

WO 2016/057645

PCT/US2015/054452

CONTROL DE ARRANQUE AJUSTADO POR COEFICIENTE DE FLUJO PARA
PERFORACIÓN CON PRESIÓN CONTROLADA

REFERENCIA CRUZADA CON SOLICITUDES RELACIONADAS

[0001] Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud Provisional de los Estados Unidos 62/061.527, presentada el 8 de octubre de 2014, la cual se incorpora en el presente documento como referencia.

ANTECEDENTES DE LA DIVULGACIÓN

[0002] Varias técnicas de perforación con presión controlada son utilizadas para perforar pozos con un sistema de perforación de bucle cerrado. En general, la perforación con presión controlada incluye la perforación con presión controlada (MPD, por sus siglas en inglés), la perforación sub-balanceada (UBD, por sus siglas en inglés) y las operaciones de perforación con aire (AD, por sus siglas en inglés).

[0003] En la técnica de Perforación con Presión Controlada (MPD, por sus siglas en inglés), el sistema de perforación utiliza un sistema de retorno de lodo cerrado y presurizable, un dispositivo de control giratorio (RCD, por sus siglas en

inglés) y un colector de arranque para controlar la presión del pozo durante la perforación. Las diversas técnicas de MPD utilizadas en la industria permiten a los operadores perforar con éxito en condiciones en las que la tecnología convencional simplemente no funcionaría permitiendo a los operadores manejar la presión de manera controlada durante la perforación.

[0004] Durante la perforación, por ejemplo, la broca perfora a través de una formación y los poros se exponen y se abren. Como resultado, los fluidos de formación (es decir, gas) pueden mezclarse con el lodo de perforación. El sistema de perforación bombea entonces este gas, el lodo de perforación y los recortes de la formación de nuevo a la superficie. A medida que el gas eleva en el pozo de perforación en un sistema abierto, el gas se expande y la presión hidrostática disminuye, lo que significa que más gas de la formación puede ser capaz de entrar en el pozo. Si la presión hidrostática es menor que la presión de la formación, entonces aún más gas puede entrar en el pozo.

[0005] Una función central de la perforación con presión controlada intenta controlar las patadas o entrada de fluidos como se ha descrito anteriormente. Esto se puede conseguir utilizando una respuesta de arranque automatizada en un sistema de circulación cerrado y presurizado hecho posible

por medio del dispositivo de control giratorio. Un sistema de control controla los arranques con una respuesta automatizada mediante el monitoreo del flujo dentro y fuera del pozo, y los algoritmos de software en el sistema de control buscan mantener un balance de flujo de masa. Si se identifica una desviación del balance de la masa, el sistema de control inicia una respuesta de arranque automatizada que cambia el perfil de presión anular del pozo y, de este modo, cambia el peso de lodo equivalente del pozo. Esta capacidad automatizada del sistema de control permite que el sistema realice el control dinámico del pozo o las técnicas de CBHP.

[0006] Los arranques del colector tienen una respuesta no lineal. Esto puede dificultar la determinación de la posición verdadera de los arranques y controlar adecuadamente la presión y el flujo a medida que cambian las condiciones. En la técnica anterior existen técnicas para calcular la posición verdadera de los arranques de manera que se puede producir una velocidad de flujo o una caída de presión deseada. Para realizar los cálculos, estas técnicas de la técnica anterior pueden utilizar variables, tales como coeficiente de flujo, características de la válvula, coeficiente de descarga, etc.

[0007] Por ejemplo, la Patente de los Estados Unidos 8.352.087 divulga una forma de controlar una válvula de control de flujo

determinando un coeficiente de flujo C_v correspondiente de una curva de la válvula usando una apertura de válvula medida, calculando una caída de presión desde un flujo medido y el coeficiente de flujo determinado de la válvula, calculando un error de flujo entre el flujo del punto de ajuste y el flujo medido, calcular un valor de flujo corregido sumando el flujo del punto de ajuste al error de flujo integrado, calcular un nuevo coeficiente de flujo C_v del flujo corregido y la caída de presión calculada, y finalmente determinar una nueva apertura de válvula correspondiente al nuevo coeficiente de flujo. A partir de esto, se utiliza la posición para la nueva apertura de la válvula para satisfacer el flujo deseado para controlar la válvula, de modo que la técnica puede intentar hacer la linealización de la relación entre control y flujo.

[0008] La Patente de los Estados Unidos 7.636.614 divulga un modelo dinámico no lineal para una válvula de control para tener en cuenta cambios físicos en la banda muerta de una válvula y el coeficiente de flujo debido al desgaste mecánico de la válvula durante el funcionamiento. La banda muerta actual y el coeficiente de flujo determinados para la válvula pueden utilizarse para actualizar los algoritmos de control de las válvulas y para tomar decisiones de mantenimiento de la válvula.

[0009] La patente de los Estados Unidos 7.769.493 divulga un controlador de flujo programable que puede programarse con características de flujo seleccionables por el usuario, tal como una función que relaciona el porcentaje de flujo con el porcentaje de posición del vástago de válvula, que puede almacenarse en el firmware del controlador y puede usarse para calcular un factor de corrección para una señal de control a un posicionador de válvula de control.

[0010] Aunque estas técnicas de control de arranques pueden ser útiles, lo que se necesita es una forma de controlar un arranque en un sistema de perforación con presión controlada que se adapte mejor a las características de flujo y cambios encontrados en ese entorno.

[0011] El objeto de la presente divulgación está dirigido a superar, o al menos reducir los efectos de, uno o más de los problemas expuestos anteriormente.

RESUMEN DE LA DIVULGACIÓN

[0012] De acuerdo con la presente divulgación, un método de perforación de un pozo con un control computarizado utiliza un sistema de perforación que tiene un arranque. El control computarizado obtiene un valor medido de un parámetro en el

sistema de perforación y controla el parámetro en el sistema de perforación utilizando el arranque.

[0013] Por ejemplo, el control computarizado puede recibir el valor medido de al menos un dispositivo de medición en el sistema de perforación, tal como un sensor de presión, un medidor de flujo, etc. El control puede controlar cualquiera de una serie de parámetros en el sistema de perforación utilizando el arranque, tal como el control de una contrapresión superficial en el pozo, una velocidad de flujo del fluido de perforación fuera del pozo, una presión durante una conexión de tubo de perforación mientras se hace la perforación con el sistema de perforación, una presión durante una pérdida detectada mientras se perfora con el sistema de perforación, y un flujo durante una patada detectada mientras se perfora con el sistema de perforación.

[0014] En el método, el control computarizado obtiene indicaciones de un error entre un punto de ajuste del parámetro y el valor medido del parámetro en el sistema de perforación, un carácter de coeficiente de flujo del arranque y una posición actual del arranque. Basándose en estas indicaciones, el control computarizado determina entonces un ajuste de posición para el arranque y ajusta el parámetro en

el sistema de perforación aplicando el ajuste de posición al arranque.

[0015] La indicación del error entre el punto de ajuste y el valor medido puede obtenerse aplicando una ganancia al error. La ganancia puede ser determinada por una magnitud del error. Por ejemplo, la ganancia puede ser un factor basado en errores inversamente proporcional a la magnitud del error (por ejemplo, interpolado desde un límite inferior a un límite superior en relación a una magnitud superior a una magnitud menor del error).

[0016] Para obtener las indicaciones del coeficiente de flujo del arranque y de la posición actual del arranque, el control puede obtener un coeficiente de flujo para el arranque en la posición actual a partir de la información almacenada del coeficiente de flujo, interpolando el coeficiente de flujo de la información almacenada. Por ejemplo, el control puede almacenar la indicación del carácter de coeficiente de flujo del arranque en relación con diversas posiciones del arranque. Para determinar el ajuste de posición, el control computarizado puede interpolar un factor de arranque en relación con la posición actual del arranque y puede entonces aplicar el factor de corrección al error.

[0017] En otras palabras, el ajuste de posición para el arranque se determina, por ejemplo, escalando el error por el coeficiente de flujo para el arranque en la posición actual o escalando un valor del error mediante una ganancia proporcional. De cualquier manera, se determina una nueva posición relativa para el arranque añadiendo el ajuste de posición a la indicación de la posición actual del arranque.

[0018] De acuerdo con la presente divulgación, el método implica perforar el pozo con el sistema de perforación controlando, con el control computarizado, el parámetro en el sistema de perforación utilizando el arranque. Un valor del parámetro se mide usando al menos un dispositivo de medición en el sistema de perforación y el control computarizado calcula un valor de error entre un punto de ajuste del parámetro y el valor medido del parámetro.

[0019] A partir de esto, el control computarizado interpola un factor de corrección basado en un carácter de coeficiente de flujo del arranque y una posición actual del arranque y determina un ajuste de posición para el arranque aplicando el factor de corrección al error. El control computarizado determina entonces una nueva posición relativa para el arranque aplicando el ajuste de posición para el arranque a la posición actual del arranque y ajusta el parámetro en el

sistema de perforación usando el arranque aplicando la nueva posición relativa al arranque.

[0020] De acuerdo con la presente divulgación, un control computarizado de un arranque utilizado en un sistema de perforación para perforar un pozo incluye almacenamiento y un dispositivo de control programable. El almacenamiento almacena un carácter de coeficiente de flujo del arranque en relación con las posiciones del arranque. El dispositivo de control programable está operativamente acoplado al almacenamiento y al arranque. El dispositivo de control programable es operativo para obtener un valor medido de un parámetro en el sistema de perforación y para controlar el parámetro en el sistema de perforación utilizando el arranque. El dispositivo de control obtiene indicaciones de un error entre un punto de ajuste del parámetro y el valor medido del parámetro en el sistema de perforación, el coeficiente de flujo del arranque y una posición actual del arranque. Basándose en estas indicaciones, el dispositivo de control determina un ajuste de posición para el arranque y aplica el ajuste de posición al arranque para ajustar el parámetro en el sistema de perforación.

[0021] El resumen anterior no pretende resumir cada una de las potenciales incorporaciones o cada aspecto de la presente divulgación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0022] La Figura 1 muestra un sistema de perforación con presión controlada que tiene un sistema de control de acuerdo con la presente divulgación.

[0023] La figura 2A ilustra, como antecedente, un control típico proporcional-integral-derivado (PID) que puede ser utilizado en la perforación con presión controlada.

[0024] La Figura 2B muestra, como antecedente, el control convencional PID de un arranque que muestra el cambio de la contrapresión de superficie con respecto a la posición controlada del arranque.

[0025] La Figura 3 muestra, como antecedente, el carácter de coeficiente de flujo relativo a las posiciones de la válvula de arranque para dos tipos de arranques.

[0026] La Figura 4 ilustra un esquema del sistema de control divulgado.

[0027] La Figura 5 ilustra un control de arranque de acuerdo con la presente divulgación.

[0028] La Figura 6A muestra el control de presión conseguido con el control de arranque divulgado.

[0029] La Figura 6B muestra el control del arranque divulgado que muestra el cambio de la contrapresión de superficie en relación con la posición controlada del arranque.

[0030] La Figura 7A muestra las pruebas de control de presión utilizando el control de arranque divulgado.

[0031] La Figura 7B muestra los resultados entre la respuesta de un control convencional PID frente a la respuesta del control divulgado.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA DIVULGACIÓN

A. Descripción General del Sistema

[0032] La Figura 1 muestra un sistema de perforación de bucle cerrado 10 de acuerdo con la presente divulgación para perforación con presión controlada. Como se muestra y discute en la presente memoria, este sistema 10 puede ser un sistema de Perforación con Presión Controlada (MPD) y, más particularmente, una forma de Presión Constante en el Fondo

del Pozo (CBHP, por sus siglas en inglés) del sistema MPD. Aunque se discuten en este contexto, las enseñanzas de la presente divulgación pueden aplicarse igualmente a otros tipos de sistemas de perforación con presión controlada, tales como otros sistemas MPD (Perforación Presurizada de Tapón de Lodo, Perforación de Control de Flujo de Retorno, Perforación de Gradiente Dual, etc.) Así como a los sistemas de perforación sub-balanceada (UBD), tal como será apreciado por una persona versada en la materia que tiene el beneficio de la presente divulgación.

[0033] El sistema de perforación 10 tiene un dispositivo de control giratorio (RCD) 12 desde el cual una cadena de perforación 14, un ensamblaje de fondo de pozo (BHA) y una broca de taladro 18 se extienden hacia abajo en un pozo 16 a través de una formación F. El dispositivo de control giratorio 12 puede incluir cualquier dispositivo de contención de presión adecuado que mantenga el pozo en un bucle cerrado en todo momento mientras se perfora el pozo 16. El dispositivo de control giratorio (RCD) 12 encima del BOP contiene y desvía los retornos de perforación anulares. También completa el sistema de circulación para crear el bucle cerrado de fluido de perforación incompresible.

[0034] El sistema 10 también incluye bombas de lodo 50, un tubo vertical (no mostrado), un tanque de lodo 40, un separador de gas de lodo 30 y varias líneas de flujo, así como otros componentes convencionales. Además de éstos, el sistema de perforación 10 incluye un colector automatizado de arranque 20 que se incorpora en los otros componentes del sistema 10.

[0035] Finalmente, un sistema de control 100 del sistema de perforación 10 es un control computarizado que integra hardware, software y aplicaciones a través del sistema de perforación 10. El sistema de control 100 se utiliza para monitorear, medir y controlar parámetros en el sistema de perforación 10. En este entorno contenido del sistema de perforación de bucle cerrado 10, las entradas de fluido o pérdidas minúsculas del pozo son detectables en la superficie, y el sistema de control 100 puede analizar además datos de presión y flujo para detectar patadas, pérdidas y otros eventos.

[0036] El colector automatizado de arranque 20 gestiona la presión y el flujo durante la perforación y se incorpora en el sistema de perforación 10 corriente abajo del dispositivo de control giratorio 12 y corriente arriba del separador de gas 30. El colector 20 tiene arranques 22, un medidor de flujo de masa 24, sensores de presión (no ilustrados), un

controlador local (no mostrado) para controlar el funcionamiento del colector 20 y una unidad de potencia hidráulica (no mostrada) y/o un motor eléctrico para accionar los arranques 22. El sistema de control 100 está comunicativamente acoplado al colector 20 y tiene un panel de control con una interfaz de usuario y capacidades de procesamiento para monitorear y controlar el colector 20.

[0037] El sistema 10 utiliza el dispositivo de control giratorio 12 para mantener el pozo cerrado a las condiciones atmosféricas. El fluido que sale del pozo 16 fluye a través del colector automatizado de arranque 20, que mide el flujo de retorno y la densidad usando el medidor de flujo 24 instalado en línea con los arranque 22. Los componentes de software del sistema de control 100 comparan entonces la velocidad de flujo dentro y fuera del pozo 16, la presión de inyección (o la presión del tubo vertical), la contrapresión de la superficie (medida corriente arriba de los arranques de perforación 22), la posición de los arranques 22 y la densidad del lodo. Al comparar estas variables, el sistema de control 100 identifica minúsculos flujos de entrada y pérdidas en tiempo real para gestionar la presión anular durante la perforación. Toda la información monitoreada puede ser

visualizada por el operador en el panel de control del sistema de control 100.

[0038] En la perforación con presión controlada, el sistema de control 100 introduce cambios de presión y flujo a este circuito incompresible de fluido en la superficie para cambiar el perfil de presión anular en el pozo 16. En particular, utilizando el colector de arranque 20 para aplicar contrapresión superficial dentro de la válvula cerrada, el sistema de control (100) puede producir un cambio recíproco en la presión en el fondo del pozo. De este modo, el sistema de control 100 utiliza datos de flujo y presión en tiempo real y manipula la contrapresión anular para gestionar las entradas de flujo y pérdidas en el pozo.

[0039] En un sistema de perforación con presión controlada (MPD), el sistema de control 100 utiliza algoritmos internos para identificar lo que está ocurriendo en el fondo del pozo y reacciona automáticamente. Como puede observarse, el sistema de control 100 monitorea cualquier desviación de valores durante las operaciones de perforación y alerta a los operadores de cualquier problema que pueda ser causado por un flujo de fluido en el pozo 16 a partir de la formación F o una pérdida de lodo de perforación en la formación F. Además, el sistema de control 100 puede detectar, controlar y

distribuir automáticamente dichos flujos de entrada operando los arranques 22 en el colector 20 del arranque.

[0040] Por ejemplo, se puede observar una posible entrada de fluido o “patada” cuando el valor de “flujo de salida” (medido desde el medidor de flujo 24) se desvía del valor de “entrada de flujo” (medido con los contadores de golpes de las bombas de lodo 50). Como es sabido, una “patada” es la entrada de fluido de formación en el pozo 16 durante las operaciones de perforación. La patada se produce porque la presión ejercida por la columna de fluido de perforación no es lo suficientemente grande como para superar la presión ejercida por los fluidos en la formación que está siendo perforada.

[0041] La patada o entrada de fluido se detecta cuando el flujo del pozo es significativamente mayor que el flujo de entrada durante un período de tiempo especificado. Además, la presión del tubo vertical (SPP, por sus siglas en inglés) no debe aumentar más allá de un incremento máximo permitido de SPP definido, y la densidad de salida del fluido fuera del pozo no baja más que un umbral de densidad de gas superficial. Cuando se detecta una entrada de flujo o una patada, una alerta notifica al operador para que aplique el freno hasta que se confirme que es seguro perforar. Mientras tanto, en

esta etapa no se necesita ningún cambio en la velocidad de las bombas de lodo 50.

[0042] En el sistema de control 100, el control de patadas puede ser una función automatizada que combina la detección y control de patadas y el sistema de control 100 puede basar su algoritmo de control de patadas en el método de perforadores modificados para gestionar las patadas. En una forma de control automático de patadas, por ejemplo, el sistema de control 100 cierra automáticamente los arranques 22 para aumentar la contrapresión de la superficie en el anillo de pozo 16 hasta que se establece el equilibrio de masa y se detiene el flujo de entrada.

[0043] El sistema de control 100 añade una cantidad predefinida de presión como un amortiguador y hace circular la entrada de fluido fuera del pozo controlando la presión del tubo de soporte. La presión de la tubería de soporte se mantendrá constante mediante el ajuste automático de la contrapresión de la superficie, aumentando de este modo la presión de circulación del fondo de pozo y evitando una entrada de flujo secundaria. Un tanque móvil conceptualizado se monitorea para los cambios de volumen de fluido superficial debido a que las mediciones de ganancia de pozo no convencionales generalmente no son muy precisas. Esto puede

ser monitoreado y visualizado en el sistema de control 100 para ofrecer un control adicional de estos pasos.

[0044] Una vez que la diferencia de salida de flujo y entrada de flujo está bajo control, el sistema de control 100 mantendrá este equilibrio durante un tiempo especificado antes de pasar al modo siguiente. En una operación exitosa, se puede esperar que el ciclo de detección y control de patadas se administre en aproximadamente dos minutos. El fluido de patada se moverá hacia arriba en el anillo con la velocidad completa de la bomba usando una pequeña velocidad de flujo relativa disminuida de aproximadamente -0.1 galones por minuto para llevar con seguridad la presión de la formación al equilibrio.

[0045] Por otra parte, puede observarse una posible pérdida de fluido cuando el valor de "entrada de flujo" (medido con los contadores de golpes de las bombas 50) es mayor que el valor de "salida de flujo" (medido por el medidor de flujo 24). Como es sabido, la pérdida de fluido es la pérdida de todo el fluido de perforación, suspensión o fluido de tratamiento que contiene partículas sólidas en la matriz de la formación. La acumulación resultante de material sólido o torta de filtro puede ser indeseable, como puede ser cualquier penetración del filtrado a través de la formación, además de

la pérdida repentina de presión hidrostática debida a la pérdida rápida de fluido.

[0046] Los pasos similares a los anteriores, pero adecuados para la pérdida de fluido, pueden entonces ser implementados por el sistema de control 100 para gestionar la presión y el flujo durante la perforación en esta situación. Matar el pozo es intentar impedir que el pozo fluya o tenga la capacidad de fluir hacia el pozo de perforación 16. Los procedimientos de destrucción típicamente implican la circulación de fluidos del depósito fuera del pozo o el bombeo de lodo de mayor densidad en el pozo 16 o ambos.

[0047] En el sistema de perforación de bucle cerrado 10, cualquier pérdida observada sólo puede atribuirse a la formación, mientras que en la perforación normal se detecta una pérdida de lodo en los pozos y se puede atribuir a varias cosas, incluyendo la pérdida del equipo de control de sólidos, recortes con lodo, evaporación, pérdidas en el fondo del pozo o fugas superficiales.

[0048] El operador puede iniciar el bombeo del nuevo lodo con el peso del lodo de matanza recomendado o seleccionado. A medida que el lodo de matanza comienza a descender por el pozo 16, los arranques 22 se abren gradualmente acercándose a una

posición de presión a medida que el lodo de matanza circula de vuelta hasta la superficie. Una vez que el lodo de matanza gira la broca, el sistema de control 100 de nuevo cambia a la presión del tubo vertical (SPP) hasta que el lodo de matanza circula de nuevo hasta la superficie.

[0049] Además del colector de arranque 20, el sistema de perforación 10 puede incluir un sistema de flujo continuo (no mostrado), un dispositivo de evaluación de gas 26, un medidor de flujo de múltiples fases 28 y otros componentes incorporados en los componentes del sistema 10. El sistema de flujo continuo permite mantener el flujo mientras se realizan las conexiones del tubo de perforación, y el sistema de perforación 10 puede o no incluir dichos componentes. Por su parte, el dispositivo de evaluación de gases 26 puede ser utilizado para evaluar fluidos en el lodo de perforación, tales como la evaluación de hidrocarburos (por ejemplo, C1 a C10 o superior), gases no hidrocarburos, dióxido de carbono, nitrógeno, hidrocarburos aromáticos (por ejemplo, benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) u otros gases o fluidos de interés en el fluido de perforación. Por consiguiente, el dispositivo 26 puede incluir un dispositivo de extracción de gas que utiliza una membrana semipermeable para extraer gas del lodo de perforación para su análisis.

[0050] El medidor de flujo de múltiples fases 28 se puede instalar en la línea de flujo para ayudar a determinar la composición del fluido. Como se apreciará, el medidor de flujo de múltiples fases 28 puede ayudar a modelar el flujo en el lodo de perforación y proporcionar resultados cuantitativos para refinar el cálculo de la concentración de gas en el lodo de perforación.

[0051] Como se ha indicado anteriormente, controlar la presión durante la perforación esencialmente requiere mover los arranques 22 con un control para conseguir una cantidad necesaria de presión o flujo de acuerdo con los propósitos de las operaciones de control de pozo regidas por el sistema de control 100. Por lo tanto, un elemento de esta automatización es un mecanismo de realimentación de bucle de control que consiste en un control adaptado para caracterizar el equipo de MPD (por ejemplo, actuadores de arranque) y es capaz de adaptarse a dinámicas cambiantes tales como sistemas de lodo, compresibilidad de pozos, ventanas de perforación y limitaciones de equipos superficiales.

[0052] En las ventanas estrechas de gradiente de presión y fractura que se pueden encontrar en los pozos 16, la perforación exitosa a menudo implica el mantenimiento de una presión predefinida a una profundidad específica en el pozo.

Esto implica la eliminación y minimización de picos de presión y oscilaciones que pueden exceder los parámetros de la ventana de perforación y crear un evento de pérdida de patada. La perforación en estas circunstancias requiere comúnmente regímenes de presión que son menores de 100 psi entre los respectivos gradientes.

[0053] Durante las operaciones, la respuesta del arranque (es decir, el movimiento, la velocidad y la precisión) se determinan mediante los controles del arranque. Típicamente, se ha utilizado un control proporcional-integral-derivado (PID) para controlar los arranques 22 para cambiar la presión o el flujo en el sistema 10. Dicho control PID es un componente común de la automatización industrial, la aviación y otros procesos. En operaciones de perforación controladas, el control PID proporciona la realimentación utilizada para ajustar y estabilizar la presión y el flujo del pozo. En particular, se utiliza típicamente un control proporcional-integral en la perforación con presión controlada.

[0054] Como antecedentes, por ejemplo, la Figura 2A ilustra un control típico proporcional-integral-derivado (PID) 60 que puede usarse en perforación de presión controlada para controlar un arranque (por ejemplo, 22: figura 1). En este control 60, se compara una variable de proceso 64 (por ejemplo,

contrapresión de superficie de corriente en el sistema de perforación 10, posición actual de arranque, etc.) con un punto de ajuste configurado 62 para calcular un error 66. Ese error 66 puede ser entonces accionado por una o más de: una ganancia proporcional (K_p) multiplicada por la magnitud del error ($e(t)$) (70), una ganancia integral (K_i) multiplicada por la integral del error ($e(t)$) (72), y una ganancia derivada (K_d) multiplicada por la derivada del error ($e(t)$) (74). El uno o más de estos son sumados a continuación para proporcionar una salida de control 76 (por ejemplo, una nueva presión, una nueva posición de arranque, etc.).

[0055] En el sistema de perforación 10 de la Figura 1, por ejemplo, el control PID 60 de la Figura 2A estabiliza las fluctuaciones de la presión en el pozo, controlando la presión rápidamente en pequeños incrementos. Estos incrementos pueden ser tan pequeños como ± 1 psi cuando se circula fluido homogéneo o durante conexiones de tubería con ayuda de flujo auxiliar, o hasta ± 10 psi cuando circula gas o grandes recortes. En otros casos tales como cuando se dispara dentro o fuera con hasta 500 psi de presión superficial, los incrementos o decrementos observados en la presión pueden oscilar entre 5 y 20 psi.

[0056] El control PID 60 es útil cuando responde a variaciones en la presión del pozo o en la manipulación de la presión del fondo de pozo cuando el bombeo se detiene durante una conexión. Con el sistema de perforación automático 10, los ajustes pueden ser más instantáneos y pueden hacerse de una manera más orquestada que los ajustes puramente manuales.

[0057] La automatización también proporciona la gestión anular de la presión en el sistema 10 que mantiene una presión predefinida en el pozo 16. Con el control anular de presión, si el flujo que sale del pozo 16 disminuye rápidamente, el sistema de control 100 ajusta automáticamente la contrapresión de superficie para mantener los puntos de ajuste definidos por el operador. Esto también es aplicable a la superación de los problemas de la bomba cuando se perfora con anterioridad, como en el caso de las ocurrencias de ruptura y los motores estancados.

[0058] Aunque el sistema de control automatizado 100 se impulsa por sí mismo, las operaciones de presión controlada requieren sin embargo supervisión y contribución. La supervisión es crítica debido a las incertidumbres que vienen con la perforación de un pozo, que no es un proceso de estado estacionario. Mientras que se hace la perforación con anterioridad, por ejemplo, la broca 18 puede encontrar

fracturas inesperadas o zonas anormalmente presionadas. A menudo se desconoce cuánto una zona producirá antes de que se agote o cuánto líquido una fractura puede tomar. Aunque el sistema de control 100 puede tener varios puntos de referencia definidos con base a lo que se espera, pueden no ser los puntos de ajuste correctos para las condiciones reales. Del mismo modo, los controles para los arranques 22 en el colector 20 pueden no ajustarse bien a los puntos de ajuste bajo ciertas circunstancias.

[0059] Por ejemplo, el control PID 60 convencional para la Figura 2A no funciona bien cuando el arranque 22 está cerca de sus estados completamente cerrados cuando pequeños movimientos de los componentes del arranque producen cambios mayores en la presión o el flujo. Con el control PID actual 60 de la Figura 2A, por ejemplo, los operadores deben manipular manualmente las ganancias del control PID 60 cuando el arranque 22 está cerca de estos estados completamente cerrados. El software típico de control de arranques tiene entradas que permiten a los operadores realizar tales ajustes manuales a las ganancias del PID, pero los operadores tienen que controlar la presión o el flujo cuidadosamente y ajustar manualmente las ganancias basándose en qué condiciones y respuesta están viendo y lo que su experiencia indica.

[0060] La Figura 2B, como antecedente, ilustra la forma convencional de control PID de un arranque (por ejemplo, 22: Fig. 1) que muestra los cambios de contrapresión de superficie en relación con la posición controlada del arranque en el sistema de perforación (10). Este gráfico muestra cómo el control PID actual (60: Fig. 2A), que es sintonizado manualmente por los operadores, funciona para controlar la contrapresión de la superficie. La posición del arranque 82 se ajusta a lo largo del tiempo con el control PID 60 para afectar a la contrapresión de superficie 84, que se representa gráficamente con fines comparativos. Como se ve, la posición de arranque 82 se ajusta cerrada cuando la contrapresión de superficie continúa subiendo y alcanza un nivel de pico de casi 2000 psig. A continuación se produce una caída repentina de la contrapresión de superficie 84 y se abre rápidamente la posición de arranque 82.

[0061] Según las prácticas convencionales, la afinación de las diversas ganancias 70, 72 y 74 en la Figura 2A del control PID 60 es manejado manualmente por los operadores del sistema de perforación 10 para conseguir una respuesta deseada del sistema. Incluso para un sistema de control automatizado típico 100, una persona tiene que hacer esa evaluación y cambiar los puntos de ajuste. El sistema está automatizado

según su reacción, pero no está perforando el pozo por sí solo. El proceso requiere un soporte experto para una automatización guiada.

[0062] Tal como se apreciará, todo este manejo y ajuste de los controles depende de cómo el operador configure el sistema de control 100. Inicialmente, la interfaz del sistema de control 100 requiere que se establezcan ciertos parámetros, tales como puntos de ajuste, bandas muertas de presión y diferencial de flujo y duraciones de tiempo deseadas antes de que el sistema reaccione. Establecer estos límites incorrectamente puede plantear problemas. Por ejemplo, especificar un tiempo de tendencia de 1 seg y pequeñas diferenciales en el flujo y la presión desencadenarían respuestas automáticas frecuentes que actuarían sobre las fluctuaciones normales del balance de masa, tales como las provocadas por el levantamiento o el movimiento de la tubería. Esto haría que la identificación de eventos fuera menos confiable.

[0063] Incluso con controles automatizados como se discutió anteriormente, los operadores pueden necesitar ajustar o afinar la respuesta del arranque para tener en cuenta las diversas condiciones cambiadas. Esto puede ser difícil y propenso a errores humanos. De acuerdo con las técnicas

descritas en la presente memoria, sin embargo, se usan datos relacionados con el coeficiente de flujo del arranque 22 como un factor de ajuste dentro de un control del arranque. Durante las operaciones, el sistema de control 100 divulgado puede reducir o eliminar la afinación requerida por las formas existentes del control PID 60 utilizado en el colector de arranque 20. Como ya se indicó anteriormente, las formas actuales de controles de ajuste en un sistema son un reto para los operadores en tiempo real porque las condiciones de velocidad de flujo y de contrapresión requeridas están siempre cambiando en tiempo real.

[0064] Como es generalmente conocido, el coeficiente de flujo (Cv) es una variable adimensional que relaciona la velocidad de flujo de una válvula de arranque (por ejemplo, 22) con la presión diferencial producida. El coeficiente de flujo Cv puede proporcionarse como un valor de índice equivalente a los galones por minuto de agua a temperatura estándar (60°F = 16°C) que fluirá a través de una válvula o accesorio a una presión diferencial a través de la válvula de 1 psi.

[0065] Para un tipo de fluido incompresible, se puede calcular el coeficiente de flujo (Cv) de una válvula utilizando la ecuación:

$$C_v = Q / \sqrt{DP / SG}$$

En donde:

Q - velocidad de flujo,

DP - Presión diferencial en la válvula, y

SG- Gravedad específica del fluido.

[0066] La ecuación para un tipo de fluido compresible incluye consideraciones de diversos factores, tales como temperatura absoluta corriente arriba, gravedad específica de gas, presión estática absoluta corriente arriba, factor de expansión, etc. Ecuaciones particulares son proporcionadas por las normas de válvulas de control de la Sociedad Internacional de Automatización, tales como ISA-75.

[0067] En el contexto del sistema de perforación 10 de la presente divulgación, el coeficiente de flujo (C_v) de interés no se calcula estrictamente. En cambio, el coeficiente de flujo (C_v) depende de los fluidos implicados y del diseño de la válvula de arranque. Con este fin, el carácter de coeficiente de flujo de la presente divulgación que relaciona el coeficiente de flujo (C_v) con las posiciones del arranque está configurado para el arranque particular 22 utilizado en

el sistema de perforación 10, el tipo de fluido y otras condiciones.

[0068] Como antecedente, por ejemplo, la Figura 3 representa gráficamente las curvas 162, 164 para el carácter de coeficiente de flujo (C_v en comparación con la posición de miembro de válvula) de dos tipos de válvulas de arranque, a saber, una primera curva 162 para una válvula de arranque convencional y una segunda curva 164 para una válvula de arranque modificada con desniveles que impiden el flujo, tal como se describe en el documento US 2011/0094607. La ordenada muestra el porcentaje del golpe de los miembros de la válvula desde la posición cerrada y la abscisa muestra el coeficiente de flujo exhibido por las válvulas del arranque. Cuando se incrementa desde un rango de flujo bajo 166 hasta un rango de flujo 168 más alto, la curva 162 de válvula de arranque convencional pasa rápidamente 163 a un coeficiente de flujo más alto. Por el contrario, la curva 164 de la válvula de arranque modificada con desniveles que impiden el flujo aumenta gradualmente con la pendiente 165 para coeficiente del flujo durante la transición desde el rango de flujo bajo 166 al rango superior 168. Tal como ayuda a dilucidar la gráfica de la Figura 3, saber que el carácter de coeficiente de flujo del arranque 22 particular en el sistema de

perforación 10 permite que el sistema de control 100 ajuste la respuesta del arranque con base al menos en la posición del arranque, aunque se puede considerar más con base en el tipo de fluido y otras consideraciones.

[0069] En particular, el sistema de control 100 de la presente divulgación, que realiza la sintonización, se muestra esquemáticamente como un control computarizado en la Figura 4. El sistema de control 100 incluye una unidad de procesamiento 102, que puede ser parte de un sistema de computación, un servidor, un dispositivo de control programable, un controlador lógico programable, etc. Usando interfaces de entrada/salida 104, la unidad de procesamiento 102 puede comunicarse con el o los arranques 22 y otros componentes del sistema para obtener y enviar señales de comunicación, sensor, actuador y control 105 para los diversos componentes del sistema, según sea el caso. En términos de los controles actuales discutidos, las señales pueden incluir, pero no están limitadas a, las señales de posición del arranque, las señales de presión del sistema, señales de flujo del sistema, señales de temperatura, señales de densidad de fluido, etc.

[0070] La unidad de procesamiento 102 también se acopla comunicativamente a una base de datos o almacenamiento 106

que tiene puntos de ajuste 107, tablas de consulta 108 y otra información almacenada. Las tablas de consulta 108 caracterizan las especificaciones del arranque 22 y el coeficiente de flujo (por ejemplo, el coeficiente de flujo en comparación con la posición del arranque) del arranque 22. Esta información puede definirse por la fabricación del arranque y mediante pruebas del arranque 22. Aunque las tablas de búsqueda 108 pueden usarse, se apreciará que se puede usar cualquier otra forma de curva, función, conjunto de datos, etc. para almacenar el carácter de coeficiente de flujo. Además, se pueden almacenar múltiples tablas de consulta 108 o similares y se pueden caracterizar con base en diferentes arranques, diferentes fluidos de perforación, diferentes condiciones de funcionamiento y otros escenarios y configuraciones.

[0071] Finalmente, la unidad de procesamiento 102 puede operar un control de arranque 110 de acuerdo con la presente divulgación para monitorear, sintonizar y controlar el o los arranques 22. Por ejemplo, la unidad de procesamiento 102 puede transmitir señales a uno o más de los arranques 22 del sistema de perforación utilizando cualquier comunicación adecuada. En general, las señales son indicativas de una posición de arranque o ajuste de posición a ser aplicados a

los arranques 22. Típicamente, los arranques 22 son controlados por energía hidráulica de manera que las señales electrónicas transmitidas por la unidad de procesamiento 102 pueden operar solenoides, válvulas o similares de una unidad de potencia hidráulica para accionar los arranques 22. Como se muestra aquí y en la Figura 1, dos arranques 22 se usan típicamente en el sistema de perforación de bucle cerrado 10. El mismo control de arranque puede aplicar ajustes a ambos arranques o pueden emplearse controles de arranque separados para cada arranque 22. De hecho, los dos arranques 22 pueden tener diferencias que se pueden contabilizar en los dos controles de arranque utilizados.

[0072] Como se describirá con más detalle a continuación, el sistema de control 100 utiliza el control de arranque de alta velocidad 110 ajustado en tiempo real usando datos de coeficiente de flujo interpolado (108) basados en señales de posición de arranque (105). Se calcula un punto de ajuste relativo de posición de arranque (107) en lugar de un punto de ajuste de posición absoluta (0% a 100%) en tiempo real y se aplica a una posición deseada para el o los arranques 22 para lograr los fines de la perforación con presión controlada. En otras palabras, el control de arranque 110 utiliza el coeficiente de flujo (Cv) del arranque para ajustar el control

y determinar el ajuste requerido a la posición de arranque actual, en lugar de determinar una posición absoluta del arranque como se hace convencionalmente. Esta afinación proporciona la respuesta de control requerida a medida que cambian las condiciones y el arranque 22 opera en sus rangos superior o inferior de la curva C_v , lo que puede mejorar el rendimiento del colector 20 del arranque.

[0073] La Figura 5 ilustra un control de arranque 110 de acuerdo con la presente divulgación. El control de arranque 110 controla la presión o el flujo en las aplicaciones de perforación con presión controlada para mejorar el rendimiento y reducir los requisitos de ajuste del operador mientras se controla la presión o el flujo. Se reconoce que una curva de coeficiente de flujo de arranque (C_v) dada tiene una relación no lineal con la posición del arranque y los cambios en la respuesta son significativos con cambios en la velocidad de flujo y la densidad. Como ya se ha explicado, los algoritmos de control de arranque convencionales requieren que los operadores ajusten manualmente los parámetros de control PID a medida que cambian las velocidades de flujo y cuando se necesita aumentar o disminuir la presión. Esta afinación debe ser realizada por los operadores a medida que se producen las condiciones y es engorrosa y propensa al error.

[0074] Por el contrario, el control de arranque 110 de la presente divulgación elimina o reduce la necesidad de esta sintonización manual mediante el ajuste automático de un control proporcional del arranque 22 con base en un coeficiente de flujo Cv para la posición actual del arranque. El control 110 calcula la posición del arranque 22 (por ejemplo, en términos de porcentaje abierto de 0-100%) usando un algoritmo de control proporcional. Este cálculo se realiza utilizando el sistema de control 100 a altas velocidades para actualizar continuamente la posición del arranque. Cada cálculo implica el cálculo de un error (Bloque 116), que es la diferencia entre un punto de ajuste 112 y una variable medida 114 de un parámetro en el sistema de perforación de bucle cerrado 10.

[0075] En una implementación, se utiliza presión para el parámetro en el error de tal manera que el error se calcula entre la presión medida 114 y la presión de punto de ajuste 112. El funcionamiento del control de arranque 110 basado en la presión es útil durante condiciones típicas de perforación con presión controlada debido a que el sistema de perforación 10 controla la contrapresión superficial durante las operaciones.

[0076] En otra implementación, se utiliza flujo para el parámetro en el error de tal manera que el error se calcula entre el flujo medido 114 y el flujo de punto de ajuste 112. El funcionamiento del control de arranque 110 basado en el flujo es útil cuando el sistema de perforación 10 ha detectado una patada (entrada de fluido) y trata de hacer circular la patada hacia afuera. Además del flujo y la presión, el control de arranque 110 puede utilizar cualquier otro parámetro afectado por el arranque 22 y útil para controlar las operaciones de perforación con presión controlada. Para los fines de la discusión, aunque se hace referencia a la presión en la descripción del control de arranque 110 descrito, se puede hacer una aplicación comparable al flujo o cualquier otro parámetro adecuado.

[0077] Después de calcular el error, el valor absoluto de la señal de error (Bloque 116) se multiplica entonces por un factor de ganancia (Bloque 118). El factor de ganancia se calcula dinámicamente con base a la magnitud del error del Bloque 116. A medida que disminuye el error, por ejemplo, se incrementa la ganancia en el Bloque 118 para proporcionar al control 110 una mayor precisión al realizar pequeños ajustes. Como se verá más adelante, se puede aplicar un factor de error interpolado a la ganancia para tener en cuenta errores de

estado estacionario cuando los errores implicados en los cálculos están por debajo de un cierto nivel.

[0078] El error de ajuste de ganancia del Bloque 118 se multiplica entonces por un factor de corrección de coeficiente de flujo Cv basado en el carácter de coeficiente de flujo del arranque Cv almacenado en el control 110 (Bloque 122). En esta etapa 122, se puede usar una interpolación de splines basada en la posición de arranque actual 120 con respecto al coeficiente de flujo Cv del arranque para determinar el factor de corrección a aplicar. Este factor se aplica al error actual (Bloque 118) previamente calculado para determinar un ajuste de la posición del arranque (Bloque 124). A su vez, se añade el ajuste de posición (Bloque 124) a la posición actual 120 del arranque (Bloque 126), lo que da una nueva posición de arranque 128 con relación a la posición anterior. Se aplican límites a la nueva posición de arranque 128 para mantener la integridad del rango (0-100%).

[0079] Todo este proceso del control 110 se repite en el cual la nueva posición de arranque 128 se convierte en la posición actual, de modo que se calcula un nuevo ajuste según se necesite. A medida que las operaciones continúan, el proceso del control 110 puede repetirse cada 2 ms o menos, lo que proporciona un control rápido de la respuesta del arranque.

[0080] En el Bloque 116 del control de arranque 110, el error se calcula como la diferencia entre una presión o flujo 114 “medido” real y un punto de ajuste 112 de presión o flujo proporcionado por otros algoritmos del sistema de control 100 (es decir, el error (e) = presión real - punto de ajuste de la presión o error (e) = punto de ajuste real - punto de ajuste de flujo).

[0081] Como se señaló anteriormente, el ajuste de la posición de arranque (Bloque 124) en el control de arranque 110 se calcula y se compensa basado en el coeficiente de flujo (Cv). El ajuste del arranque es un producto del error (Bloque 116), coeficiente de flujo (Cv) (bloque 122), un factor de ajuste de ganancia (118) y un factor de interpolación de error (e_i). A partir de esto, se calcula una posición de arranque actualizada 128 (es decir, punto de ajuste de nueva posición) utilizando la posición de arranque real 120 más o menos el ajuste calculado del Bloque 124.

[0082] Para el control basado en la presión, las ecuaciones de flujo describen el cálculo del control de arranque de la nueva posición relativa del arranque:

$$P_{out} = (K_{pcv} * e(t)) + P_c$$

En donde:

SP es el Punto de Ajuste de Presión,

PV es la Presión Medida,

e(T) es el Error Instantáneo en el tiempo (t) (SP - PV),

Pc es la Posición Actual del Arranque,

P_{out} es la Nueva Posición del Arranque respecto a la Posición actual, y

K_{pcv} es la ganancia proporcional corregida por el coeficiente de flujo (Cv).

[0083] Una ecuación comparable sería utilizada para el control basado en el flujo, que usaría un valor de flujo medido, un valor de punto de ajuste de flujo y el error correspondiente. Del mismo modo, otros parámetros para el control pueden equipararse de forma similar.

[0084] En la ecuación anterior, el factor de corrección Cv (K_{pcv}) se puede caracterizar de la siguiente manera:

$$K_{pcv} = Cv * g * e_i$$

[0085] La ganancia (g) puede ser un valor pre-configurado para escalar proporcionalmente el control. El coeficiente de flujo C_v en el factor de corrección (K_{pcv}) se basa en las especificaciones del fabricante del arranque particular y se interpola utilizando la posición de arranque de corriente 120. En particular, el coeficiente de flujo C_v se obtiene utilizando las especificaciones del fabricante del arranque 22 y los valores necesarios pueden interpolarse con base en la posición de arranque actual 120. Por ejemplo, se puede crear y almacenar una tabla de consulta 108 dentro del sistema de control 100 relacionando diversas posiciones de arranque con valores del coeficiente de flujo C_v . Debido a que el coeficiente de flujo C_v no es lineal y depende de la posición del arranque, el coeficiente de flujo C_v ajusta la ganancia global (g) para tener en cuenta la posición actual del arranque y las características operativas.

[0086] El factor de error interpolado (e_i), como se ha indicado anteriormente, se utiliza para eliminar el error de estado estacionario que puede ocurrir cuando la magnitud del error es baja, lo que significaría que pequeños cambios en el error serían subsumidos en la magnitud de los otros componentes del factor de corrección C_v (K_{pcv}). En una implementación, el factor de error interpolado (e_i) es una interpolación lineal

entre un multiplicador de ganancia que varía de 3 a 1 con respecto a un nivel de error que varía de 0 a 30 psi. Si el error es mayor que 30 psi, entonces el multiplicador de ganancia permanece 1 de manera que la ganancia global del control 110 no se cambia. Por lo tanto, la ganancia global (g) multiplicada por el factor de error interpolado (e_i) de 1 a 3 se incrementará para errores de presión que caen de 30 psi a 0 psi.

[0087] En cada iteración del control de arranque 110, se obtiene un nuevo ajuste de arranque (Bloque 124) interpolando el coeficiente de flujo C_v de la posición actual en la tabla de consulta 108 (Bloque 122) almacenada en el sistema de control 100 y aplicando el coeficiente C_v al error (Bloque 116) y a la ganancia proporcional (Bloque 118). Este nuevo ajuste del arranque (Bloque 124) explica la posición del arranque 22 y el valor del coeficiente de flujo C_v para esa posición. El control de arranque 110 descrito que utiliza el nuevo ajuste de arranque (Bloque 124) del factor de corrección de C_v (K_{pcv}) puede eliminar o reducir la necesidad de que los operadores sintonicen manualmente el control del arranque 22 que se requiere con el control PID convencional.

[0088] Aunque la discusión del control de arranque 110 anterior se centró en utilizar el coeficiente de flujo C_v como

factor de ajuste para el control proporcional del arranque 22, el coeficiente de flujo Cv puede usarse en su lugar con (o adicionalmente) con un control integral y/o un control derivado. En este sentido, la ganancia para el control integral y/o control derivado puede ajustarse con el coeficiente de flujo Cv de una manera similar a lo que se ha descrito anteriormente para ajustar la ganancia del control proporcional.

[0089] La Figura 6A ilustra el control depresión 130 logrado con el control de arranque 110 divulgado. Bajo este nuevo esquema de control se establece un objetivo de presión y el control 110 puede alcanzar rápidamente ese objetivo de presión y puede entonces descansar en ese objetivo de presión durante un tiempo hasta que se necesite de un nuevo ajuste. Este gráfico muestra la amplitud de la presión que está siendo controlada por el control de arranque descrito en un número de puntos de ajuste de presión diferentes. Como muestra la gráfica, la respuesta de presión resultante del control descrito puede ser rápida y suave por medio del autoajuste a los cambios.

[0090] De manera similar, la Figura 6B muestra el control de arranque 135 divulgado que muestra el cambio de contrapresión de superficie en relación con la posición controlada del

arranque. De nuevo, las transiciones a las presiones de punto de ajuste son rápidas y suaves.

[0091] La Figura 7 muestra pruebas de control de presión usando el control 110 descrito basado en el factor de corrección de Cv. La respuesta 140 aumenta suave y rápidamente dentro de aproximadamente 8 seg. La respuesta también disminuye suave y rápidamente. En este ejemplo, se observan respuestas similares 140 para dos puntos de ajuste de 1000 psi y 1300 psi.

[0092] Para fines comparativos, se realizó una prueba usando un dispositivo que proporcionaba flujo de fluido con un actuador para controlar una válvula de arranque para ajustar y mantener la presión. El ensayo se llevó a cabo utilizando un control estándar de PID (Figura 2A) y el control de arranque 110 (Figura 5). Se cambió la presión de 70 psi a 140 psi y luego de 140 psi a 70 psi y se registró la presión resultante en el sistema. La gráfica 150 de la Figura 7B ilustra los resultados de la prueba.

[0093] La curva de respuesta izquierda 152 muestra la respuesta PID en términos de amplitud de presión en función del tiempo. Esta respuesta 152 muestra el ajuste de presión usando un control PID estándar. La respuesta PID 152 muestra

que el control PID estándar para el aumento de presión 153 no proporciona resultados similares para la disminución de presión 154. Los resultados muestran que la sintonización usada a 70 psi no funciona igual que cuando se usa a 140 psi.

[0094] Por el contrario, la curva de respuesta derecha 155 muestra la respuesta de presión usando los ajustes por el control de arranque divulgado (110). Esta respuesta 155 muestra que la afinación para el aumento de presión 156 y la disminución 157 proporcionan una respuesta fluida. Los resultados muestran que la afinación usada a 140 psi trabaja a 70 psi también.

[0095] El incremento 153 del control PID es más lento que el aumento 156 conseguido con el control de arranque divulgado. De hecho, la respuesta 152 del control PID es lenta para alcanzar el punto de ajuste de 140 psi porque el control PID intenta inherentemente no sobrepasar el punto de ajuste de modo que el incremento 153 llega cerca del punto de ajuste, retrocede y luego lentamente llega al punto de ajuste. Por el contrario, el incremento 156 del control de arranque descrito alcanza más rápidamente el punto de ajuste de 140 psi, el cual es luego sostenido por el control.

[0096] La diferencia en las disminuciones 154 y 157 es aún más pronunciada entre la respuesta 152 del control PID y la respuesta 155 del control descrito. La disminución de presión 154 de la respuesta 152 del control PID oscila y se extiende en el tiempo. Por el contrario, la disminución 157 de la respuesta de control descrita 157 disminuye más suave y rápidamente.

[0097] Tal como se describe en la presente memoria, el control de arranque 110 descrito puede utilizarse en un sistema de perforación de bucle cerrado 10 para realizar una perforación con presión controlada. La respuesta del control de arranque 110 descrito puede ser particularmente beneficiosa en el sistema de perforación 10 cuando se manejan las patadas (entrada de fluido), pérdidas de manipulación, conexiones de perforación y otras circunstancias en las que se necesitan ajustes de arranque más pronunciados. Por ejemplo, durante una patada detectada en el sistema de perforación 10, el control 110 de arranque descrito puede utilizar el error entre la velocidad de flujo medida y el punto de ajuste de flujo para ajustar la posición del arranque (por ejemplo, cerrar el arranque) a medida que el sistema de perforación 10 intenta hacer circular la patada desde el sistema de bucle cerrado 10

y mantener la contrapresión superficial dentro de la ventana de perforación deseada.

[0098] De manera similar, por ejemplo, durante una pérdida detectada en el sistema de perforación 10, el control de arranque 110 descrito puede utilizar el error entre medir la presión y el punto de ajuste de presión para ajustar la posición del arranque (por ejemplo, abrir los arranque) para manejar la pérdida y mantener la contrapresión superficial dentro de la ventana de perforación deseada.

[0099] Adicionalmente, el control de arranque 110 descrito puede ser beneficioso durante las conexiones hechas durante la perforación. En este contexto, las bombas de lodo 60 se bajan mientras se realiza una conexión de tubo de perforación en la plataforma. La fricción hacia abajo del pozo 16 disminuye y la presión del orificio inferior disminuye. Para aumentar la contrapresión superficial, los arranques 22 se cierran hacia el extremo inferior de su alcance. El control de arranque 110 descrito es capaz de manejar los ajustes a las posiciones de arranque, ajustándose automáticamente como se describe en la presente memoria basándose en el coeficiente de flujo del arranque en las condiciones operativas y basado en el error de presión.

[00100] Como se apreciará, las enseñanzas de la presente divulgación se pueden implementar en circuitos electrónicos digitales, hardware de computador, firmware de computador, software de computador, o cualquier combinación de los mismos. Las enseñanzas de la presente divulgación se pueden implementar en un producto de programa de computador tangiblemente incorporado en un dispositivo de almacenamiento legible por máquina para su ejecución por un procesador programable de manera que el procesador programable que ejecuta instrucciones de programa puede realizar funciones de la presente divulgación. A tal fin, un dispositivo de almacenamiento programable que tiene instrucciones de programa almacenadas sobre el mismo para causar un dispositivo de control programable puede realizar las enseñanzas de la presente divulgación.

[00101] Las enseñanzas de la presente divulgación se pueden implementar ventajosamente en uno o más programas de computador que son ejecutables en un sistema programable que incluye al menos un procesador programable acoplado para recibir datos e instrucciones de, y para transmitir datos e instrucciones a, un sistema de almacenamiento de datos, al menos un dispositivo de entrada, y al menos un dispositivo de salida. Los dispositivos de almacenamiento adecuados para

incorporar de manera tangible instrucciones y datos de programas de computador incluyen todas las formas de memoria no volátil, incluyendo a modo de ejemplo dispositivos de memoria semiconductores, tales como EPROM, EEPROM y dispositivos de memoria flash; discos magnéticos tales como discos duros internos y discos extraíbles; discos magneto-ópticos; y discos CD-ROM. Cualquiera de los anteriores puede complementarse o incorporarse a ASIC (circuitos integrados específicos de la aplicación).

[00102] La descripción anterior de incorporaciones preferidas y otras no tiene por objeto limitar o restringir el alcance o aplicabilidad de los conceptos inventivos concebidos por los solicitantes. Se apreciará con el beneficio de la presente divulgación que las características descritas anteriormente de acuerdo con cualquier incorporación o aspecto de la materia divulgada se pueden utilizar, solas o en combinación, con cualquier otra característica descrita, en cualquier otra incorporación o aspecto de La materia descrita.

[00103] A cambio de la divulgación de los conceptos inventivos contenidos en el presente documento, los solicitantes desean todos los derechos de patente proporcionados por las reivindicaciones adjuntas. Por lo tanto, se pretende que las reivindicaciones adjuntas incluyan todas las modificaciones y

alteraciones en toda la extensión en que entren dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones o sus equivalentes.