pozo 250. Por ejemplo, con el material flexible (por ejemplo, un material elastomérico) posicionado primero en el receptáculo de fondo de pozo 328 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230, el extremo de fondo de pozo 284 del adaptador de válvula de fondo de pozo 280 se inserta en el receptáculo de fondo de pozo 328. El extremo de fondo de pozo 284 del adaptador de válvula de fondo de pozo 280 puede comprimirse entonces contra el material flexible para formar el asiento de válvula flexible 310 y unir el asiento de válvula flexible 310 tanto al cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 como al adaptador de válvula de fondo de pozo 230. Sin embargo, puede entenderse que el asiento de válvula flexible 310 puede formarse, y el ensamble del adaptador de válvula 230, el cuerpo de válvula 280, y el asiento de válvula flexible 310 puede ensamblarse, utilizando una variedad de técnicas diferentes.

[0061] Con referencia ahora a la Figura 12, se muestra otra realización de un cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 y un asiento de válvula flexible 420 junto con el adaptador de válvula de fondo de pozo 230. El cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 y el asiento de válvula flexible 420 comparten características en común con el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el asiento de válvula flexible 310 descritos anteriormente, y las características compartidas están etiquetadas de manera similar. En particular, el cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 es similar al cuerpo de válvula de fondo de pozo

280 y el asiento de válvula flexible 420 es similar al asiento de válvula flexible 310 excepto que ni el cuerpo de válvula 400 ni el asiento de válvula flexible 420 son cónicos. En particular, la porción de una superficie exterior 402 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 que se recibe en el receptáculo de pozo superior 238 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230 no es cónica a lo largo de su longitud longitudinal. De manera similar, una superficie cilíndrica interna 422 de una porción o sección cilíndrica 424 del asiento de válvula flexible 420 tampoco se estrecha a lo largo de su longitud longitudinal.

[0062] Además, en esta realización ejemplar, el asiento de válvula flexible 420 incluye una pluralidad de agujeros o aberturas 426 preformados circunferencialmente espaciados. En particular, las aberturas 426 están formadas en la sección cilíndrica 424 del asiento de válvula flexible 420; sin embargo, puede entenderse que en otras realizaciones las aberturas 426 pueden estar formadas en el saliente 322 del asiento de válvula flexible 420. Las aberturas 426 proporcionan espacio para que el material flexible que comprende el asiento de válvula flexible 420 fluya o se deforme en respuesta a la flexión del cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 con respecto al adaptador de válvula de fondo de pozo 230. La presencia de tales aberturas 426 puede reducir la cantidad de tensión y deformación impartida al asiento de válvula flexible 420 a medida que el cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 se flexiona y se mueve en relación con el adaptador de válvula de fondo de pozo 230.

[0063] Con referencia ahora a la Figura 13, se muestra otra realización de un asiento de válvula flexible 440 junto con un cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 y un adaptador de válvula de fondo de pozo 230. El asiento de válvula flexible 440 comparte características en común con los asientos de válvula flexible 310 y 420 descritos anteriormente, y las características compartidas están etiquetadas de manera similar. En particular, el asiento de válvula flexible 440 es similar al asiento de válvula flexible 400 descrito anteriormente, excepto que el asiento de válvula flexible 440 no incluye aberturas 426 y, en su lugar, incluye un cuerpo 441 y un anillo espaciador anular 442 ubicado o incrustado dentro de una porción o sección cilíndrica 444 del cuerpo 41. En esta configuración, el anillo espaciador 442 se extiende completamente alrededor del cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 y está orientado en una dirección paralela a un eje central del cuerpo de válvula de fondo de pozo 400. El cuerpo 441 puede estar formado a partir de un primer material (por ejemplo, un material elastomérico u otro material flexible) mientras que el anillo espaciador 442 puede estar formado a partir de un segundo material rígido que tiene una mayor dureza que el primer material.

[0064] El anillo espaciador 442 está formado de un material rígido y está configurado para prevenir sustancialmente que el cuerpo 400 de la válvula de fondo de pozo se desplace lateralmente del adaptador 230 de la válvula de fondo de pozo (donde el eje central del cuerpo 400 se separa lateralmente del eje central 235 del adaptador 230 de la válvula de fondo de pozo) a través de la interferencia entre el cuerpo 400 de la válvula de fondo de pozo y el anillo espaciador 442. La limitación de la formación de un desplazamiento lateral entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 y el adaptador de válvula de fondo de pozo 230 puede limitar las tensiones y deformaciones a las que se somete el asiento de válvula flexible 440 durante el funcionamiento y, por lo tanto, puede prolongar la vida operativa del asiento de válvula flexible 440 y/o del cuerpo de válvula de fondo de pozo 400. Sin embargo, mientras se intenta limitar o prevenir la formación de un desplazamiento lateral entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 y el adaptador de válvula de fondo de pozo 230, el anillo

espaciador aún permite un grado limitado de desalineación angular entre el eje central del cuerpo de válvula 400 y el adaptador de válvula 230.

[0065] Refiriéndose ahora a la Figura 14, otra realización de un adaptador de válvula de fondo de pozo 460 y un asiento de válvula flexible 480 se muestran junto con el cuerpo de válvula de fondo de pozo 400. El adaptador de válvula de fondo de pozo 460 y el asiento de válvula flexible 480 comparten características en común con el adaptador de válvula de fondo de pozo 230 y el asiento de válvula flexible 310 descritos anteriormente, y las características compartidas se etiquetan de manera similar. Particularmente, en esta realización ejemplar, el asiento de válvula flexible 480 comprende un miembro de polarización mecánica anular en forma de resorte ondulado o arandela que actúa tanto contra el extremo de fondo de pozo 284 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 como contra un saliente anular 462 del adaptador de válvula de fondo de pozo 460 que se forma a lo largo del receptáculo de fondo de pozo 238 del adaptador de válvula 460. En esta realización ejemplar, el asiento de válvula flexible 480 puede estar formado de un material más rígido (por ejemplo, un material metálico o una aleación metálica) que el material que comprende el asiento de válvula flexible 310 descrito anteriormente, mientras que todavía permite un grado limitado de desalineación angular entre el eje central del cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 y el eje central 235 del adaptador de válvula de fondo de pozo 460. El asiento de válvula flexible 480 puede estar formado de un material más rígido (por ejemplo, un material metálico o una aleación metálica) que el material que comprende el asiento de válvula flexible 310 descrito anteriormente.

[0066] Además, dado que el asiento de válvula flexible 480 no sella la conexión formada entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 300 y el adaptador de válvula de fondo de pozo 460 en esta realización ejemplar, el adaptador de válvula de fondo de pozo 460 incluye un ensamble de sellado anular 464 colocado a lo largo del receptáculo de fondo de pozo 238 del mismo que sella contra la superficie exterior 290 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 460. En esta configuración, el ensamble de sellado 464 sella la conexión formada entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 400 y el adaptador de válvula de fondo de pozo 460.

[0067] Con referencia ahora a las Figuras 1-3B, durante el funcionamiento del agitador 100, el fluido de perforación presurizado 40 puede ser bombeado desde la bomba de suministro 44 a través de la columna de perforación 24, y hacia el sub superior 102 del agitador 100. Una primera porción del fluido de perforación 40 que entra en el agitador 100 fluye a lo largo del primer trayecto de flujo 180 a través del paso central 168 del rotor 160, y hacia adentro y a través de la boquilla del rotor 177 del sub de potencia 140. Una segunda porción del fluido de perforación 40, distinta de la primera porción, fluye a lo largo del segundo trayecto de flujo 182 y hacia adentro de un primer conjunto de cavidades abiertas 178 formadas entre la carcasa del estator 142 y el rotor 160. El flujo de fluido de perforación presurizado a lo largo del segundo trayecto de flujo 182 induce la rotación del rotor 160 alrededor del eje central 175 con relación a la carcasa del estator 142.

[0068] La velocidad de rotación del rotor 160 alrededor del eje central 175 depende de la cantidad de fluido de perforación 40 desviado a la segunda trayectoria de flujo 182. A su vez, la cantidad de fluido de perforación 40 desviado a la segunda trayectoria de flujo relativa a la cantidad de fluido de perforación 40 que fluye a lo largo de la primera trayectoria de flujo 180 puede ser controlada por el grado de restricción

de flujo a lo largo de las trayectorias de flujo 180 y 182. Adicionalmente, como se describió anteriormente, si se desea, el dardo 172 puede ser bombeado a través de la sarta de perforación 24 y aterrizado dentro del paso central 168 del rotor 160. El aterrizaje del dardo 172 dentro del rotor 160 posiciona la boquilla de dardo 174 a lo largo de la primera trayectoria de flujo 180 y de ese modo proporciona una restricción de flujo adicional a lo largo de la primera trayectoria de flujo 180. La restricción de flujo adicional proporcionada por la boquilla de dardo 174 aumenta la cantidad de fluido de perforación 40 que fluye a lo largo de la segunda trayectoria de flujo 182 en relación con la primera trayectoria de flujo 180 y, por lo tanto, aumenta la velocidad de rotación del rotor 160 a una velocidad de flujo dada del fluido de perforación 40 que ingresa a el sub de potencia. El aumento en la velocidad de rotación del rotor 160 aumenta la velocidad de rotación del rotor 160. El aumento en la velocidad de rotación del rotor 160 puede aumentar la frecuencia del pulso de presión generado por el agitador 100.

[0069] Aunque en esta realización ejemplar se utiliza el sub de potencia 140 para impulsar la rotación relativa de los cuerpos de válvula 250, 280, en otras realizaciones, el agitador 100 puede no incluir el sub de potencia 140 y en su lugar se puede utilizar un mecanismo diferente para proporcionar una rotación relativa entre los cuerpos de válvula 250, 280. Por ejemplo, se puede utilizar un motor eléctrico que puede ser impulsado por una batería, un generador, para impulsar la rotación del cuerpo de válvula de pozo superior 250. El motor eléctrico de pozo inferior puede estar en comunicación con un paquete de sensores de pozo inferior configurado para determinar el desplazamiento axial del sub de fondo 120. El motor eléctrico puede ser controlado por un controlador para lograr una magnitud o frecuencia deseada de desplazamiento axial del sub de fondo 120 utilizando el paquete de sensores ajustando la velocidad de rotación del cuerpo de válvula de pozo superior 250 con respecto al cuerpo de válvula de pozo inferior 280. En otras realizaciones más, el sub de potencia 140 puede incluir un rotor sólido que no incluye un pasaje central que se extiende a través del mismo.

[0070] Al estar bloqueado rotacionalmente al rotor 160, el cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 también gira alrededor del eje central 175 en relación con el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280, que se mantiene estacionario en relación con la carcasa del estator 142. Generalmente, de esta manera la rotación relativa entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 y el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 corresponde a la velocidad de rotación del rotor 160 con respecto a la carcasa 142 del estator. A medida que el cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 gira con respecto al cuerpo de válvula de fondo de pozo 280, los conductos de flujo 262 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 entran y salen de la alineación circunferencial o se solapan con los conductos de flujo 298 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280. En la configuración abierta de la válvula rotativa 200, la comunicación de fluidos se proporciona directamente entre los pasos de flujo 262 del cuerpo de válvula de pozo ascendente 250 y los pasos de flujo 298 del cuerpo de válvula de pozo descendente 280. Sin embargo, cuando la válvula rotativa 200 está en la comunicación cerrada, la comunicación de fluidos está restringida directamente entre los pasos de flujo 262 por la interfaz de sellado 275 formada entre los cuerpos de válvula 250, 280. Con el cuerpo 250 de la válvula de fondo de pozo rotando en relación con el cuerpo 280 de la válvula de fondo de pozo, la válvula rotativa 200 actúa cíclicamente entre las configuraciones abierta y cerrada a una velocidad que depende de la velocidad de rotación relativa entre el cuerpo 250 de la válvula de fondo de pozo y el cuerpo 280 de la válvula de fondo de pozo.

[0071] Cuando la válvula rotativa 200 está en la configuración abierta, una primera porción del fluido de perforación 40 que fluye a lo largo de la segunda trayectoria de flujo 182 fluye a lo largo de una tercera trayectoria de flujo 184 (mostrada en la Figura 6) que se extiende desde la segunda trayectoria de flujo 182 y que entra en los pasos de flujo 262 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 250, se extiende a través de los pasos de flujo 298 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280, y dentro del paso central 236 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230. El fluido de perforación 40 que fluye a lo largo de la tercera trayectoria de flujo 184 sale del agitador 100 a través del paso central 126 del adaptador de fondo 120 donde el fluido de perforación 40 puede ser comunicado a los componentes descendente tales como la porción de la sarta de perforación 24 posicionada descendente del agitador 100 y el BHA 30 conectado al extremo de la sarta de perforación 24.

[0072] Cuando la válvula rotativa 200 está en la configuración cerrada, el contacto de sellado entre las caras de contacto 255 y 285 de los cuerpos de válvula 250 y 280 impiden que el fluido de perforación 40 pase directamente entre los pasos de flujo 262 y 298 de los cuerpos de válvula 250 y 280, respectivamente. En su lugar, el fluido de perforación 40 que fluye a lo largo de la segunda trayectoria de flujo 182 solo puede entrar en el paso central 236 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230 a través de una cuarta trayectoria de flujo 186 (mostrada en la figura 7) que se extiende desde la segunda trayectoria de flujo 182, hacia los pasos de flujo 262 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 250, y desde los pasos de flujo 262 hacia el paso central 256 del cuerpo de válvula 250 a través de la pluralidad de puertos radiales 264 conectados a los pasos de flujo 262. Desde el paso central 256, el fluido de perforación 40 que fluye a lo largo de la cuarta trayectoria de flujo 186 puede continuar a través del paso central 236 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230 y desde allí puede salir del agitador 100 a través del paso central 126 del cuerpo inferior 120.

[0073] Sin embargo, puede entenderse que los puertos radiales 264 tienen un área de flujo menor que los pasos de flujo 262 del cuerpo de la válvula de fondo de pozo 250. En esta configuración, un área de flujo mínima a través de la válvula rotativa 200 cuando la válvula rotativa 200 está en la configuración abierta que un área de flujo mínima a través de la válvula rotativa 200 cuando la válvula 200 está en la configuración cerrada. La diferencia en las áreas de flujo mínimo de la válvula rotativa 200 a medida que la válvula 200 cicla entre las configuraciones abierta y cerrada desencadena la generación de un pulso cíclico o repetitivo de presión hidráulica o de fluido que emana del agitador 100 y que puede ser traducido por una herramienta de choque conectada al agitador 100 en un movimiento axial oscilante en la sarta de perforación 26.

[0074] Además, debido a la desalineación entre el alojamiento del estator 142 y el inserto del estator 154 recibido en el mismo, el eje central 175 del rotor 160 (estando el rotor 160 posicionado dentro del alojamiento del estator 142 por el inserto del estator 154) puede extenderse en un ángulo distinto de cero en relación con un eje central del alojamiento del estator 142. La magnitud del ángulo formado entre el eje central 175 del rotor 160 y el eje central del alojamiento del estator 145 puede variar a medida que el rotor 160 gira dentro del alojamiento del estator 142. La magnitud del ángulo formado entre el eje central 175 del rotor 160 y el eje central del alojamiento 145 del estator puede variar a medida que el rotor 160 gira dentro del alojamiento 142 del estator.

[0075] La desalineación entre la carcasa del estator 142 y el inserto del estator 154 puede deberse a un descentramiento del revestimiento del estator 154 producido por las tolerancias del utillaje de fabricación y las variaciones del proceso que se producen de forma natural durante la formación del revestimiento del estator 154. Típicamente, los extremos terminales longitudinalmente opuestos de la camisa 154 del estator (y otras camisas de estator como la camisa 154 del estator) tienden a estar desplazados opuestamente (aproximadamente a 180° de distancia) de una línea central de la camisa 154 del estator. El desplazamiento de la camisa 154 del estator (que varía a lo largo de la longitud de la camisa 154) produce un desplazamiento correspondiente en el rotor 160 colocado dentro de la camisa 154 del estator, lo que da como resultado la desalineación angular entre el rotor 160 y el alojamiento 142 del estator. Además, dado que el cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 está fijado al receptáculo de fondo de pozo 170 del rotor 160, el eje central 251 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 está posicionado de forma similar en un ángulo distinto de cero con respecto al eje central del alojamiento del estator 142, donde la magnitud del ángulo distinto de cero puede variar a medida que el cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 gira con respecto al alojamiento del estator 142 en concierto con el rotor 160.

[0076] Como se ha descrito anteriormente, los cuerpos de válvula 250 y 280 pueden estar formados por materiales endurecidos y resistentes al desgaste para resistir el contacto por fricción que se produce entre las caras de contacto 255 y 285 de los cuerpos de válvula 250 y 280. Sin embargo, dichos materiales pueden ser relativamente frágiles y susceptibles a daños que se producen en respuesta a una carga puntual elevada (un área de tensión y deformación elevadas localizadas) aplicada al material endurecido. Además, el desalineamiento angular entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 y la carcasa del estator 142 sin un desalineamiento angular correspondiente entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y la carcasa del estator 142 puede dar lugar a un desalineamiento angular correspondiente entre los ejes centrales 251 y 281 de los cuerpos de válvula 250 y 280, respectivamente. Tal desalineamiento angular entre los cuerpos de válvula 250 y 280 puede resultar en que sólo una pequeña porción de la cara de contacto 255 del cuerpo de válvula 250 de fondo de pozo entre en contacto con la cara de contacto 285 del cuerpo de válvula 280 de fondo de pozo en un momento dado, resultando a su vez en una carga puntual potencialmente dañina aplicada a los cuerpos de válvula 250 y 280 debido al desalineamiento angular entre ellos.

[0077] Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, el asiento de válvula flexible 310 de la válvula rotativa 200 (así como los asientos de válvula flexibles 420, 440, y 480 mostrados en las figuras 12-14) permite que el eje central 281 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 entre en un grado limitado de desalineación con el eje central 235 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230 (y por lo tanto con la carcasa del estator 142 así como con el adaptador 230 conectado a la carcasa 142 a través del sub inferior 120) en respuesta al contacto entre los cuerpos de válvula 250 y 280. Por ejemplo, el asiento de válvula flexible 310 permite que el eje central 281 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 entre en desalineación angular mediante la cual el eje central 281 se extiende en un ángulo agudo distinto de cero con respecto al eje central 235 (mostrado en la figura 11). En algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible 310 permite una desalineación angular máxima entre el eje central 281 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el eje central 235 del adaptador de válvula de fondo de pozo

235 que está entre aproximadamente $0,01^{\circ}$ y $5,00^{\circ}$. En algunas realizaciones, el asiento de válvula flexible 310 permite una desalineación angular máxima entre el eje central 281 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el eje central 235 del adaptador de válvula de fondo de pozo 235 que está entre aproximadamente $2,00^{\circ}$ y $4,00^{\circ}$. Sin embargo, puede entenderse que el grado de desalineación angular permitido por el asiento de válvula flexible 310 puede variar.

[0078] El ángulo distinto de cero formado entre el eje central 281 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el eje central 235 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230 puede ser el resultado del contacto entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 que, como se ha descrito anteriormente, está desalineado con respecto a la carcasa del estator 142. El ángulo distinto de cero formado entre el eje central 281 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 y el eje central 235 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230 puede, por lo tanto, coincidir o corresponderse sustancialmente con un ángulo distinto de cero correspondiente formado entre el eje central 251 del cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 y el eje central 235 del adaptador de válvula de fondo de pozo 230. De este modo, cualquier desalineación angular entre los cuerpos de válvula 250 y 280 resultante de la desalineación entre el cuerpo de válvula de fondo de pozo 250 y el alojamiento del estator 142 (por ejemplo, debido a un desplazamiento en la formación del revestimiento del estator 154) se minimiza automáticamente (los ejes centrales 251 y 281 de los cuerpos de válvula 250 y 280 permanecen sustancialmente paralelos) a medida que el cuerpo de válvula de fondo de pozo 280 se flexiona continuamente dentro del adaptador de válvula de fondo de pozo 280 en respuesta a la desalineación continuamente variable que se produce entre el adaptador de válvula de fondo de pozo 250 y el alojamiento del estator 142 a medida que el adaptador 250 gira dentro del alojamiento 142.

[0079] La minimización de la desalineación angular entre los ejes centrales 251 y 281 de los cuerpos de válvula 250 y 280, respectivamente, minimiza a su vez las cargas puntuales y las tensiones y deformaciones máximas asociadas impartidas a los cuerpos de válvula 250 y 280 a lo largo de las caras de contacto 255 y 285, respectivamente, de los mismos. En su lugar, las cargas resultantes del contacto por fricción entre los cuerpos de válvula 250 y 280 se distribuyen de forma relativamente uniforme a lo largo de las caras de contacto 255 y 295 de los cuerpos de válvula 250 y 280, respectivamente. La reducción de las cargas puntuales aplicadas a las caras de contacto 258 y 285 de los cuerpos de válvula 250 y 280 puede reducir la posibilidad de que se produzcan daños en los cuerpos de válvula 250 y 280 durante el funcionamiento y, por lo tanto, puede maximizar la vida operativa de los cuerpos de válvula 250 y 280.

[0080] Si bien se han mostrado y descrito realizaciones divulgadas, los expertos en la materia pueden realizar modificaciones de las mismas sin apartarse del alcance o las enseñanzas del presente documento. Las realizaciones aquí descritas son sólo ejemplares y no limitantes. Muchas variaciones y modificaciones de los sistemas, aparatos y procesos aquí descritos son posibles y están dentro del alcance de la divulgación. En consecuencia, el alcance de la protección no se limita a las realizaciones descritas en el presente documento, sino que sólo está limitado por las reivindicaciones que siguen, cuyo alcance incluirá todos los equivalentes del objeto de las reivindicaciones. A menos que se indique expresamente lo contrario, los pasos de una reivindicación de método pueden realizarse en cualquier orden. La mención de identificadores como (a), (b), (c) o (1), (2), (3) antes de los pasos de una

reivindicación de método no pretende especificar ni especifica un orden particular de los pasos, sino que se utiliza para simplificar la referencia posterior a dichos pasos.

