

SISTEMA DE REDUCCIÓN DE FRICCIÓN CONCÉNTRICA EN EL FONDO DEL POZO

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

[0001] La presente solicitud reivindica prioridad de la solicitud de patente no provisional de EE. UU. N.º 17/496,896, presentada el 8 de octubre de 2021, y titulada "Sistema de Reducción de Fricción Concéntrica en el fondo del pozo", la cual se incorpora en su totalidad a la presente por referencia.

DECLARACIÓN RESPECTO A LA INVESTIGACIÓN O DESARROLLO PATROCINADOS FEDERALMENTE

[0002] No aplica.

ANTECEDENTES

[0003] En algunos sistemas de pozos, se puede bajar un juego de herramientas a través de un pozo que se extiende a través de una formación terrestre subterránea. El juego de herramientas puede encontrar fricción a medida que se baja a través del pozo en respuesta al contacto entre una superficie exterior del juego de herramientas y una pared del pozo. Por ejemplo, los sistemas de perforación con tubería helicoidal pueden incluir un juego de herramientas que comprende un conjunto de orificio de fondo (BHA) unido a la tubería helicoidal, la cual se desliza a través de un pozo mientras que una broca del BHA perfora en la formación terrestre en la cual se forma el pozo. La fricción entre el juego de herramientas y la pared del pozo puede reducir el alcance máximo del juego de herramientas a través del pozo ya que la fricción entre el juego de herramientas y la pared del pozo, a medida que el juego de herramientas se baja por el pozo, eventualmente puede sobrepasar las capacidades de un sistema de superficie responsable de inyectar el juego de herramientas en el pozo.

RESUMEN

[0004] Una realización de un sistema de reducción de fricción desechable en un pozo, que comprende un primer miembro de válvula que comprende una superficie interior que incluye un asiento de válvula; y un segundo miembro de válvula girable concéntricamente alrededor de un eje central del primer miembro de válvula y que comprende un puerto radial cubrible por el asiento de válvula del miembro de válvula exterior; donde el sistema de reducción de fricción comprende una configuración abierta que proporciona un área de flujo máxima a través de una válvula del sistema de reducción de fricción que comprende el segundo miembro de válvula y el primer miembro de válvula; donde el sistema de reducción de fricción comprende una configuración cerrada que proporciona un área de flujo mínima a través de la válvula que es menor que el área de flujo máxima, y donde el sistema de reducción de fricción está configurado para generar un pulso de presión en un fluido que fluye a través del sistema de reducción de fricción en respuesta a la transición del sistema

de reducción de fricción de la configuración abierta a la configuración cerrada. En algunas realizaciones, el primer miembro de válvula comprende un miembro de válvula exterior y el segundo miembro de válvula comprende un miembro de válvula interior colocado radialmente dentro del miembro de válvula exterior. En algunas realizaciones, el sistema de reducción de fricción comprende un conjunto de cojinete radial colocado alrededor del segundo miembro de válvula y que está configurado para forzar al segundo miembro de válvula a girar concéntricamente alrededor del eje central del primer miembro de válvula. En ciertas realizaciones, el sistema de reducción de fricción comprende una carcasa exterior en la que se reciben el primer miembro de válvula y el segundo miembro de válvula, y donde el primer miembro de válvula está acoplado a la carcasa exterior de manera que se restringe la rotación entre el primer miembro de válvula y la carcasa exterior; donde el segundo miembro de válvula comprende un mandril que incluye un paso central conectado al puerto radial. En ciertas realizaciones, el puerto radial del mandril comprende un puerto radial inferior, el paso central comprende un paso inferior, y donde el mandril comprende además un puerto radial intermedio, un puerto radial superior, y un segundo paso central que se extiende entre el puerto radial superior y el puerto radial intermedio; y un cojinete radial está situado alrededor del mandril y axialmente entre el puerto radial superior y el puerto radial inferior. En algunas realizaciones, un conjunto de orificio de fondo que comprende el sistema de reducción de fricción, donde un conjunto de orificio de fondo comprende una sección de potencia que comprende un estator helicoidal y un rotor helicoidal que está dispuesto de manera giratoria dentro del estator helicoidal, donde el estator está acoplado a la carcasa exterior del sistema de reducción de fricción y el rotor está acoplado al mandril del sistema de reducción de fricción. En algunas realizaciones, el primer miembro de válvula comprende una pluralidad de asientos de válvula que están espaciados circunferencialmente entre sí alrededor del eje central.

[0005] Una realización de un sistema de reducción de fricción desechable en un pozo, que comprende: un miembro de válvula exterior que incluye una superficie interior que comprende un asiento de válvula arqueado; y un miembro de válvula interior girable alrededor de un eje central del miembro de válvula exterior y que comprende un puerto radial cubrible por el asiento de válvula del miembro de válvula exterior; donde el sistema de reducción de fricción comprende una configuración abierta que proporciona un área de flujo máxima a través de una válvula giratoria del sistema de reducción de fricción que comprende el miembro de válvula interior y el miembro de válvula exterior; donde el sistema de reducción de fricción comprende una configuración cerrada que proporciona un área de flujo mínima a través de la válvula giratoria que es menor que el área de flujo máxima, y donde el sistema de reducción de fricción está configurado para generar un pulso de presión en un fluido que fluye a través del sistema de reducción de fricción en respuesta a la transición del sistema de reducción de fricción de la configuración abierta a la configuración cerrada. En algunas realizaciones, el área de flujo máxima se basa en un perímetro del puerto radial, y el área de flujo mínima se basa en un perímetro del puerto radial y una holgura radial formada entre el puerto radial y el asiento de válvula cuando el sistema de reducción de fricción está en la configuración cerrada. En algunas realizaciones, el perímetro del asiento de válvula es mayor que el

perímetro del puerto radial. En ciertas realizaciones, el sistema de reducción de fricción comprende una carcasa exterior en la que se reciben el miembro de válvula exterior y el miembro de válvula interior, y donde el miembro de válvula exterior está acoplado a la carcasa exterior de manera que se restringe la rotación entre el miembro de válvula exterior y la carcasa exterior; donde el miembro de válvula interior comprende un mandril que incluye un paso central conectado al puerto radial. En ciertas realizaciones, Un conjunto de orificio de fondo que comprende el sistema de reducción de fricción, donde el Un conjunto de orificio de fondo comprende una sección de potencia que incluye un estator helicoidal y un rotor helicoidal que está dispuesto de manera giratoria dentro del estator helicoidal, donde el estator está acoplado a la carcasa exterior del sistema de reducción de fricción y el rotor está acoplado al mandril del sistema de reducción de fricción. En algunas realizaciones, el miembro de válvula exterior comprende una pluralidad de asientos de válvula que están espaciados circunferencialmente entre sí alrededor del eje central.

[0006] Una realización de un sistema de reducción de fricción desechable en un pozo, que comprende un primer miembro de válvula que comprende un asiento de válvula; y un segundo miembro de válvula girable alrededor de un eje central del primer miembro de válvula y que comprende un puerto radial cubrible por el asiento de válvula del primer miembro de válvula; en donde el sistema de reducción de fricción comprende una configuración abierta que proporciona un área de flujo máxima a través de una válvula giratoria del sistema de reducción de fricción que comprende el segundo miembro de válvula y el primer miembro de válvula; en donde el sistema de reducción de fricción comprende una configuración cerrada que proporciona un área de flujo mínima a través de la válvula giratoria que es menor que el área de flujo máxima, y en donde el puerto radial está posicionado radialmente entre el eje central del primer miembro de válvula y el asiento de válvula cuando el sistema de reducción de fricción está en la configuración cerrada; en donde el sistema de reducción de fricción está configurado para generar un pulso de presión en un fluido que fluye a través del sistema de reducción de fricción en respuesta a la transición del sistema de reducción de fricción de la configuración abierta a la cerrada. En algunas realizaciones, el primer miembro de válvula comprende un miembro de válvula exterior y el segundo miembro de válvula comprende un miembro de válvula interior colocado radialmente dentro del miembro de válvula exterior. En algunas realizaciones, el área de flujo máxima se basa en un perímetro del puerto radial, y el área de flujo mínima se basa en un perímetro del puerto radial y una holgura radial formada entre el puerto radial y el asiento de válvula cuando el sistema de reducción de fricción está en la configuración cerrada. En algunas realizaciones, el sistema de reducción de fricción comprende, además, una carcasa exterior en la que se reciben el primer miembro de válvula y el segundo miembro de válvula, y en donde el primer miembro de válvula está acoplado a la carcasa exterior por lo que se restringe la rotación entre el primer miembro de válvula y la carcasa exterior; en donde el segundo miembro de válvula comprende un mandril que incluye un paso central conectado al puerto radial. En ciertas realizaciones, el puerto radial del mandril comprende un puerto radial inferior, el paso central comprende un paso inferior, y en donde el mandril comprende además

un puerto radial intermedio, un puerto radial superior, y un segundo paso central que se extiende entre el puerto radial superior y el puerto radial intermedio; y un cojinete radial está situado alrededor del mandril y axialmente entre el puerto radial superior y el puerto radial inferior. En ciertas realizaciones, un Un conjunto de orificio de fondo del pozo comprende: una sección de potencia que comprende un estator helicoidal y un rotor helicoidal que está dispuesto de manera giratoria dentro del estator helicoidal, en donde el estator está acoplado a la carcasa exterior del sistema de reducción de fricción y el rotor está acoplado al mandril del sistema de reducción de fricción. En algunas realizaciones, el primer miembro de válvula comprende una pluralidad de asientos de válvula que están espaciados circunferencialmente entre sí alrededor del eje central.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0007] Para una descripción detallada de realizaciones ejemplares de la divulgación, se hará referencia ahora a los dibujos adjuntos en los que:

[0008] La Figura 1 es una vista esquemática de una realización de un sistema de pozo;

[0009] Figura 2 es una vista en sección transversal lateral de una realización de un sistema de reducción de fricción (FRS) del sistema de pozo de la Figura 1 de acuerdo con algunas realizaciones;

[0010] La Figura 3 es una vista en sección transversal lateral ampliada del FRS de la Figura 2;

[0011] La Figura 4 es una vista en perspectiva de una realización de un miembro de válvula exterior del FRS de la Figura 2;

[0012] La Figura 5 es una vista lateral del miembro de válvula exterior de la Figura 4;

[0013] La Figura 6 es una vista en sección transversal lateral del miembro de válvula exterior de la Figura 4;

[0014] La Figura 7 es una vista en perspectiva de una realización de un mandril inferior del FRS de la Figura 2;

[0015] Las Figuras 8, 9 son vistas en sección transversal a lo largo de las líneas 8-8 en la Figura 3;

[0016] La Figura 10 es una vista en perspectiva de una realización de una manga de la cual puede ser producido un miembro de válvula exterior; y

[0017] La Figura 11 es una vista en sección transversal de otro FRS.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0018] La siguiente discusión está dirigida a varias realizaciones ejemplares. Sin embargo, una persona con habilidades en el campo entenderá que los ejemplos divulgados aquí tienen una aplicación amplia, y que la discusión de cualquier realización solo tiene el propósito de ser ejemplar de esa realización, y no tiene la intención de sugerir que el alcance de la divulgación, incluidas las reivindicaciones, esté limitado a esa realización.

[0019] Ciertos términos se utilizan a lo largo de la siguiente descripción y reivindicaciones para referirse a características o componentes particulares. Como apreciará alguien con habilidad en el arte, diferentes personas pueden referirse a la misma característica o componente con diferentes nombres. Este documento no tiene la intención de distinguir entre componentes o características que difieren en nombre, pero no en función. Las figuras de los dibujos no están necesariamente a escala. Ciertas características y componentes aquí pueden mostrarse exagerados en escala o en forma algo esquemática y algunos detalles de elementos convencionales pueden no mostrarse en interés de la claridad y la concisión.

[0020] En la siguiente discusión y en las reivindicaciones, los términos "que incluye" y "que comprende" se utilizan de manera abierta, y por lo tanto deben interpretarse como "que incluye, pero no se limita a...". Además, el término "acoplar" o "acopla" se pretende que signifique una conexión ya sea indirecta o directa. Así, 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 vía otros dispositivos, componentes y conexiones. Además, como se utiliza aquí, los términos "axial" y "axialmente" generalmente significan a lo largo o paralelo a un eje central (por ejemplo, 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 hace por motivos de claridad, con "arriba", "superior", "hacia arriba", "hacia el pozo" o "aguas arriba" significando hacia la superficie del pozo y con "abajo", "inferior", "hacia abajo", "hacia el fondo del pozo" o "aguas abajo" significando hacia el extremo terminal del pozo, independientemente de la orientación del pozo.

[0021] Como se describió anteriormente, la fricción entre un juego de herramientas y una pared de un pozo a medida que el juego de herramientas se transporta a través del pozo puede limitar la distancia máxima a través de la cual se puede extender el conjunto de tubería a través del pozo. Además, la fricción entre el juego de herramientas y la pared del pozo puede disminuir la velocidad a la que se puede transportar la juego de herramientas a través del pozo, aumentando así la cantidad de tiempo requerido para realizar una operación en el pozo (por ejemplo, perforación, terminación y/u operación de producción).

[0022] En algunas aplicaciones, el juego de herramientas puede comprender un sistema de pulsos de presión o sistema de reducción de fricción (FRS) configurado para inducir un movimiento axial oscilante en el juego de herramientas y, de este modo, reducir la fricción entre el juego de herramientas y la pared del pozo al prevenir que el juego de herramientas se adhiera o bloquee contra la pared del pozo. El FRS puede incluir un par de miembros de válvula o placas, cada uno incluyendo un paso de flujo y que rotan relativamente entre sí. Los pasos de flujo de las placas de válvula pueden entrar y salir de diversos grados de alineación a medida que las placas de válvula rotan relativamente entre sí de tal manera que un área de flujo mínima pueda ser proporcionada periódicamente a través del FRS. La provisión del área de flujo mínima a través del FRS puede resultar en la generación de un pulso de presión en el fluido que fluye a través de él debido a la obstrucción en el flujo de fluido resultante del área de flujo mínima, el pulso de presión, por lo tanto, induce un movimiento axial oscilante del juego de herramientas. Así, la magnitud del pulso de presión inducido por el FRS puede depender del tamaño del área de flujo mínima a través del FRS. De hecho, en al menos algunas aplicaciones, la magnitud del pulso de presión puede ser sensible a cambios leves en el tamaño del área de flujo mínima.

[0023] El área de flujo mínima puede corresponder a una posición angular relativa entre el par de placas de válvula que produce una cantidad mínima de superposición entre los pasos de flujo de las placas de válvula. Así, el área de flujo mínima proporcionada por el FRS, y por lo tanto la magnitud del pulso de presión, puede depender del tamaño de la cantidad mínima de superposición que pueda formarse entre los pasajes de fluido del par de placas de válvula. Además, en los FRS convencionales, el área de flujo mínima puede producirse a partir de la rotación excéntrica de una primera placa de válvula con respecto a una segunda placa de válvula del FRS, por lo cual un paso de flujo de la primera placa de válvula entra y sale de alineación con un paso de flujo de la segunda placa de válvula. Las caras finales de la primera y segunda placas de válvula pueden contactarse de manera deslizante entre sí mientras la primera placa de válvula se desplaza de manera excéntrica con respecto a la segunda placa de válvula. En tales FRS convencionales y excéntricos, el tamaño de la cantidad mínima de superposición entre los pasajes de flujo de las primeras y segundas placas de válvula (que define el área de flujo mínima del FRS) puede depender de las respectivas tolerancias de fabricación de las placas de válvula, así como de las tolerancias de fabricación de los componentes con los cuales las placas de válvula se ensamblan para formar el FRS. Además, dado que la primera y segunda placas de válvula pueden contactarse de manera deslizante entre sí mientras la primera placa de válvula se desplaza de manera excéntrica con respecto a la segunda placa de válvula, el par de placas de válvula puede comprender materiales relativamente duros, resistentes a la abrasión, que no pueden producirse mediante métodos de mecanizado convencionales. Por ejemplo, el par de placas de válvula de un FRS excéntrico puede formarse a partir de materiales de carburo en polvo producidos mediante la aplicación de altas temperaturas y presiones. Las tolerancias de tales materiales debido a su diferente forma de producción (por ejemplo, mediante la aplicación de altas temperaturas y

presiones) pueden no producirse con un alto grado de precisión en comparación con los materiales mecanizados de manera convencional.

[0024] Dado que el tamaño del área de flujo mínima de un FRS excéntrico puede depender de la tolerancia de fabricación de una pluralidad de componentes ensamblados o apilados juntos, así como de la precisión limitada asociada con la producción de las placas de válvula resistentes a la abrasión de las mismas, el tamaño del área de flujo mínima, y por lo tanto la magnitud del pulso de presión, puede variar sustancialmente entre FRS excéntricos configurados de manera similar (por ejemplo, FRS que comprenden componentes diseñados idénticamente). Esta variabilidad y falta de precisión en el pulso de presión inducido por cada FRS excéntrico configurado de manera similar puede resultar en un pulso de presión que es demasiado débil para reducir suficientemente la fricción aplicada al juego de herramientas o demasiado fuerte por lo que los componentes del juego de herramientas pueden dañarse debido al excesivo movimiento axial oscilante inducido por el pulso de presión demasiado grande.

[0025] En consecuencia, las realizaciones divulgadas aquí incluyen FRS que comprenden miembros de válvula que rotan concéntricamente, en lugar de excéntricamente, y que están configurados para no entrar en contacto deslizante entre sí durante la operación. Particularmente, los FRS divulgados aquí incluyen una válvula rotativa en la que un miembro de válvula interno radialmente rota concéntricamente con respecto a un miembro de válvula exterior. El miembro de válvula interno puede estar posicionado radialmente dentro del miembro de válvula exterior, en lugar de en contacto de extremo a extremo como con los FRS excéntricos convencionales. El miembro de válvula exterior puede comprender un asiento de válvula configurado para cubrir completamente un puerto radial del miembro de válvula interior por lo que se produce una configuración cerrada del FRS y que proporciona un área de flujo mínima. El asiento de válvula puede tener un perímetro mayor que el puerto radial de tal manera que la acumulación de tolerancias del FRS y los componentes relacionados no afecte el tamaño del área de flujo mínima proporcionada por el FRS. En cambio, el área de flujo mínima puede basarse en una holgura radial formada entre el puerto radial y el asiento de válvula, que puede ser convenientemente adaptada para a su vez adaptar el área de flujo mínima (y el pulso de presión resultante producido por el FRS) para adaptarse a una aplicación dada. La falta de contacto deslizante entre los miembros de válvula puede permitir que los miembros de válvula se produzcan a partir de materiales convencionales en lugar de materiales endurecidos relativamente más exóticos como materiales de carburo en polvo. Además, el miembro de válvula exterior puede ser provisto con un número variable de asientos de válvula espaciados circunferencialmente por lo que la frecuencia de los pulsos de presión producidos por el FRS a una tasa de flujo de fluido dada puede ser adaptada para adaptarse a una aplicación dada.

[0026] Haciendo referencia ahora a la Figura 1, se muestra un sistema de pozo o perforación 10 para perforar un pozo 4 que se extiende hacia una formación subterránea 6. El sistema de perforación 10 incluye un conjunto de superficie 11

posicionado en una superficie 5 y un juego de herramientas 20 desplegable en el pozo 4 desde la superficie 5 utilizando un conjunto de superficie 11 posicionado en la superficie 5 en la parte superior del pozo 4. El conjunto de superficie 11 puede comprender cualquier equipo de superficie adecuado para formar el pozo 4 y puede incluir, por ejemplo, una bomba, un carrete de tubería, un inyector de tubería y un dispositivo de contención de presión (por ejemplo, un preventor de reventones (BOP), etc.) configurado para sellar el pozo 4 del entorno circundante en la superficie 5.

[0027] El juego de herramientas 20 del sistema de perforación 10 tiene un eje central o longitudinal 25 e incluye una tubería helicoidal 22 que puede estar suspendida dentro del pozo 4 y que es extensible desde el conjunto de superficie 11. Por ejemplo, la tubería helicoidal 22 puede extenderse desde un carrete de tubería del conjunto de superficie 11 utilizando un inyector de tubería helicoidal del conjunto de superficie 11. La tubería helicoidal 22 comprende un tubo metálico largo y flexible que incluye un orificio o paso central 24 a través del cual pueden circular fluidos y/o otros materiales, como desde una bomba de superficie del conjunto de superficie 11. Además, en algunas realizaciones, se pueden comunicar señales hacia el fondo del pozo desde el conjunto de superficie 11 a través de la tubería helicoidal 22.

[0028] Junto con la tubería helicoidal 22, el juego de herramientas 20 incluye un BHA (Un conjunto de orificio de fondo) 50 conectado a un extremo terminal de la tubería helicoidal 22 de tal manera que el BHA 50 está suspendido en el pozo 4 desde la tubería helicoidal 22. En esta realización ejemplar, el BHA 50 generalmente incluye un sub de orientación 52, un sub de telemetría 54, un motor de lodo en el fondo del pozo 56 y una broca 80 que está posicionada en un extremo terminal del BHA 50.

[0029] El sub de orientación 52 del BHA 50 puede incluir uno o más actuadores u otros mecanismos para controlar la orientación del BHA 50 dentro del pozo 4 basado en señales de telemetría proporcionadas a un sistema de control del sub de orientación 52 por el sub de telemetría 54. El sub de telemetría 54 puede incluir uno o más sensores que incluyen sensores de medición mientras se perfora (MWD), tales como sensores de inclinación y azimut, que ayudan a guiar la trayectoria del BHA 50 a medida que la broca 80 del BHA 50 perfora el pozo 4. El BHA 50 puede incluir componentes además de, o en adición a, aquellos mostrados en la Figura 1. Además, en otras realizaciones, el BHA 50 puede utilizarse en un sistema de perforación que comprende un tren de varillas que incluye una pluralidad de tuberías de perforación conectadas de extremo a extremo en lugar de la tubería helicoidal 22.

[0030] El motor de lodo en el fondo del pozo 56 del BHA 50 impulsa la broca 80, permitiendo que la broca 80 perfora en la formación 6 y de este modo forme el pozo 4. Particularmente, el motor de lodo en el fondo del pozo 56 está configurado para convertir la presión del fluido de un fluido de perforación bombeado hacia abajo a través del paso central 24 de la tubería helicoidal 22 en torque rotacional para impulsar la rotación de la broca 80. Con fuerza o peso aplicado a la broca 80,

también referido como peso sobre la broca ("WOB"), la broca rotativa 80 se engancha con la formación terrestre 6 y procede a formar el pozo 4 a lo largo de un camino predeterminado hacia una zona objetivo. En esta realización ejemplar, el fluido de perforación bombeado hacia abajo por la tubería helicoidal 22 y a través del motor de lodo en el fondo del pozo 56 puede salir de la cara de la broca 90 y volver hacia arriba por un anular 12 formado entre el juego de herramientas 20 y la pared 8 del pozo 4. El fluido de perforación que fluye a través de la broca 80 puede enfriar la broca 50 y limpiar los recortes de perforación lejos de la cara de la broca 80, por lo que los recortes pueden ser circulados a través del anular 12 hacia la superficie 5.

[0031] En esta realización ejemplar, el motor de lodo en el fondo del pozo 56 comprende una sección de potencia 58, un sistema de reducción de fricción (FRS) 100 y un conjunto de cojinetes 300. La sección de potencia 58 comprende un estator 60 acoplado al sub de telemetría 54 y un rotor 62 dispuesto de manera rotativa en el estator 60. El estator 60 está configurado para convertir la presión del fluido en torque rotacional. Particularmente, el estator 60 comprende una pluralidad de lóbulos helicoidales del estator mientras que el rotor 62 comprende una pluralidad correspondiente de lóbulos helicoidales del rotor. El rotor 62 puede tener un lóbulo menos que el estator 60 por lo cual se forman una serie de cavidades entre el estator 60 y el rotor 62. Cada cavidad puede estar sellada de las cavidades adyacentes por sellos formados a lo largo de las líneas de contacto entre el estator 60 y el rotor 62. Además, un eje central del rotor 62 está desplazado radialmente de un eje central del estator 60 por un valor fijo conocido como la "excentricidad" del conjunto rotor-estator. En consecuencia, se puede describir que el rotor 62 rota de manera excéntrica dentro del estator 60.

[0032] En esta realización ejemplar, el ensamblaje del estator 60 y el rotor 62 forma un dispositivo de cavidad progresiva, y particularmente, un motor de cavidad progresiva configurado para transferir la presión del fluido a la sección de potencia 58, el fluido de perforación se bombea bajo presión hacia un extremo de la sección de potencia 58 donde llena un primer conjunto de cavidades abiertas. Un diferencial de presión a través de las cavidades adyacentes obliga al rotor 62 a rotar de manera excéntrica con respecto al estator 60. A medida que el rotor 62 rota dentro del estator 60, se abren y llenan con fluido de perforación cavidades adyacentes. A medida que este proceso de rotación y llenado se repite de manera continua, el fluido de perforación fluye progresivamente a lo largo de la longitud de la sección de potencia 58 y continúa impulsando la rotación del rotor 62.

[0033] El FRS 100 está acoplado entre la sección de potencia 58 y el conjunto de cojinetes del motor de lodo en el fondo del pozo 56. El FRS 100 también puede ser referido aquí como un sistema de pulso de flujo o presión 100 y, como se discutirá más adelante, está configurado para reducir la fricción entre el juego de herramientas 20 y una pared 8 del pozo 4 generando una pluralidad de pulsos de presión. El conjunto de cojinetes 300 comprende una carcasa de cojinetes 310 acoplada al estator 60, y un mandril de cojinetes 320 dispuesto de manera rotativa en la carcasa de cojinetes 310. Además, el mandril de cojinetes 320 está acoplado

al rotor 62 de la sección de potencia 58 y a la broca 80 de tal manera que el mandril de cojinetes 320 puede transmitir el torque rotacional del rotor 62 a la broca 80.

[0034] Aunque en esta realización ejemplar el FRS 100 está posicionado entre la sección de potencia 58 y el conjunto de cojinetes 300, en otras realizaciones, la posición del FRS 100 a lo largo del BHA 50 puede variar. Por ejemplo, en otras realizaciones, el FRS 100 puede estar posicionado entre el conjunto de cojinetes 300 y la broca 80. En otras realizaciones, el FRS 100 puede estar posicionado arriba de la sección de potencia 58 del BHA 50. En aún otras realizaciones, el FRS 100 puede estar posicionado a lo largo del BHA 50 y/o a lo largo del juego de herramientas 20 espaciado del BHA 50. Por ejemplo, una pluralidad de FRS 100 puede estar espaciada a lo largo del juego de herramientas 20 a intervalos regulares.

[0035] Haciendo referencia ahora a las Figuras 2-7, se muestra una realización del FRS 100 de la Figura 1. En esta realización ejemplar, el FRS 100 tiene un eje longitudinal o central 105 y generalmente incluye un conjunto de carcasa exterior 102, un conjunto de mandril interior 150, un conjunto de cojinetes 200 y un primer miembro de válvula radial exterior o exterior 220. En esta realización ejemplar, la carcasa exterior 102 del FRS 100 incluye una primera o carcasa superior 104 y una segunda o carcasa inferior 130 acoplada de manera liberable a la carcasa superior 104.

[0036] Como se muestra particularmente en la Figura 2, la carcasa superior 104 del conjunto de carcasa 102 del FRS 100 generalmente incluye un primer extremo o extremo superior 106, un segundo extremo o extremo inferior 108 opuesto al extremo superior 106, y un orificio central o paso 110 definido por una superficie interna generalmente cilíndrica 112 que se extiende entre los extremos 106, 108. La carcasa superior 104 además incluye un primer conector o conector superior 114 posicionado en el extremo superior 106 del mismo y un segundo conector o conector inferior 116 posicionado en el extremo inferior 108 del mismo. En esta realización ejemplar, los conectores 114, 116 comprenden cada uno conectores de pasador con roscas externas; sin embargo, en otras realizaciones, la configuración de los conectores 114, 116 puede variar. Además, en esta realización ejemplar, el conector superior 114 de la carcasa superior 104 está configurado para conectarse a un conector del estator 60 de la sección de potencia 58 (no mostrado en las Figuras 2, 3) del motor de lodo en el fondo del pozo 56. Así, se puede formar una conexión roscada entre el conjunto de carcasa 102 del FRS 100 y el estator 60 de la sección de potencia 58, restringiendo la rotación relativa entre el estator 60 y el conjunto de carcasa 102.

[0037] La carcasa inferior 130 del conjunto de carcasa 102 del FRS 100 generalmente incluye un primer extremo o extremo superior 132, un segundo extremo o extremo inferior 134 opuesto al extremo superior 132, y un orificio central o paso 136 definido por una superficie interna generalmente cilíndrica 138 que se extiende entre los extremos 132, 134. La carcasa inferior 130 además incluye un primer conector o conector superior 140 posicionado en el extremo superior 132 del

mismo y un segundo conector o conector inferior 142 posicionado en el extremo inferior 134 del mismo. En esta realización ejemplar, los conectores 140, 142 comprenden cada uno conectores de caja con roscas internas; sin embargo, en otras realizaciones, la configuración de los conectores 114, 116 puede variar. El conector superior 140 de la carcasa inferior 130 está configurado para conectarse (por ejemplo, conectarse roscadamente) con el conector inferior 116 de la carcasa superior 104 restringiendo así la rotación relativa entre las carcasas 104, 130. Además, en esta realización ejemplar, el conector inferior 142 de la carcasa inferior 130 está configurado para conectarse (por ejemplo, conectarse roscadamente) con un conector de la carcasa de cojinetes 310 del conjunto de cojinetes 300 (no mostrado en las Figuras 2, 3) restringiendo así la rotación relativa entre la carcasa de cojinetes 310 y el conjunto de carcasa 102. Además, mientras que en esta realización ejemplar el conjunto de carcasa exterior 102 comprende una pluralidad de carcasas 104, 130 acopladas juntas, en otras realizaciones, el conjunto de carcasa exterior 102 puede comprender una única carcasa exterior formada de manera monolítica o integral (por ejemplo, una carcasa exterior que comprende las carcasas 102, 130 formadas de manera monolítica o integral juntas). Por lo tanto, el conjunto de carcasa exterior 102 también puede ser referido aquí simplemente como carcasa exterior 102.

[0038] Como se muestra particularmente en las Figuras 2, 3 y 7, el conjunto de mandril 150 del FRS 100 generalmente incluye un primer mandril superior 152 y un segundo mandril inferior 170 acoplado al mandril superior 152 para formar el conjunto de mandril 150. El mandril superior 152 del conjunto de mandril 150 generalmente incluye un primer extremo o extremo superior 154, un segundo extremo o extremo inferior 156 opuesto al extremo superior 154, y una superficie exterior generalmente cilíndrica 158 que se extiende entre los extremos 154, 156. El mandril superior 152 además incluye un primer conector o conector superior 160 posicionado en el extremo superior 154 del mismo y un segundo conector o conector inferior 162 posicionado en el extremo inferior 156 del mismo. En esta realización ejemplar, el conector superior 160 comprende un conector de pasador con rosca externa mientras que el conector inferior 162 comprende un conector de caja con rosca interna; sin embargo, en otras realizaciones, la configuración de los conectores 160, 162 puede variar. Además, en esta realización ejemplar, el conector superior 160 del mandril superior 160 está configurado para conectarse a un conector del rotor 62 de la sección de potencia 58 (no mostrado en las Figuras 2, 3 y 7) del motor de lodo en el fondo del pozo 56. Así, se puede formar una conexión roscada entre el conjunto de mandril 130 del FRS 100 y el rotor 62 de la sección de potencia 58, restringiendo la rotación relativa entre el rotor 62 y el conjunto de mandril 130. Además, dado que se permite la rotación relativa entre el rotor 62 y el estator 60 de la sección de potencia 58, se permite que el conjunto de mandril 130 rote de manera relativa (y en conjunto con el rotor 62) tanto al estator 60 de la sección de potencia 58 como al conjunto de carcasa exterior 102 del FRS 100.

[0039] El mandril inferior 170 del conjunto de mandril 150 generalmente incluye un primer extremo o extremo superior 172, un segundo extremo o extremo inferior 174 opuesto al extremo superior 172, y una superficie exterior generalmente cilíndrica

176 que se extiende entre los extremos 172, 174. El mandril inferior 170 además incluye un primer conector o conector superior 178 posicionado en el extremo superior 172 del mismo y un segundo conector o conector inferior 180 posicionado en el extremo inferior 174 del mismo. En esta realización ejemplar, el conector superior 178 comprende un conector de pasador con rosca externa mientras que el conector inferior 180 comprende un conector de caja con rosca interna; sin embargo, en otras realizaciones, la configuración de los conectores 178, 180 puede variar.

[0040] En esta realización ejemplar, el conector superior 178 del mandril inferior 170 está configurado para conectarse (por ejemplo, conectarse roscadamente) con el conector inferior 162 del mandril superior 152, restringiendo así la rotación relativa entre los mandriles 152, 170. Además, en esta realización ejemplar, el conector inferior 180 del mandril inferior 170 está configurado para conectarse (por ejemplo, conectarse roscadamente) con un conector del mandril de cojinetes 320 del conjunto de cojinetes 300 (no mostrado en las Figuras 2, 3 y 7), restringiendo así la rotación relativa entre el mandril de cojinetes 320 y el conjunto de mandril 150. Además, mientras que en esta realización ejemplar el conjunto de mandril 150 comprende una pluralidad de mandriles 152, 170 acoplados juntos, en otras realizaciones, el conjunto de mandril 150 puede comprender un único mandril formado de manera monolítica o integral (por ejemplo, un mandril que comprende los mandriles 152, 170 formados de manera monolítica o integral juntos). Por lo tanto, el conjunto de mandril 150 también puede ser referido aquí simplemente como mandril exterior 150.

[0041] En esta realización ejemplar, el mandril superior 152 del conjunto de mandril 150 incluye uno o más puertos radiales superiores 164 espaciados circunferencialmente formados en el mismo y ubicados próximos al extremo inferior 156 del mismo. El mandril superior 152 además incluye un paso central que se extiende hacia el interior del extremo inferior 156 del mismo y que está en comunicación fluida con los puertos superiores 164, de modo que los puertos superiores 164 se extienden radialmente entre el paso central del mandril superior 152 y la superficie exterior 158 del mandril superior 152. El paso central del mandril superior 152 solo se extiende parcialmente dentro del mandril superior 152 y, por lo tanto, termina a una distancia del extremo superior 154 del mandril superior 152.

[0042] El mandril inferior 170 incluye un primer paso central superior 182 (también referido aquí como paso superior 182) que se extiende hacia el interior del extremo superior 172 del mandril inferior 170, y un segundo paso central inferior 184 (también referido aquí como paso inferior 184) que se extiende hacia el interior del extremo inferior 174 del mismo y que está espaciado del paso central superior 182. El paso superior 182 del mandril inferior 170 está conectado con el paso central del mandril superior 152 y el paso central formado colectivamente por el paso superior 182 del mandril inferior 170 y el paso superior 182 del mandril inferior 170 también puede ser referido aquí como paso superior 182. El paso superior 182 permite que el fluido de perforación que fluye a través del FRS 100 evite el conjunto de cojinetes

200 posicionado dentro del anular 145 formado entre el conjunto de mandril 150 y el conjunto de carcasa exterior 102.

[0043] En esta realización ejemplar, el mandril inferior 170 además incluye un puerto radial intermedio 186 y un puerto radial inferior 188 que están espaciados axialmente del puerto intermedio 186. El puerto intermedio 186 se extiende radialmente entre el paso superior 182 y la superficie exterior 176, mientras que el puerto inferior 188 se extiende radialmente entre el paso inferior 184 y la superficie exterior 176. En esta configuración, el fluido no puede estar en comunicación directa entre el paso superior 182 y el paso inferior 184, y en su lugar, solo puede ser comunicado desde el paso superior 182 al paso inferior 184 viajando a través del puerto intermedio 186, un anular 145 formado radialmente entre el conjunto de mandril 150 y el conjunto de carcasa exterior 102, y el puerto inferior 188. Además, mientras que en esta realización ejemplar el mandril inferior 170 incluye solo un único puerto intermedio 186 y un único puerto inferior 188, en otras realizaciones, el mandril inferior 170 puede incluir una pluralidad de puertos intermedios 186 espaciados circunferencialmente y/o una pluralidad de puertos inferiores 188 espaciados circunferencialmente.

[0044] El conjunto de cojinetes 200 del FRS 100 es generalmente anular y está posicionado radialmente entre el conjunto de mandril 150 y el conjunto de carcasa exterior 102 del FRS 100. El conjunto de cojinetes 200 está generalmente configurado para forzar al conjunto de mandril 150 del FRS 100 a rotar (a una tasa de rotación igual a la tasa de rotación del rotor 62) concéntricamente alrededor del eje central 105 del FRS 100. El eje central 105 es concéntrico con un eje longitudinal o central del conjunto de carcasa exterior 102 y, por lo tanto, el conjunto de cojinetes 200 sirve para forzar al conjunto de mandril 150 a rotar concéntricamente alrededor del eje central del conjunto de carcasa exterior 102. Particularmente, como se describió anteriormente, el conjunto de mandril 150 está acoplado al rotor 62 de la sección de potencia 58. También, como se describió anteriormente, el rotor 62 rota de manera excéntrica con respecto al estator 60 de la sección de potencia 58, por lo cual un eje central del rotor 62 está desplazado de un eje central del estator 62. El conjunto de cojinetes 200 actúa para asegurar que el conjunto de mandril 150 rote de manera concéntrica, en lugar de excéntrica (donde las fuerzas del rotor 62 podrían de otro modo impulsar al conjunto de mandril 150 hacia un movimiento excéntrico) con respecto al conjunto de carcasa exterior 102 y al miembro de válvula exterior 220.

[0045] En esta realización ejemplar, el conjunto de cojinetes 200 comprende un cojinete radial (por ejemplo, que comprende cojinetes de bolas espaciados circunferencialmente, etc.) configurado para soportar cargas radiales aplicadas al conjunto de carcasa exterior 102 y/o al conjunto de mandril 150; sin embargo, en otras realizaciones, la configuración del conjunto de cojinetes 200 puede variar.

[0046] Como se muestra particularmente en las Figuras 4-6, el miembro de válvula exterior 220 del FRS 100 es generalmente cilíndrico e incluye un primer extremo o extremo superior 222, un segundo extremo o extremo inferior 224 opuesto al

extremo superior 222. Además, en esta realización ejemplar, el miembro de válvula exterior 220 incluye un primer anillo o anillo superior 226 ubicado en el extremo superior 222 y un segundo anillo o anillo inferior 228 ubicado en el extremo inferior 224. Los anillos 226, 228 están separados por un detente arqueado 230 que se extiende axialmente entre los anillos 226, 228. Como se muestra particularmente en la Figura 6, el detente 230 comprende una superficie interna arqueada o asiento de válvula 232 que está flanqueado por un par de superficies anguladas que se extienden cada una desde el asiento de válvula 232 hasta una superficie exterior generalmente cilíndrica del miembro de válvula exterior 220. El asiento de válvula 232 solo se extiende parcialmente alrededor de la circunferencia del miembro de válvula exterior 220, por lo cual se forma una brecha o apertura arqueada 240 alrededor de la porción restante de la circunferencia del miembro de válvula exterior 220. En algunas realizaciones, el asiento de válvula 232 define un diámetro interno mínimo del miembro de válvula exterior 220; sin embargo, en otras realizaciones, el asiento de válvula 232 puede no definir el diámetro interno mínimo del miembro de válvula exterior 220.

[0047] En esta realización ejemplar, el miembro de válvula exterior 220 está acoplado al conjunto de carcasa exterior 102 del FRS 100 de tal manera que se restringe la rotación relativa entre el conjunto de carcasa exterior 102 y el miembro de válvula exterior 220. Por ejemplo, el miembro de válvula exterior 220 puede ser ajustado a presión en el conjunto de carcasa exterior 102, de modo que la superficie exterior del miembro de válvula exterior 220 quede bloqueada con la superficie interna 138 de la carcasa inferior 130 del conjunto de carcasa exterior 102. Sin embargo, en otras realizaciones, la conexión formada entre el miembro de válvula exterior 220 y el conjunto de carcasa exterior 102 puede variar. Por ejemplo, en otras realizaciones, el miembro de válvula exterior 220 puede estar acoplado roscadamente o de otra manera al conjunto de carcasa exterior 102 mediante uno o más conectores. En aún otras realizaciones, el miembro de válvula exterior 220 puede estar formado de manera integral o monolítica con el conjunto de carcasa exterior 102 (por ejemplo, de manera integral o monolítica con la carcasa inferior 130, por ejemplo). En realizaciones adicionales, solo el asiento de válvula 232 puede estar formado o acoplado con el conjunto de carcasa exterior 102, omitiendo los anillos 226, 228.

[0048] Haciendo referencia ahora a las Figuras 3, 8 y 9, en esta realización ejemplar, el conjunto de mandril 150 y el miembro de válvula exterior 220 colectivamente forman o comprenden una válvula rotativa 250 en la que el conjunto de mandril 150 forma un segundo miembro de válvula rotativo o miembro de válvula interior de la válvula rotativa 250. Por lo tanto, el conjunto de mandril 150 también puede ser referido aquí como el miembro de válvula interior 150 de la válvula rotativa 250. Mientras que en esta realización ejemplar el conjunto de mandril 150 está posicionado radialmente dentro del miembro de válvula exterior 220, en otras realizaciones, las posiciones relativas del conjunto de mandril 150 y el miembro de válvula exterior 220 pueden ser invertidas, por lo que, por ejemplo, el puerto radial 188 está ubicado radialmente hacia afuera del asiento de válvula 230.

[0049] A medida que el conjunto de mandril 150 rota en concierto con el rotor 62 de la sección de potencia 58, el puerto inferior 188 del conjunto de mandril 150 es cíclicamente cubierto o solapado por el asiento de válvula 232 del miembro de válvula exterior 220. La válvula rotativa 250 del FRS 100 puede inducir continuamente pulsos de presión en el fluido de perforación que fluye a través del FRS 100 a medida que el conjunto de mandril 150 rota con respecto al miembro de válvula exterior 220. La energía transmitida por los pulsos de presión inducidos por el FRS 100 se transfiere a la tubería helicoidal 22 acoplada al BHA 50, estirando periódicamente la tubería helicoidal 22. El estiramiento periódico de la tubería helicoidal 22 inducido por los pulsos de presión generados por el FRS 100 puede, a su vez, inducir un movimiento axial oscilante (movimiento en la dirección del eje central 25) en la tubería helicoidal 22 (así como en los componentes del BHA 50) lo que ayuda a prevenir que la tubería helicoidal 22 y/o el BHA 50 se peguen o bloqueen contra la pared 8 del pozo 4, reduciendo así la fricción entre la tubería helicoidal 22/BHA 50 y la pared 8 del pozo 4. Reducir la fricción entre la tubería helicoidal 22/BHA 50 y la pared 8 del pozo 4 puede aumentar la velocidad a la que se puede desplazar el juego de herramientas 20 a través del pozo 4, así como aumentar la distancia máxima o alcance a través del cual el juego de herramientas 20 puede extenderse a través del pozo 4.

[0050] Como se muestra particularmente en la Figura 3, el asiento de válvula 232 tiene una longitud axial 233 que es igual o mayor que una longitud axial 189 del puerto inferior 188. Además, como se muestra particularmente en las Figuras 8, 9, el asiento de válvula 232 tiene un ancho arqueado 235 que es igual o mayor que un ancho arqueado 191 del puerto inferior 188. En esta configuración, el FRS 100 tiene una configuración cerrada mostrada en la Figura 8 en la que el asiento de válvula 232 del miembro de válvula exterior 230 cubre completamente (tanto axial como circunferencialmente) el puerto inferior 188, impidiendo sustancialmente la entrada de fluido de perforación en el puerto inferior 188 desde el anular 145. La válvula rotativa 250 está configurada para inducir o generar un pulso de presión en el fluido de perforación que fluye a través del FRS 100 cada vez que el FRS 100 entra en la configuración cerrada. Además, el FRS 100 tiene una configuración abierta (un ejemplo de la cual se muestra en la Figura 9) en la que al menos una parte del puerto inferior 188 no está obstruida o cubierta por el asiento de válvula 232 del miembro de válvula exterior 230.

[0051] A medida que el conjunto de mandril 150 rota con respecto al conjunto de carcasa exterior 102 y al miembro de válvula exterior 220, el FRS 100 cicla repetidamente entre las configuraciones abierta y cerrada, donde la tasa de rotación relativa entre el conjunto de mandril 150 y el miembro de válvula exterior 220 se correlaciona con la frecuencia a la que el FRS 100 cicla entre las configuraciones abierta y cerrada. Además, el FRS 100 proporciona un área de flujo mínima a través de la válvula rotativa 250 cuando está en la configuración cerrada y un área de flujo máxima a través de la válvula rotativa 250 cuando está en la configuración abierta, que es mayor que el área de flujo mínima. La magnitud del pulso de presión (por ejemplo, la presión del fluido en el fluido de perforación que fluye a través del FRS 100) generado por la válvula rotativa 250 a una tasa de flujo de fluido de perforación

dada puede basarse o correlacionarse con el área de flujo mínima de la válvula rotativa 250. Particularmente, la magnitud del pulso de presión generado por el FRS 100 al entrar en la configuración cerrada puede estar correlacionada negativamente con el tamaño del área de flujo mínima a través de la válvula rotativa 250 cuando está en la configuración cerrada.

[0052] En algunas realizaciones, el área de flujo máxima de la válvula rotativa 250 puede comprender o basarse en un perímetro 193 del puerto inferior 188 definido por la longitud axial 189 multiplicada por el ancho arqueado 191 del puerto inferior 188. En realizaciones donde la válvula rotativa 250 comprende una pluralidad de puertos inferiores 188, el área de flujo máxima de la válvula rotativa 250 puede multiplicarse por el número de puertos inferiores 188. En algunas realizaciones, el área de flujo mínima de la válvula rotativa 250 puede comprender o basarse en el perímetro 193 del puerto inferior 188 multiplicado por una holgura radial 195 entre el puerto inferior 188 y el asiento de válvula 232 del miembro de válvula exterior 230 cuando el FRS 100 está en la configuración cerrada. En realizaciones donde la válvula rotativa 250 comprende una pluralidad de puertos inferiores 188, el área de flujo mínima de la válvula rotativa 250 puede multiplicarse por el número de puertos inferiores 188.

[0053] Teniendo en cuenta lo anterior, el área de flujo máxima de la válvula rotativa 250 se basa en las dimensiones del puerto inferior 188 (así como en el número de puertos inferiores 188), mientras que el área de flujo mínima de la válvula rotativa 250 se basa en el número/dimensión del puerto inferior 188, así como en la holgura radial 195 formada entre el puerto inferior 188 y el asiento de válvula 232, donde un aumento en la holgura radial 195 resulta en un aumento en el área de flujo mínima de la válvula rotativa 250. Por lo tanto, la relación entre el área de flujo máxima de la válvula rotativa 250 y el área de flujo mínima de la válvula 250 puede ser ajustada convenientemente para la aplicación dada ajustando la holgura radial 195. A su vez, ajustando la relación entre el área de flujo máxima y el área de flujo mínima de la válvula rotativa 250, la magnitud del pulso de presión generado por el FRS 100 para una tasa de flujo de perforación dada puede ser ajustada para satisfacer las necesidades de la aplicación dada. Por ejemplo, si se desea un pulso de presión relativamente mayor para una tasa de flujo de fluido de perforación dada, la holgura radial 195 de la válvula rotativa 250 puede ser reducida. Por el contrario, si se desea un pulso de presión relativamente más débil, la holgura radial 195 de la válvula rotativa 250 puede ser aumentada. Los pulsos de presión generados por la válvula rotativa 250 pueden ser comunicados a la tubería helicoidal 22, induciendo así un movimiento axial oscilante en la tubería helicoidal 22, como se describió anteriormente. Una magnitud relativamente mayor de los pulsos de presión generados por la válvula rotativa 250 puede estar asociada o correlacionada con una magnitud relativamente mayor en el movimiento oscilante inducido en la tubería helicoidal 22. Así, al ajustar la magnitud de los pulsos de presión generados por la válvula rotativa 250 como se ha descrito anteriormente, la magnitud del movimiento oscilatorio inducido en la tubería helicoidal 22 puede, a su vez, ser ajustada para adaptarse a las necesidades de una aplicación dada.

[0054] Además, dado que las áreas de flujo mínimo y máximo están definidas solo por las dimensiones relativas del puerto inferior 188, el asiento de válvula 230 y la holgura radial 195 que se extiende entre ellos, tanto el área de flujo mínimo como el área de flujo máximo proporcionadas por la válvula rotativa 250 pueden ser controladas con precisión en comparación con los sistemas convencionales de reducción de fricción, que dependen de un sistema convencional de reducción de fricción o de pulsos de presión que se basa en el movimiento excéntrico de una primera placa de válvula que está en contacto deslizante metal-metal con una segunda placa de válvula para abrir y cerrar. Particularmente, dado que la primera placa de válvula rota de manera excéntrica en concierto con un rotor helicoidal acoplado con ella, el área de flujo mínimo proporcionada por el sistema convencional de reducción de fricción depende de la acumulación de tolerancias del rotor al cual está acoplado, así como de otros componentes (por ejemplo, un estator helicoidal) acoplados al sistema convencional de reducción de fricción. Además, dado que el sistema convencional de reducción de fricción se basa en el contacto deslizante entre sus respectivas placas de válvula, las placas de válvula generalmente comprenden materiales endurecidos (por ejemplo, materiales de carburo en polvo) que se forman aplicando altas presiones y temperaturas en lugar de procedimientos convencionales de mecanizado y que no pueden ser formados con el mismo nivel de precisión que los materiales más convencionales. Por lo tanto, el movimiento excéntrico y los materiales endurecidos utilizados en los sistemas convencionales de reducción de fricción resultan en una falta de precisión tanto en el área de flujo mínimo proporcionada por el sistema de reducción de fricción como en la magnitud resultante del pulso de presión proporcionado por el sistema convencional. Estos problemas se evitan con el FRS 100, que en su lugar utiliza la rotación concéntrica del conjunto de mandril 150 con respecto al miembro de válvula exterior 220 y no depende del contacto deslizante metal-metal entre el conjunto de mandril 150 y el miembro de válvula exterior 220. Además, como se describió anteriormente, la magnitud del pulso de presión proporcionado por el FRS 100 puede ser ajustada convenientemente ajustando la holgura radial 195, algo que no se puede hacer con los sistemas convencionales de reducción de fricción rotados excéntricamente.

[0055] Una parte de cada ciclo de la válvula rotativa 250 del FRS 100 se pasa en la configuración cerrada mostrada en la Figura 8 y la configuración abierta mostrada en la Figura 9. La proporción de la parte de cada ciclo que se pasa en la configuración cerrada versus la configuración abierta puede basarse en o correlacionarse con el ancho arqueado 235 del asiento de válvula 232 en relación con el ancho arqueado de la apertura 240. Particularmente, cuanto mayor es el ancho arqueado 235 del asiento de válvula 232 en relación con el ancho arqueado de la apertura 240, mayor es la proporción de la parte de cada ciclo que se pasa en la configuración cerrada en relación con la configuración abierta. Por lo tanto, la proporción de la parte de cada ciclo que se pasa en la configuración cerrada en relación con la configuración abierta del FRS 100 puede ser ajustada convenientemente a las necesidades de una aplicación dada ajustando el ancho arqueado 235 de la placa de válvula 230 en relación con el ancho arqueado de la apertura 240.

[0056] Haciendo referencia ahora a la Figura 10, se muestra una manga cilíndrica 400 que tiene una superficie interna cilíndrica 402, de la cual puede formarse un miembro de válvula exterior, como el miembro de válvula exterior 220 descrito anteriormente. Particularmente, la manga cilíndrica 400 puede fabricarse para formar uno o más asientos de válvula espaciados circunferencialmente (por ejemplo, uno o más asientos de válvula 230 descritos anteriormente) y una o más aperturas arqueadas posicionadas circunferencialmente entre los uno o más asientos de válvula. Por ejemplo, la manga 400 puede fabricarse mediante procesos estándar de formado, mecanizado y/o fabricación aditiva. Además, la superficie interna 402 de la manga 400 puede ser mecanizada para producir un diámetro interno mínimo deseado para cada asiento de válvula formado con un alto grado de precisión, para así ajustar la holgura radial (por ejemplo, la holgura radial 195 descrita anteriormente) según se desee para la aplicación dada.

[0057] Como se describió anteriormente, en algunas realizaciones, el miembro de válvula exterior de la válvula rotativa del FRS 100 puede incluir una pluralidad de miembros de válvula exterior espaciados circunferencialmente. Por ejemplo, haciendo referencia a la Figura 11, se muestra otra realización de un miembro de válvula exterior 450 que comprende un par de detentes 452 espaciados circunferencialmente. En esta realización ejemplar, cada detente 452 está espaciado aproximadamente 180 grados aparte; sin embargo, en otras realizaciones, el espaciado circunferencial de los detentes 452 puede variar. Además, en esta realización ejemplar, cada detente comprende una superficie interna arqueada o asiento de válvula 454 configurado para cubrir completamente el puerto inferior 188 del conjunto de mandril 150 cuando un sistema de reducción de fricción (FRS) 460 que comprende el conjunto de mandril 150 y el miembro de válvula exterior 450 está en una configuración cerrada como se muestra en la Figura 11.

[0058] En esta realización ejemplar, el FRS 460 entra en la configuración cerrada dos veces (una vez por cada uno de los pares de asientos de válvula 454) durante una sola revolución del conjunto de mandril 150. Por lo tanto, a una tasa de rotación dada, el FRS 460 entra en la configuración cerrada (y por lo tanto produce un pulso de presión) al doble de la frecuencia de la válvula rotativa 250 descrita anteriormente. Así, al alterar el número de asientos de válvula del miembro de válvula exterior (lo que puede realizarse convenientemente durante el mecanizado de la manga 400 descrito anteriormente), se puede obtener una gama de diferentes frecuencias de pulsos de presión generados por el FRS 100 a una única tasa de rotación del conjunto de mandril 150. Una frecuencia relativamente mayor de pulsos de presión generados por la válvula rotativa 250 puede estar asociada o correlacionada con una frecuencia relativamente mayor en el movimiento oscilante inducido en la tubería helicoidal 22. Por lo tanto, al ajustar la frecuencia de los pulsos de presión generados por la válvula rotativa 250 como se ha descrito anteriormente, la frecuencia del movimiento oscilatorio inducido en la tubería helicoidal 22 puede, a su vez, ser ajustada para adaptarse a las necesidades de una aplicación dada.

[0059] Además, dado que la tasa de rotación del conjunto de mandril 150 puede estar limitada por la aplicación particular (por ejemplo, por el equipo de superficie utilizado para bombear el fluido de perforación al FRS 100), la capacidad de variar la frecuencia de los pulsos de presión producidos por el FRS 100 a una tasa de rotación dada del conjunto de mandril 150 mejora enormemente la flexibilidad del FRS 100 para adaptarse a las necesidades de diferentes aplicaciones. Mientras que en esta realización ejemplar el miembro de válvula exterior 450 comprende un par de asientos de válvula 452, en otras realizaciones, el número de asientos de válvula 452 puede ser mayor a dos.

[0060]

[0061]

[0062] Si bien se han mostrado y descrito realizaciones ejemplares, un experto en la materia puede realizar modificaciones sin alejarse del alcance o las enseñanzas aquí presentadas. Las realizaciones descritas son solo ejemplares y no limitativas. Muchas variaciones y modificaciones de los sistemas, aparatos y procesos descritos aquí son posibles y están dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, se pueden variar las dimensiones relativas de varias partes, los materiales de los que se hacen las diversas partes y otros parámetros. Por lo tanto, el alcance de protección no se limita a las realizaciones descritas aquí, sino que está limitado únicamente por las reivindicaciones que siguen, cuyo alcance incluirá todas las equivalencias del asunto reivindicado en las reivindicaciones. A menos que se indique expresamente lo contrario, los pasos en una reivindicación de método pueden realizarse en cualquier orden. La recitación de identificadores como (a), (b), (c) o (1), (2), (3) antes de los pasos en una reivindicación de método no tienen la intención de especificar un orden particular para los pasos, sino que se utilizan para simplificar la referencia posterior a tales pasos.