

**ENSAMBLAJE DE CONTROL DE PRESIÓN EN EL ESPACIO ANULAR AUTÓNOMO
PARA UN EVENTO DE PERFORACIÓN**

CAMPO TÉCNICO

5 La presente descripción se relaciona a nivel general con un
ensamblaje de perforación y específicamente con un ensamblaje de
control de presión en el espacio anular autónomo para un evento
de perforación.

ANTECEDENTES

10 Durante un evento de perforación de una sarta de revestimiento
que se extiende dentro de un pozo, ocurre una respuesta de presión
transitoria cuando las presiones inicialmente estáticas del
perforador de pozo, el pozo y el yacimiento circundante están
15 conectadas de forma dinámica. Esta respuesta es muy rápida -en
el entorno de los milisegundos- y la forma del perfil de presión
depende de factores como las características del yacimiento
circundante, el pozo y un sistema de perforación de pozo asociado
con el evento. Frecuentemente, se desea la creación de un
20 desbalance positivo de presión dinámico y/o desbalance negativo
de presión para generar un perfil de tiempo-presión transitorio
específico durante el evento de perforación. Un desbalance
negativo de presión permite que las perforaciones presenten un
pico de presión y se limpien, así como disminuir el efecto

pelicular debido a daños en la formación. Un desbalance positivo de presión asiste en el rendimiento de ruptura de formación de perforación. Un perfil de tiempo-presión de referencia puede incluir uno o más desbalances negativos o positivos de presión

5 durante la respuesta de presión transitoria y, generalmente, equilibra los mecanismos que compiten con frecuencia, tales como la inyectividad/producción de la formación, la estabilidad del túnel de perforación, el control de arena y la integridad de la pistola y el pozo. Por lo tanto, el perfil de tiempo-presión de

10 referencia para el evento de perforación puede ser específico para ese evento de perforación y basarse en los factores asociados con el yacimiento, el pozo y el sistema de pistola. No obstante, un ensamblaje de control de presión para eventos de perforación se ensambla y "configura" antes de que el ensamblaje se extienda

15 hacia el fondo de pozo. Por lo tanto, independientemente de factores desconocidos que puedan surgir en el fondo de pozo antes o durante el evento de perforación, el ensamblaje opera de acuerdo con instrucciones previamente cargadas que están basadas en el perfil de tiempo-presión de referencia. Esto significa que no hay

20 oportunidad de ajustar la configuración o las instrucciones del ensamblaje en caso de que surjan factores desconocidos o imprevistos que causen que el perfil de tiempo-presión transitorio se aleje del perfil de tiempo-presión de referencia. Esto puede resultar en desviaciones entre la presión real de fondo

de pozo y un perfil de tiempo-presión de referencia, lo que puede causar una explosión de pistolas, sartas partidas, tuberías colapsadas y/o deformadas, movimiento de empacador y una disminución de la producción óptima.

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Diversas modalidades de la presente descripción se comprenderán de manera más completa a partir de la descripción detallada que se proporcionará más adelante y a partir de los dibujos que la acompañan de diversas modalidades de la descripción. En los
10 dibujos, los números de referencia similares pueden indicar elementos idénticos o funcionalmente similares.

La Figura 1 es una ilustración esquemática de una plataforma marítima de gas y petróleo acoplada operativamente a un
15 ensamblaje de control de presión en el espacio anular autónomo para un evento de perforación, de acuerdo con una modalidad de ejemplo de la presente descripción;

la Figura 2 ilustra una vista lateral del ensamblaje de la Figura 1, de acuerdo con una modalidad de ejemplo de la presente
20 descripción;

la Figura 3A ilustra una vista transversal de una parte del ensamblaje de la Figura 1 en una primera configuración, de acuerdo con una modalidad de ejemplo de la presente descripción;

la Figura 3B ilustra una vista transversal de la parte del

ensamblaje de la Figura 3A en una segunda configuración, de acuerdo con una modalidad de ejemplo de la presente descripción; la Figura 4 es una ilustración diagramática de una parte del ensamblaje de la Figura 1 que proporciona un bucle de control de retroalimentación, de acuerdo con una modalidad de ejemplo de la presente descripción;

la Figura 5 es una ilustración diagramática del bucle de control de retroalimentación de la Figura 4, de acuerdo con una modalidad de ejemplo de la presente descripción;

la Figura 6 ilustra un método para la operación del ensamblaje de la Figura 1, de acuerdo con una modalidad de ejemplo de la presente descripción;

la Figura 7 es una gráfica que ilustra un perfil de tiempo-presión de referencia, de acuerdo con una modalidad de ejemplo de la presente descripción; y

la Figura 8 es una gráfica que ilustra otro perfil de tiempo-presión de referencia, de acuerdo con una modalidad de ejemplo de la presente descripción.

20

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Más adelante se describen modalidades ilustrativas y métodos relacionados de la presente descripción como puede que sean empleados en un ensamblaje de control de presión en el espacio anular autónomo para un evento de perforación y el método para

operarlo. A efectos de claridad, no se describen todas las características de una implementación o método real en la presente memoria descriptiva. Por supuesto, se observará que en el desarrollo de cualquier modalidad real de ese tipo, se deben

5 tomar diversas decisiones específicas de la implementación a efectos de alcanzar los objetivos específicos del desarrollador, tales como el cumplimiento con las restricciones relacionadas con el sistema y la actividad comercial, que variarán de una implementación a otra. Además, se reconocerá que dicho intento

10 de desarrollo podría ser complejo y podría llevar tiempo, pero que, sin embargo, podría ser una tarea habitual para los expertos en la técnica con el beneficio de la presente descripción. Algunos aspectos y ventajas adicionales de las diversas modalidades y los métodos relacionados de la invención resultarán evidentes a

15 partir de la consideración de la siguiente descripción y dibujos. La descripción precedente puede repetir números y/o letras de referencia en los diferentes ejemplos. Esta repetición se realiza a efectos de simplificar y aclarar, y no establece por sí misma una relación entre las distintas modalidades y/o configuraciones

20 descritas. Adicionalmente, los términos espaciales relacionados tales como "por debajo", "debajo", "inferior", "por encima", "superior", "hacia arriba del pozo", "hacia el fondo de pozo", "anterior", "posterior", y similares, pueden usarse en la presente para facilitar la descripción de una relación entre un

elemento o una característica con otro/s elemento/s o característica/s tal como se ilustra en las Figuras. Se pretende que los términos y expresiones espaciales comprendan diferentes orientaciones del aparato en uso o en funcionamiento además de la orientación representada en las Figuras. Por ejemplo, si se diera vuelta el aparato en las figuras, los elementos que se describe que se encuentran "por debajo" o "debajo" de otros elementos o características se encontrarían entonces "por encima" de los otros elementos o características. Por lo tanto, el término ilustrativo "debajo" puede comprender tanto una orientación superior como inferior. El aparato puede estar orientado de otra forma (girado 90 grados o en otras orientaciones) y los elementos descriptivos de relación espacial utilizados en la presente pueden, asimismo, interpretarse de forma acorde.

La Figura 1 es una ilustración esquemática de una plataforma de petróleo y gas mar adentro generalmente denominada 10, acoplada de forma operativa a modo de ejemplo a un ensamblaje de control de presión en el espacio anular autónomo para un evento de perforación, de acuerdo con la presente descripción. Tal ensamblaje podría de manera alternativa estar acoplado a un semisumergible o una embarcación de perforación. Asimismo, si bien la Figura 1 representa una operación marítima, los expertos en la técnica deberían entender que el aparato de acuerdo con la

presente descripción es igualmente adecuado para ser utilizado en operaciones en tierra. A modo de convención en la siguiente discusión, aunque la Figura 1 ilustra un pozo vertical, los expertos en la técnica comprenderán que el aparato de acuerdo con

5 la presente descripción también es adecuado para ser utilizado en pozos con otras orientaciones, lo que incluye pozos horizontales, pozos inclinados, pozos multilaterales o similares. Por consiguiente, los expertos en la técnica comprenderán que el uso de términos que expresan direcciones,

10 tales como "encima", "debajo", "superior", "inferior", "ascendente", "descendente", "hacia la parte superior del pozo", "hacia el fondo de pozo" y similares se usan en relación con las modalidades ilustrativas según se representan en las figuras, con el sentido ascendente dirigiéndose a la parte superior de la

15 figura correspondiente y el sentido descendente dirigiéndose a la parte inferior de la figura correspondiente, y el sentido hacia la parte superior del pozo dirigiéndose a la superficie del pozo y el sentido hacia el fondo del pozo dirigiéndose al talón del pozo.

20 Aun haciendo referencia al ejemplo de la plataforma de petróleo y gas mar adentro de la Figura 1, se puede colocar una plataforma semisumergible 15 sobre una formación de gas y petróleo sumergida 20 ubicada bajo un lecho marino 25. Un conducto submarino 30 se puede extender desde una cubierta 35 de la plataforma 15 hasta

una instalación de cabezal del pozo submarina 40, que incluye preventores de reventones 45. La plataforma 15 puede tener un aparato montacargas 50, una torre de perforación 55, un aparejo móvil 60, un gancho 65 y una unión giratoria 70 para hacer subir o bajar sarta de perforación, tal como una sarta de perforación 75 sustancialmente tubular que se extiende de forma axial.

Como en la presente modalidad de ejemplo de la Figura 1, un agujero o pozo 80 se extiende a través de las varias capas de tierra que incluyen la formación 20, con una parte del pozo 80 que tiene una sarta de revestimiento 85 allí cementada. Dispuesto dentro de la sarta de revestimiento 85 del pozo 80 está un ensamblaje de control de presión en el espacio anular autónomo 90, que forma un espacio anular 95 entre una superficie externa 90a del ensamblaje de perforación 90 y la sarta de revestimiento 85.

La Figura 2 ilustra una vista lateral del ensamblaje 90, que generalmente incluyen un adaptador sensor 105; un controlador 110; y uno o más dispositivos de ajuste de presión ("PAD", por sus siglas en inglés) 115, tales como un dispositivo de aumento de presión 120, una pistola de perforación 125 y un reductor de presión o un dispositivo reductor de presión 130. Generalmente, cada uno de los PAD 115 es un generador de presión que ajusta temporalmente la presión en el espacio anular del fluido con el espacio anular 95.

La pistola de perforación 125 es una herramienta de fondo de pozo

que perfora la sarta de revestimiento 85. La pistola de perforación 125 puede incluir cargas huecas (no se muestra); un cordón de detonación (no se muestra); un detonador (no se muestra); y un medio de transporte para las cargas huecas (no se muestra). Si bien se muestra una pistola 125 de perforación en la Figura 2, se puede colocar cualquier cantidad de pistolas de perforación a lo largo del ensamblaje 90 y/o la sarta de perforación 75.

El adaptador sensor 105 puede incluir un sensor 105a, tal como un sensor de presión, un sensor de temperatura y/o un sensor de aceleración. El sensor 105a puede ser mecánico o electrónico. Por ejemplo, el sensor 105a puede ser un transductor de presión; un sensor piezoeléctrico; un medidor de deformación; o cualquier otro sensor electrónico similar. Adicionalmente, el sensor 105a puede incluir uno o más pistones (que pueden estar o no acoplados a una cámara de referencia cargada a una presión predeterminada); un disco de ruptura o una serie de discos de ruptura; un juego de cizallamiento, como pernos de cizallamiento; y cualquier otro sensor mecánico similar. Generalmente, el sensor 105a está en comunicación con un líquido, tal como un fluido, que se encuentra dentro del espacio anular 95 y mide una presión anular del líquido dentro del espacio anular 95. El ensamblaje 90 puede incluir un sensor 105a o cualquier cantidad de sensores espaciados a lo largo del ensamblaje 90 y/o la sarta de perforación 75.

El dispositivo de aumento de presión 120 es un dispositivo que aumenta temporalmente la presión dentro del espacio anular 95. Por ejemplo, el dispositivo de aumento de presión 120 puede ser un mecanismo o herramienta que incluye un material energético que se inicia mediante una variedad de métodos, como por ejemplo el uso de percusión mecánica y electrónica o a partir del impacto, etc. El material energético puede incluir explosivos o propulsores para generar gas y similares. De forma alternativa, el dispositivo de aumento de presión 120 puede ser un mecanismo o herramienta que incluye material exotérmico para generar calor y por lo tanto causar un aumento de presión, o puede incluir una combinación de material exotérmico y energético. Mientras que el dispositivo de aumento de presión 120 se muestra posicionado sobre la pistola de perforación 125 en la Figura 2, el dispositivo de aumento de presión 120 puede estar ubicado en cualquier parte a lo largo del ensamblaje 90. Adicionalmente, el dispositivo de aumento de presión 120 puede ser uno de múltiples dispositivos de aumento de presión colocados a lo largo del ensamblaje 90 y/o la sarta de perforación 75.

El dispositivo reductor de presión 130 es un dispositivo que reduce temporalmente la temperatura dentro del espacio anular 95. Por ejemplo, el dispositivo reductor de presión 130 puede ser un mecanismo o herramienta que incluye una cámara atmosférica. La cámara atmosférica puede ser introducida o colocada en

comunicación con el fluido en el espacio anular 95 de diversas maneras, como por ejemplo por medio de ventilación energética o ventilación mecánica. La ventilación energética puede incluir una carga hueca que se dispara para penetrar una pared que separa la cámara atmosférica y el fluido en el espacio anular 95. La ventilación mecánica puede incluir la ruptura de un disco de ruptura o la exposición de un volumen mediante una camisa de deslizamiento. De forma alternativa, el dispositivo reductor de presión 130 puede ser un mecanismo o herramienta que incluye un mandril o alojamiento que permite un cambio en el volumen interno del mandril o alojamiento, que permite que el fluido en el espacio anular 95 ingrese un volumen que no estaba disponible previamente dentro del mandril o mandril para reducir la presión del fluido en el espacio anular 95. Además, el dispositivo reductor de presión 130 puede ser un mecanismo o herramienta que incluye un material endotérmico que elimina el calor cuando es accionado y por lo tanto causa una reducción de la presión en el fluido en el espacio anular 95. En una modalidad, el dispositivo reductor de presión 30 es un disipador de energía. Mientras que el dispositivo reductor de presión 130 se muestra posicionado debajo de la pistola de perforación 125 en la Figura 2, el dispositivo reductor de presión 130 puede estar ubicado en cualquier parte a lo largo del ensamblaje 90. Adicionalmente, el dispositivo reductor de presión 130 puede ser uno de múltiples dispositivos

reductores de presión 130 colocados a lo largo del ensamblaje 90 y/o la sarta de perforación 75.

Las Figuras 3A y 3B son vistas transversales de una parte de una modalidad del ensamblaje 90 en el cual el dispositivo reductor de presión 130 es un respiradero mecánico de una cámara atmosférica y el dispositivo de aumento de presión 120 es un material energético que es un propulsor. El ensamblaje 90, tal como se muestra en la Figura 3A, está en una primera posición en la cual el dispositivo reductor de presión 130 está en la posición fijada y el dispositivo de aumento de presión 120 está en la presión fijada. El ensamblaje 90 de la Figura 3A incluye una estructura tubular 132 que forma un pasaje interior 135. Se dispone una camisa de deslizamiento 140 dentro del pasaje 135 y se asegura, mediante múltiples pernos de cizallamiento 145, con respecto a la estructura tubular 132. Los pernos de cizallamiento 145 evitan o limitan el movimiento axial de la camisa de deslizamiento 140 con respecto a la estructura tubular 132, donde la camisa de deslizamiento bloquea un puerto 150 que se extiende a través de una pared externa de la estructura tubular 132. Por lo tanto, cuando se encuentra en la primera posición, un volumen dentro de la camisa de deslizamiento 140 se aísla de forma fluida de una superficie externa 132a de la estructura tubular 132 y el fluido dentro del espacio anular 95. Un detonador 155 se extiende dentro de la estructura tubular 132 y se pone en contacto con un

disco propulsor 160. El ensamblaje 90 también incluye un propulsor 161 que se acomoda dentro de otra parte del pasaje interior 135 de la estructura tubular 132 cerca de uno o más puertos 162 que se extienden a través de la pared externa de la estructura tubular 132. Cuando el detonador 155 detona el disco propulsor 160, el disco 160 se deflagra y genera gas. Esto, a su vez, provoca que la camisa de deslizamiento 140 cizalle los pernos de cizallamiento 145 de manera que la camisa de deslizamiento 140 pueda desplazarse axialmente con respecto a la estructura tubular 132 para desbloquear el puerto 150. Es decir, luego de que se detona el disco propulsor 160, el puerto 150 se "abre" y un volumen de fluido que está ubicado cerca de la superficie externa 132a de la estructura tubular 132-en este caso fluido dentro del espacio anular 95-ingresa en el pasaje 135 de la estructura tubular 132 para reducir temporalmente la presión en el espacio anular del fluido o gas dentro del espacio anular 95. Adicionalmente, cuando el detonador 155 detona el propulsor 161, se produce una reacción energética y los productos de la reacción energética se dirigen a través de los puertos 162 para aumentar temporalmente la presión en el espacio anular del fluido o gas dentro del espacio anular 95. El ensamblaje 90, tal como se muestra en la Figura 3B está en una segunda posición en la cual el disco propulsor 160 del dispositivo reductor de presión 130 ha sido detonado y el propulsor 161 del dispositivo de aumento

de presión 120 ha sido detonado. El ensamblaje 90 tal como se muestra en las Figuras 3A y 3B es solamente un ejemplo, y existen múltiples dispositivos reductores de presión 130 y dispositivos de aumento de presión 120 diferentes. Por ejemplo, el propulsor

5 podría ser encendido en diversas pequeñas dosis con incrementos que tienen rápidos transitorios de ignición y múltiples dispositivos de encendido en múltiples propulsores que causan incrementos o reducciones de presión transitorios de rápida ignición y ascensión (cuando se introducen cámaras atmosféricas

10 al fluido dentro del espacio anular 95). De forma alternativa, el ensamblaje 90 puede incluir un propulsor medido o desviado por la presión. A efectos de mayor claridad, a lo largo de la sarta de perforación 75 se muestra un único medio detonador iniciado por el controlador 110 para los PAD 115. Sin embargo, en otras

15 modalidades, se pueden proporcionar medios detonadores paralelos e independientes para cada uno de los PAD 115 en la sarta de perforación 75 con sensores 105a paralelos e independientes conectados al controlador 110.

La Figura 4 es una ilustración diagramática de la parte del

20 ensamblaje 90 que incluye el controlador 110, los PAD 115, y el sensor 105a. Como se muestra en la Figura 4, el controlador 110 incluye un medio legible por computadora 170 acoplado de forma operativa a este y una base de datos 175 que se almacena en el medio legible por computadora 170. Las instrucciones a las que

el controlador 110 puede acceder y ejecutar son almacenadas en el medio legible por computadora 170. En algunas modalidades, los datos, como por ejemplo los datos con respecto al perfil de tiempo-presión de referencia o a múltiples perfiles de tiempo-presión de referencia, los datos con respecto a un desbalance negativo de presión máximo, los datos con respecto a un desbalance positivo de presión máximo, y los datos con respecto a un pico de desbalance negativo de presión se almacenan en la base de datos 175. Adicionalmente, y tal como se muestra, el sensor 105a, el dispositivo de aumento de presión 120, el dispositivo reductor de presión 130 y la pistola de perforación 125 están en comunicación con el controlador 110. El controlador 110 puede estar también en comunicación con una fuente de energía 165 de manera que el controlador 110 es alimentado por la fuente de energía 165. La fuente de energía 165 puede ser una batería, un generador, un "cable eléctrico" y similares. En algunas modalidades, el ensamblaje 90 también puede incluir un módulo de telemetría (no se muestra), que puede ser inalámbrico o cableado. Adicionalmente, el sensor 105a puede estar en comunicación con la fuente de energía 165 de manera que el sensor 105a es alimentado por la fuente de energía 165. En una modalidad de ejemplo, el controlador 110 es un controlador proporcional-integral-derivativo (controlador PID).

La Figura 5 es una ilustración diagramática de un bucle de control

de retroalimentación 180 que se forma a partir del controlador 110, al menos uno de los PAD 115 y el sensor 105a. Generalmente, los datos almacenados en la base de datos 175, tales como una presión de referencia, son la entrada para el bucle de control de retroalimentación 180. Sin embargo, cuando la presión de referencia es un pico medido de desbalance positivo de presión o un pico de desbalance negativo de presión medido, la presión de referencia puede ser una presión en el espacio anular medida histórica, o una presión en el espacio anular medida previamente.

La variable controlada es la presión en el espacio anular del fluido dentro del espacio anular 95 y es medida por el sensor 105a. La presión en el espacio anular medida es la retroalimentación para el bucle de control de retroalimentación 180 y se compara con la entrada para identificar un error o diferencia entre la retroalimentación y la entrada. En función de la diferencia entre la presión en el espacio anular medida y la presión de referencia, el controlador 110 manipula o ajusta la presión en el espacio anular del fluido dentro del espacio anular 95 mediante el accionamiento de uno de los PAD 115. El accionamiento de uno de los PAD 115 afecta la presión en el espacio anular del fluido dentro del espacio anular 95, que luego es medido por el sensor 105a y comparado con la presión de referencia. Este bucle continúa de manera que la presión en el espacio anular se controle por medio del bucle de control de retroalimentación 180 dentro del

ensamblaje 90. La presión de referencia puede ser independiente del tiempo, tal como cuando la presión de referencia es un desbalance positivo de presión máximo o un desbalance negativo de presión máximo. Sin embargo, la presión de referencia puede ser dependiente del tiempo. Por lo tanto, la presión de referencia o la entrada en el bucle de control de retroalimentación 180 pueden cambiar durante el evento de perforación. Adicionalmente, la presión de referencia puede ser relativa a la presión en el espacio anular medida en sí misma, tal como cuando la presión de referencia es un pico medido de desbalance positivo o negativo de presión. Independientemente, usar una presión de referencia que es dependiente del tiempo, independiente del tiempo o relativa a la presión en el espacio anular medida en sí misma como la entrada al bucle de control de retroalimentación 180 tiene como resultado que el ensamblaje 90 controle el perfil de tiempo-presión transitorio dinámico, o el perfil de tiempo-presión que se basa en la presión en el espacio anular medida.

La Figura 6 ilustra un método para la operación del ensamblaje 90. El método es generalmente referido por el número de referencia 185 e incluye almacenar datos con respecto al perfil de tiempo-presión de referencia dentro del controlador 110 en la etapa 190; extender el ensamblaje 90 dentro de la sarta de revestimiento 85 en la etapa 195; medir la presión de fondo de

pozo dentro del espacio anular 95 en la etapa 200; disparar la pistola de perforación 125 en la etapa 205; identificar una primera presión medida en la etapa 210; identificar una primera diferencia entre la primera presión medida y una primera presión de referencia en la etapa 215; ajustar la presión en el espacio anular basada en la primera diferencia en la etapa 220; identificar una segunda presión medida en la etapa 225; identificar una segunda diferencia entre la segunda presión medida y una segunda presión de referencia en la etapa 230; y
5
10
ajustar la presión en el espacio anular en respuesta a la segunda diferencia en la etapa 235.

En la etapa 190, los datos con respecto al perfil de tiempo-presión de referencia se almacenan dentro del ensamblaje 90. La Figura 7 es un gráfico al que generalmente se hace
15
referencia mediante el número de referencia 240 que ilustra un ejemplo del perfil de tiempo-referencia asociado con un evento de perforación. Tal como se muestra en la Figura 7, el perfil de tiempo-presión de referencia 240 incluye un aumento repentino 250 en la presión (presión de referencia representada por la línea
20
255) seguido por: un primer desbalance negativo 260; un desbalance positivo 265; y luego un segundo desbalance negativo 270. Las presiones de referencia asociadas con el perfil de tiempo-presión 240 pueden incluir una presión en el punto (t_1, p_1) ; una presión en el punto (t_2, p_2) ; y una presión en el punto

(t_3, p_3). El punto (t_1, p_1) se define por un pico de desbalance positivo de presión creado por el disparo de la pistola de perforación 125. Al observar el perfil de tiempo-presión de referencia 240 y el punto (t_1, p_1), se dispara un dispositivo reductor de presión para crear el desbalance negativo 260. El punto (t_2, p_2) se define por un pico de desbalance negativo de presión luego del cual el desbalance negativo 260 comienza a disminuir. Nuevamente, al observar el perfil de tiempo-presión de referencia 240 y el punto (t_2, p_2), se acciona un dispositivo de aumento de presión para crear el desbalance positivo 265. El punto (t_3, p_3) se define por un segundo pico de desbalance positivo de presión luego del cual el desbalance positivo 265 comienza a disminuir. Al observar el perfil de tiempo-presión de referencia 240 y el punto (t_3, p_3), se dispara un segundo dispositivo reductor de presión para crear el segundo desbalance negativo 270. Por lo tanto, a medida que los puntos (t_1, p_1) (es decir, la primera presión de referencia), (t_2, p_2) (es decir, la segunda presión de referencia), y (t_3, p_3) (es decir, la tercera presión de referencia) se definen por picos de presión, donde la primera, segunda y tercera presión de referencia son presiones relativas a la presión en el espacio anular medida en sí misma. En esta modalidad, la forma del perfil de tiempo-presión de referencia 240 se determina antes del evento de perforación y durante la planificación previa al trabajo. Generalmente, el

perfil de tiempo-presión de referencia 240 se basa en un modelo del evento de perforación, donde el evento de perforación incluye generalmente un período de tiempo antes, durante y después de que se dispara la pistola de perforación 125. En una modalidad de ejemplo, los datos utilizados para crear el perfil de tiempo-presión de referencia 240 incluye datos relacionados a la perforación, tales como las propiedades de la formación, el diseño del pozo y características del sistema de pistola. La forma del perfil de tiempo-presión de referencia 240, o la traza de presión, influye en importantes resultados que incluyen la limpieza del túnel de perforación, la estabilidad del túnel, el control de arena y la integridad del sistema de pistola. La precisión del perfil de tiempo-presión de referencia 240 depende de la precisión de los datos relacionados a la perforación. Frecuentemente, apartarse del perfil de tiempo-presión de referencia 240 puede llevar a resultados subóptimos, lo que por lo tanto incrementa la posibilidad de colapso del túnel, la producción prematura de arena, la posibilidad de que la producción/inyectividad se vea afectada e incluso de un fallo de la sarta de pistola.

En la etapa 195, el ensamblaje 90 se extiende dentro de la sarta de revestimiento 85. El ensamblaje 90 se puede transportar hasta una profundidad deseada en el pozo 80 mediante diversos medios, tales como, por ejemplo, un "cable eléctrico", sistema de

perforación transportado con la tubería ("TCP", por sus siglas en inglés), tubería flexible o "línea de acero".

En la etapa 200, el sensor 105a mide la presión de fondo de pozo dentro del espacio anular 95. En una modalidad de ejemplo, el
5 sensor 105a mide la presión en el espacio anular mientras que se extiende dentro de la sarta de revestimiento 85 y continúa midiendo la presión en el espacio anular mientras que el ensamblaje 90 se posiciona en una ubicación de perforación dentro de la sarta de revestimiento 85. Sin embargo, en otras
10 modalidades, el sensor 105a comienza a medir la presión en el espacio anular luego de que una cantidad predeterminada de tiempo u otros eventos disparadores ocurren luego de que el ensamblaje 90 se extiende dentro del pozo 80. Generalmente, y mientras el sensor 105a está en comunicación con el controlador 110, el
15 controlador 110 recibe la presión en el espacio anular medida y esta puede ser almacenada en la base de datos 175. Generalmente, la presión en el espacio anular medida forma un perfil de tiempo-presión dinámico que está asociado con el evento de perforación, o un perfil de presión transitorio dinámico.

20 En la etapa 205, se dispara la pistola de perforación 125. En función del límite de tiempo-presión de referencia 240, un evento cronometrado, o la recepción de otras instrucciones, el controlador 110 acciona la pistola de perforación 125 para disparar de forma tal que se perfora la sarta de revestimiento

85. El disparo de la pistola de perforación 125 corresponde a un punto (t_0, p_0) del perfil de tiempo-presión de referencia 240. El disparo de la pistola de perforación 125 resulta en un aumento de presión similar al aumento de presión 250 del perfil de tiempo-presión de referencia 240. Generalmente, el disparo de la pistola de perforación 125 resulta en un marcado pico de presión en la presión en el espacio anular medida para restablecer (luego de que se instala la sarta de revestimiento 85) la comunicación entre el pozo 80 y la formación 20. La pistola de perforación 125 puede ser accionada por diversos medios y no se limita a ser accionada por el controlador 110. Por ejemplo, la pistola de perforación 125 puede ser disparada en función de un temporizador dentro de la pistola de perforación 125, un sensor en la pistola de perforación 125, o el recibo de otras instrucciones.

En la etapa 210, se identifica una primera presión medida en el controlador 110.

En la etapa 215, el controlador 110 identifica o determina una primera diferencia entre la primera presión medida y una primera presión de referencia. En esta modalidad y en la etapa 215, la entrada para el bucle de control de retroalimentación 180 es una presión en el espacio anular previamente medida y la primera presión en el espacio anular medida es una presión en el espacio anular medida más recientemente. Por lo tanto, el controlador 110 identifica cuándo se alcanzó el pico de desbalance positivo de

presión (punto (t1, p1)) comparando la presión en el espacio anular previamente medida con la presión en el espacio anular medida más recientemente (es decir, determinando la primera diferencia).

- 5 En la etapa 220, la presión en el espacio anular se ajusta mediante uno de los PAD 115. Específicamente, luego de que el controlador 110 determina que la presión en el espacio anular medida ha alcanzado el pico de desbalance positivo de presión medido, el controlador 110 acciona el dispositivo reductor de presión 130
- 10 de manera que la presión en el espacio anular medida se reduce o disminuye temporalmente. El controlador 110 puede accionar el dispositivo reductor de presión 130 o cualquiera de los PAD 115 enviando una señal al primer dispositivo reductor 130 o cualquiera de los PAD 115. En esta modalidad, accionar el
- 15 dispositivo reductor de presión 130 puede causar un desbalance negativo, similar al primer desbalance negativo 260 del perfil de tiempo-presión de referencia 240. Generalmente, el primer desbalance negativo 260 es para limpiar los túneles luego de la fracturación de gas.
- 20 En la etapa 225, se identifica una segunda presión medida en el controlador 110.

En la etapa 230, el controlador 110 identifica o determina una segunda diferencia entre una segunda presión medida y una segunda presión de referencia. La etapa 230 es sustancialmente similar

a la etapa 215 excepto en que la segunda presión de referencia es un pico de desbalance negativo de presión medido. Por lo tanto, el controlador 110 identifica cuándo se alcanzó el pico de desbalance negativo de presión medido comparando la presión en el espacio anular previamente medida con la presión en el espacio anular medida más recientemente (es decir, determinando la segunda diferencia).

En la etapa 235, la presión en el espacio anular se ajusta mediante uno de los PAD 115. Específicamente, luego de que el controlador 110 determina que la presión en el espacio anular medida ha alcanzado el pico de desbalance negativo de presión (punto (t_2, p_2)), el controlador 110 acciona el dispositivo de aumento de presión 120. Accionar el dispositivo de aumento de presión 120 puede causar un desbalance positivo de presión, similar al desbalance positivo 265 del perfil de tiempo-presión de referencia 240. Generalmente, el desbalance positivo 265 es romper la roca de la formación 20 mediante la fracturación de gas luego de que los túneles hayan sido limpiados.

Pueden llevarse a cabo etapas similares a las etapas 210, 215 y 220 con una tercera presión de referencia durante la cual el controlador 110 acciona un segundo dispositivo reductor de presión 130 cuando la presión en el espacio anular medida alcanza otro pico de desbalance positivo (punto (t_3, p_3)) de manera de crear un segundo desbalance negativo de presión similar al

segundo desbalance negativo de presión 270 del perfil de tiempo-presión de referencia 240. El segundo desbalance negativo 270 se crea generalmente para limpiar los túneles luego de la fracturación de gas.

5 El método 185 se puede alterar de diversas maneras. Por ejemplo, puede ocurrir el disparo de la pistola de perforación 125 en la etapa 205 luego de que se acciona el dispositivo de aumento de presión 120. La Figura 8 es una gráfica a la que generalmente se hace referencia mediante el número de referencia 275 que ilustra
10 otro perfil de tiempo-presión de referencia que incluye un primer desbalance positivo de presión 280; un segundo desbalance positivo de presión 285; un tercer desbalance positivo de presión 290; y un primer desbalance negativo de presión 295. Mediante el perfil de tiempo-presión 275, el ensamblaje 90 acciona un
15 dispositivo de aumento de presión 120 en o después un punto indicado por el número 300. Luego de que el ensamblaje 90 determina que la presión en el espacio anular ha registrado un pico en respuesta al accionamiento del dispositivo de aumento de presión 120, el ensamblaje 90 dispara la pistola de perforación
20 125 en un punto indicado por el número 305, lo que resulta en el desbalance positivo 285. Luego de que el ensamblaje 90 determina que la presión en el espacio anular ha registrado un pico en respuesta al accionamiento de la pistola de perforación 125, el ensamblaje 90 acciona otro dispositivo de aumento de presión 120

en el punto indicado por el número 310, lo que resulta en el desbalance positivo 290. Luego de que el ensamblaje 90 determina que la presión en el espacio anular ha registrado un pico en respuesta al accionamiento de otro dispositivo de aumento de presión 120, el ensamblaje 90 acciona un dispositivo reductor de presión 130 en el punto indicado por el número 315, lo que resulta en el desbalance positivo 295.

El método 185 se puede alterar de maneras adicionales. Por ejemplo, las presiones de referencia pueden estar asociadas con un desbalance positivo de presión máximo de manera que el controlador 110 pueda accionar el dispositivo reductor de presión 130 cuando la presión en el espacio anular medida esté en o exceda el desbalance positivo de presión máximo. Por lo tanto, al reducir la presión en el espacio anular, el ensamblaje 90 puede evitar el daño a la formación 20, el ensamblaje 90, la sarta de revestimiento 85 y otras estructuras debido a la sobrecarga de presión. Adicionalmente, cuando la presión de referencia es un desbalance negativo de presión máximo, el controlador 110 puede accionar el dispositivo de aumento de presión 120 cuando la presión medida está en o excede el desbalance negativo de presión máximo. Por lo tanto, al aumentar la presión en el espacio anular, el ensamblaje 90 puede evitar el daño a la formación, el ensamblaje 90, la sarta de revestimiento 85 y otras estructuras debido a una presión por encima del desbalance negativo.

Adicionalmente, el dispositivo de aumento de presión 120 puede ser accionado cuando el controlador 110 determina que no se ha alcanzado un desbalance positivo de presión de referencia predeterminado. Por lo tanto, si un desbalance positivo de presión medido no es suficiente, el ensamblaje 90 puede aumentar el desbalance positivo accionando el dispositivo de aumento de presión 120. De forma similar, el dispositivo reductor de presión 130 puede ser accionado cuando el controlador 110 determina que no se ha alcanzado un desbalance positivo de presión de referencia predeterminado. Por lo tanto, si un desbalance negativo de presión medido no es suficiente, el ensamblaje 90 puede aumentar el desbalance negativo accionando el dispositivo reductor de presión 130. Adicionalmente, y cuando el sensor 105a es uno o más acumuladores de pistón como, por ejemplo, un acumulador cargado de gas que es un acumulador hidráulico con gas como el medio comprimible que se carga a una presión de referencia específica, el método 185 puede alterarse además omitiendo las etapas 210 y 215 y en su lugar ajustando la presión en el espacio anular en la etapa 220 en respuesta al movimiento del pistón del acumulador de pistón.

En otra modalidad de ejemplo, los datos con respecto a múltiples perfiles de tiempo-presión de referencia son almacenados en el controlador 110 del ensamblaje 90 en la etapa 190. Los datos con respecto a múltiples perfiles de tiempo-presión de referencia

pueden ser almacenados en el controlador 110 del ensamblaje 90. Los datos lógicos pueden ser almacenados en el control 110 de manera que el controlador 110 sea capaz de seleccionar -en función de los parámetros medidos por el sensor 105a- la entrada (es decir, uno de los múltiples perfiles de tiempo-presión de referencia) para el bucle de control de retroalimentación 180. Adicionalmente, los datos con respecto a un perfil de tiempo-presión de referencia por defecto pueden ser almacenados en el controlador 110 del ensamblaje 90 antes de que el ensamblaje 90 se extienda dentro del pozo 80. Entonces, luego de medir los parámetros del fondo de pozo mediante el sensor 105a, el controlador puede, en función de los parámetros de fondo de pozo medidos, determinar que un perfil de tiempo-presión de referencia que es diferente al perfil de tiempo-presión de referencia por defecto debería ser usado como la entrada para el bucle de control de retroalimentación 180. Es decir, el ensamblaje 90 puede elegir la entrada para el bucle de control de retroalimentación 180 en función de la retroalimentación del sensor 105a.

El orden de los componentes (es decir, los PAD 115, el adaptador sensor 105, el controlador 110) en el ensamblaje de perforación 90 no es fijo y puede ser intercambiado según corresponda. Además, múltiples componentes de cada tipo pueden incluirse en la sarta de perforación 75 para permitir una flexibilidad adicional. En una modalidad de ejemplo, múltiples ensamblajes 90 pueden ser

espaciados a lo largo de la sarta de perforación 75.

En una modalidad de ejemplo, el método 185 y/o el uso del ensamblaje 90 causa un control autónomo o "inteligente" de la presión en el espacio anular durante el evento de perforación.

5 Durante el evento de perforación, el ensamblaje 90 es capaz de corregir y ajustar la presión en el espacio anular a través del uso de los PAD 115 para reproducir el perfil de tiempo-presión de referencia. Por lo tanto, el ensamblaje 90 es un ensamblaje de control activo, teniendo en cuenta que tiene una lógica de control integrada para mitigar cualquier diferencia entre el
10 resultado real (entrada de parámetros medidos de entrada por el sensor 105a) y el objetivo o referencia (parámetro proporcionado en el perfil de tiempo-presión de referencia). El método 185 y/o el uso del ensamblaje 90 puede tener como resultado el aumento
15 de la producción de hidrocarburos a partir de la formación 20. Adicionalmente, el método 185 y/o el uso del ensamblaje 90 puede tener como resultado la mejora de la inyektividad durante los tratamientos de pozo y un mejor control de arena. El método 185 y/o el uso del ensamblaje 90 también pueden mantener la integridad
20 del pozo y proteger el equipo de terminación. Adicionalmente, el método 185 y/o el uso del ensamblaje 90 mantienen la integridad del sistema de pistola. El método 185 y/o el uso del ensamblaje 90 también se pueden utilizar para extender el tiempo durante el cual se ajusta la presión en el espacio anular durante un perfil

de presión transitorio asociado con un evento de perforación. En diversas modalidades de ejemplo, mientras las diferentes etapas, procesos y procedimientos se describen como que aparecen como actos distintos, una o más de las etapas, uno o más de los procesos y/o uno o más de los procedimientos también se pueden realizar en diferentes órdenes, de forma simultánea y/o secuencial. En diversas modalidades de ejemplo, las etapas, procesos y/o procedimientos pueden combinarse en una o más etapas, procesos y/o procedimientos. En varias modalidades de ejemplo, una o más de las etapas operacionales en cada modalidad se pueden omitir. Además, en algunos casos, algunas características de la presente descripción se pueden emplear sin un uso correspondiente de las otras características. Además, una o más de las modalidades y/o variaciones descritas anteriormente pueden combinarse total o parcialmente con cualquiera de la o las modalidades y/o variaciones descritas anteriormente.

Por lo tanto, se ha descrito un método para perforar una sarta de revestimiento que se extiende dentro de un pozo. Las modalidades del método pueden incluir, generalmente, medir la presión de fondo de pozo dentro de la sarta de revestimiento; disparar una pistola de perforación que está posicionada dentro de la sarta de revestimiento para aumentar la presión de fondo de pozo dentro de la sarta de revestimiento; y ajustar la presión de fondo de pozo en función de la presión de fondo de pozo medida;

en donde ajustar la presión de fondo de pozo comprende accionar un primer generador de presión. Para cualquiera de las modalidades anteriores, el método puede incluir cualquiera de los siguientes elementos, solos o en combinación entre sí:

5 El primer generador de presión incluye de al menos uno de un reductor de presión y un aumentador de presión.

Accionar el primer generador de presión incluye al menos uno de accionar el reductor de presión luego de que la presión de fondo de pozo medida está en o excede un desbalance
10 positivo de presión máximo; y accionar el aumentador de presión luego de que la presión de fondo de pozo medida está en o excede un desbalance negativo de presión máximo.

Accionar el primer generador de presión incluye al menos uno de: accionar el reductor de presión luego de que la presión
15 de fondo de pozo medida alcanza un pico de desbalance positivo de presión medido; y accionar el aumentador de presión luego de que la presión de fondo de pozo medida alcanza un pico de desbalance negativo de presión medido.

Almacenar un perfil de tiempo-presión de referencia dentro
20 de una herramienta que está posicionada dentro de la sarta de revestimiento.

Continuar midiendo la presión de fondo de pozo dentro de la sarta de revestimiento durante un período de tiempo para formar un perfil de tiempo-presión dinámico.

Identificar una primera presión medida asociada con una primera instancia de tiempo dentro del perfil de tiempo-presión dinámico.

5 Determinar una primera diferencia entre la primera presión medida y una primera presión de referencia asociada con la primera instancia de tiempo dentro del perfil de tiempo-presión de referencia; en donde accionar el primer generador de presión se basa además en la primera diferencia determinada.

10 Identificar una segunda presión medida asociada con una segunda instancia de tiempo dentro del perfil de tiempo-presión dinámico.

Determinar una segunda diferencia entre la segunda presión medida y una segunda presión de referencia asociada con la
15 segunda instancia de tiempo dentro del perfil de tiempo-presión de referencia.

Ajustar la presión de fondo de pozo incluye además accionar un segundo generador de presión.

Accionar el segundo generador de presión se basa en la
20 segunda diferencia determinada.

Ajustar la presión de fondo de pozo en función de la presión de fondo de pozo medida incluye además accionar un segundo generador de presión.

El primer generador de presión es un reductor de presión.

El segundo generador de presión es un aumentador de presión.

Accionar el primer generador de presión produce un desbalance negativo de presión dentro de la sarta de revestimiento.

5 Accionar el segundo generador de presión produce un desbalance positivo de presión dentro de la sarta de revestimiento.

Extender un bucle de control de retroalimentación dentro de la sarta de revestimiento.

10 Recibir la presión medida en un controlador del bucle de control de retroalimentación.

Comparar, por medio del controlador, la presión medida con una presión de referencia que se almacena en el controlador.

Enviar una señal desde el controlador al primer generador de presión.

15 Accionar el primer generador de presión en respuesta a la señal.

Por lo tanto, se ha descrito un método para controlar un perfil de tiempo-presión dinámico asociado con un evento de perforación.

20 Modalidades del aparato pueden incluir generalmente extender un ensamblaje de perforación dentro de una sarta de revestimiento; disparar una pistola de perforación del ensamblaje de perforación; medir, por medio de un sensor del ensamblaje de perforación, la presión dentro de la sarta de revestimiento, en

donde la presión medida forma el perfil de tiempo-presión dinámico; identificar una primera presión medida dentro del perfil de tiempo-presión dinámico; identificar, por medio de un controlador del ensamblaje de perforación, una primera
5 diferencia entre la primera presión medida y una primera presión de referencia, y ajustar, por medio de un primer generador de presión del ensamblaje de perforación, la presión en respuesta a la primera diferencia para controlar el perfil de tiempo-presión dinámico; en donde el sensor, el controlador y el
10 primer generador de presión proporcionan un bucle de control de retroalimentación. Para cualquiera de las modalidades anteriores, el aparato puede incluir cualquiera de los siguientes elementos, solos o en combinación entre sí:

Identificar una segunda presión medida dentro del perfil de
15 tiempo-presión dinámico.

Identificar, por medio del controlador, una segunda diferencia entre la segunda presión medida y una segunda presión de referencia.

Ajustar, por medio de un segundo generador de presión del
20 ensamblaje de perforación, la presión en respuesta a la segunda diferencia para controlar el perfil de tiempo-presión dinámico.

Ajustar la presión, por medio del primer generador de presión del ensamblaje de perforación, en respuesta a la

primera diferencia incluye accionar un reductor de presión para crear un desbalance negativo de presión en la sarta de revestimiento.

5 Ajustar la presión, por medio del primer generador de presión del ensamblaje de perforación, en respuesta a la primera diferencia incluye accionar un aumentador de presión para crear un desbalance positivo de presión dentro de la sarta de revestimiento.

10 La primera presión de referencia es una presión de referencia dependiente del tiempo.

La primera presión de referencia es una presión de referencia de a partir de múltiples presiones de referencia que forman un perfil de tiempo-presión de referencia.

15 Seleccionar, mientras que el ensamblaje de perforación se extiende dentro de la sarta de revestimiento, el perfil de tiempo-presión de referencia a partir de diversos perfiles de tiempo-presión.

Seleccionar un perfil de tiempo-presión de referencia se basa en la primera presión medida.

20 Por lo tanto, se ha descrito un aparato para controlar un perfil de tiempo-presión transitorio dinámico asociado con un evento de perforación. Las modalidades del aparato pueden incluir, generalmente, una herramienta de fondo de pozo que incluye: un controlador; un sensor de presión en comunicación con el

controlador para proporcionar retroalimentación al controlador; y un primer generador de presión en comunicación con el controlador; en donde el primer generador de presión, el sensor de presión, y el controlador proporcionan un bucle de control de retroalimentación. Para cualquiera de las modalidades que anteceden, el aparato puede incluir cualquiera de los siguientes elementos, de forma individual o combinados entre sí:

La herramienta incluye además una pistola de perforación.

10 La herramienta incluye además un segundo generador de presión.

El sensor es uno de un sensor de presión mecánico y un sensor de presión eléctrico.

El primer generador de presión es uno de: un reductor de presión, y un aumentador de presión.

15

El segundo generador de presión es el otro de: el reductor de presión; y el aumentador de presión.

El controlador acciona el primer generador de presión en respuesta a una presión recibida del sensor de presión.

20 La descripción y figuras que anteceden no están dibujadas a escala, sino que se ilustran para describir de forma simple las diversas modalidades de la presente descripción. Aunque se han mostrado y descrito diversas modalidades y métodos, la descripción no se limita a dichas

modalidades y métodos, y se entenderá que incluye todas las modificaciones y variaciones que resultarán evidentes para el experto en la técnica. Por lo tanto, se debe comprender que no se pretende limitar la descripción a las formas específicas descritas. Por consiguiente, la intención es abarcar todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que estén comprendidas en el espíritu y alcance de la descripción tal como se define por las reivindicaciones anexas.

5

10