

SISTEMA Y MÉTODO PARA CONTROLAR UNIDADES DE ELEVACIÓN ARTIFICIAL

REFERENCIA CRUZADA A LAS SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud reclama el beneficio de la solicitud provisional de EE. UU. No. 62/931,071
5 presentada el 5 de noviembre de 2019, la cual se incorpora en la presente por referencia en su totalidad.

ANTECEDENTES DE LA DIVULGACIÓN

Muchos pozos de hidrocarburos no pueden producir a niveles comercialmente viables sin ayuda
10 para elevar los fluidos de formación a la superficie de la tierra. Por esta razón, se utilizan varias formas de elevación artificial en los pozos para producir a partir de este tipo de pozos.

Por ejemplo, los sistemas de bombas alternativas, como las unidades de bombas de varillas de bombeo, extraen fluidos de un pozo y emplean una bomba de fondo de pozo conectada a una fuente impulsora en la superficie. Una sarta de varillas conecta la fuerza impulsora de la
15 superficie con la bomba de fondo del pozo. Cuando se opera, la fuente impulsora sube y baja cíclicamente la bomba de fondo de pozo y, con cada carrera, la bomba de fondo de pozo eleva los fluidos del pozo hacia la superficie.

En otro ejemplo, se puede usar una unidad de inyección de gas. En otro ejemplo más, un pozo que produce petróleo, gas y agua puede ser asistido en la producción de fluidos con una bomba
20 de chorro hidráulica. Este tipo de sistema generalmente incluye un sistema de fluidos de potencia de superficie, un motor principal, una bomba de superficie y una bomba de chorro de fondo de pozo. Otro tipo de elevación, el PCP, tiene una unidad de bombeo de superficie conectada a una bomba de fondo de pozo a través de un sistema de varillas que giran las varillas para hacer girar la bomba de fondo de pozo y llevar el fluido a la superficie.

25 Las unidades de elevación artificial en los pozos deben monitorearse y controlarse adecuadamente para cumplir con la condición del pozo dada. El monitoreo y control requiere una serie de cálculos que toman en cuenta las densidades y viscosidades de los fluidos, la presencia de gas y otras condiciones que tienen un efecto sobre las presiones que la unidad de elevación artificial puede encontrar en el fondo del pozo.

30 Por lo general, los programas de software de escritorio se utilizan para instalar y configurar la operación de las unidades de elevación artificial en los pozos para brindar optimización y realizar análisis. Para configurar primero las unidades, un usuario ingresa información sobre la implementación particular en el programa, que luego calcula varios resultados. Esto normalmente se hace en un entorno de oficina. Luego, los resultados se comunican a los
35 operadores en el campo, quienes luego configuran la unidad de elevación artificial para que la unidad pueda comenzar a operar correctamente. Con el tiempo, sin embargo, la eficiencia de

las unidades de elevación artificial disminuye debido a las condiciones cambiantes en el pozo, cambios en el sistema, errores de instalación y similares.

Eventualmente, las unidades de elevación artificial ya no funcionan de manera eficiente y la producción de los pozos disminuye. Las unidades también pueden necesitar reparación,

5 pueden dañarse, pueden fallar o similares. En algún momento, los operadores de campo deben proporcionar información actualizada de las unidades, su operación, producción de pozos, etc. a los operadores de oficina para que la información actualizada se pueda ingresar nuevamente en los programas de software de escritorio y se puedan calcular los resultados de configuración actualizados para la retransmisión al campo. Como era de esperarse, puede haber un retraso
10 considerable en la obtención de información correcta hacia y desde los sitios de los pozos, la ejecución de los programas de software y la devolución de los resultados a los sitios de los pozos para ajustar las unidades. A menudo, hay ruptura en la comunicación. Además, en algunos casos, el software solo se usa durante la configuración inicial, y las unidades de elevación artificial rara vez se optimizan, lo que puede provocar fallas y pérdida de producción.

15 Cuando cae la eficiencia de la producción, los operadores de campo deben ajustar o reparar las unidades de elevación artificial. En algunos casos, es posible que las unidades deban apagarse o configurarse en un modo de mantenimiento para permitir la reparación de las unidades y sus componentes. Antes de que se pueda reanudar la producción a plena capacidad, los componentes de las unidades de elevación artificial pueden retirarse del pozo y
20 es posible que sea necesario reemplazar los componentes dañados con otros componentes. Por lo general, esto implica esperar a que se envíen los componentes de reemplazo, así como a que el equipo de servicio viaje a la ubicación, lo que puede generar un tiempo de inactividad significativo y una pérdida de producción.

Actualmente, el sistema de control existente que monitorea las unidades de elevación artificial
25 en los sitios de los pozos solo puede brindar una indicación de un problema una vez que ha ocurrido. Incluso entonces, es posible que los sistemas de control existentes solo puedan comunicar problemas en los pozos a través de sondeos estándar de los sistemas SCADA. Los datos no se pueden analizar en el lugar y los cambios en la unidad de elevación artificial no se pueden realizar en el sitio del pozo utilizando el control de modelado del pozo sin intervención
30 manual. En cambio, el personal de mantenimiento debe inspeccionar la unidad de elevación artificial una vez que se emite una alarma. Luego, los equipos de ingeniería ejecutan manualmente el modelado del sitio del pozo para determinar qué cambios deben realizarse.

Debido a las limitaciones de los sistemas de control actuales, los cambios automatizados en los controles en el sitio del pozo suelen estar restringidos a actualizaciones diarias previa solicitud.
35 Para problemas más complejos, el análisis y la intervención manuales se realizan desde una ubicación central. En algunos casos, los datos se comunican a intervalos regulares

independientemente de la necesidad de la solicitud. Sin un historial sólido, los datos también pueden perderse durante fallas de comunicación o durante sondeos poco frecuentes por parte de la ubicación central.

5 Lo que se necesita es un sistema de control que ayude a configurar, operar y optimizar unidades de elevación artificial en tiempo real. Con ese objetivo, 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.

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.

10

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

De acuerdo con la presente divulgación, un método está dirigido a controlar una pluralidad de unidades de elevación artificial en una pluralidad de pozos. Las unidades de elevación artificial tienen controladores instalados, equipos de detección instalados y sistemas de comunicación
15 instalados. El método comprende: interconectar el equipo de procesamiento distribuido con los controladores instalados y los sistemas de comunicación instalados en la pluralidad de los sitios de los pozos; conectar el equipo de procesamiento distribuido en una o más redes; obtener, en el equipo de procesamiento distribuido, parámetros operativos de cada una de las unidades de elevación artificial a partir del equipo de detección instalado en los pozos en tiempo real;
20 analizar, con funciones de modelado del equipo de procesamiento distribuido, tendencias de los parámetros operativos de las unidades de elevación artificial; predecir, con aprendizaje automático automatizado del equipo de procesamiento distribuido, las condiciones de las unidades de elevación artificial en función de las tendencias analizadas; determinar, con el equipo de procesamiento, controles automatizados para las condiciones determinadas de la al
25 menos una unidad de elevación artificial; y contrarrestar las condiciones determinadas configurando instrucciones para implementar los controles automatizados y comunicando las instrucciones configuradas desde el equipo de procesamiento distribuido a los controladores instalados.

De acuerdo con la presente divulgación, un dispositivo de control programable está dirigido a
30 controlar una pluralidad de unidades de elevación artificial en una pluralidad de pozos. Las unidades de elevación artificial tienen controladores instalados, equipos de detección instalados y sistemas de comunicación instalados. El dispositivo de almacenamiento programable tiene instrucciones de programa almacenadas en el mismo para ocasionar que el equipo de procesamiento distribuido: cree la interfaz del equipo de procesamiento distribuido con los
35 controladores instalados y los sistemas de comunicación instalados en la pluralidad de los sitios de los pozos; conecte el equipo de procesamiento distribuido en una o más redes; obtener, en

el equipo de procesamiento distribuido, parámetros operativos de cada una de las unidades de elevación artificial a partir del equipo de detección instalado en los pozos en tiempo real; analice, con funciones de modelado del equipo de procesamiento distribuido, tendencias de los parámetros operativos de las unidades de elevación artificial; prediga, con aprendizaje automático automatizado del equipo de procesamiento distribuido, las condiciones de las unidades de elevación artificial en función de las tendencias analizadas; determine, con el equipo de procesamiento, controles automatizados para las condiciones determinadas de la al menos una unidad de elevación artificial; configure instrucciones para implementar los controles automatizados y comunique las instrucciones configuradas desde el equipo de procesamiento distribuido a los controladores instalados para contrarrestar las condiciones determinadas.

De acuerdo con la presente divulgación, un sistema está dirigido a controlar una pluralidad de unidades de elevación artificial en una pluralidad de pozos. Las unidades de elevación artificial tienen controladores instalados, equipos de detección instalados y sistemas de comunicación instalados. El sistema comprende: equipos de comunicación y equipos de procesamiento distribuido. El equipo de comunicación tiene interfaces de red en comunicación con una o más redes y tiene interfaces locales en comunicación con los sistemas de comunicación instalados. El equipo de procesamiento distribuido está en comunicación con el equipo de comunicación, y el equipo de procesamiento distribuido está instalado en la pluralidad de pozos para las unidades de elevación artificial. El equipo de procesamiento distribuido está configurado para obtener los parámetros operativos de cada una de las unidades de elevación artificial a partir del equipo de detección instalado en los pozos en tiempo real; analizar, con funciones de modelado del equipo de procesamiento distribuido, tendencias de los parámetros operativos de las unidades de elevación artificial; predecir, con aprendizaje automático automatizado del equipo de procesamiento distribuido, las condiciones de las unidades de elevación artificial en función de las tendencias analizadas; determinar los controles automatizados para las condiciones determinadas de la al menos una unidad de elevación artificial; configurar instrucciones para implementar los controles automatizados y comunicar las instrucciones configuradas desde el equipo de procesamiento distribuido a los controladores instalados para contrarrestar las condiciones determinadas.

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.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 ilustra un sistema de control de acuerdo con la presente divulgación para monitorear y controlar varios sistemas de elevación artificial.

La figura 2 ilustra el sistema de control de la presente descripción con más detalle.

La figura 3 ilustra un diagrama de una aplicación de control del sistema descrito.

La figura 4 ilustra un dispositivo de control utilizado en el sistema descrito.

La figura 5 ilustra una configuración del dispositivo de control conectado con un controlador local compatible con el sistema descrito.

- 5 La figura 6 ilustra otra configuración del dispositivo de control conectado con un controlador local retroajustado con el sistema descrito.

La figura 7 ilustra el dispositivo de control en una configuración para comunicarse con el sistema descrito.

La figura 8 ilustra una parte del sistema de control con algunas conexiones de comunicación.

- 10 La figura 9 ilustra un ejemplo de un sistema de bomba de varilla alternativa.

La figura 10A ilustra una vista en perspectiva de una unidad de bombeo que tiene un conjunto de equilibrio de contrapeso de acuerdo con la presente descripción.

La figura 10B ilustra un diagrama esquemático de un controlador y un dispositivo de control para la unidad de bombeo de la figura 10A.

- 15 La figura 11A ilustra la integración de un dispositivo de control con un sistema de bomba alternativa que tiene un controlador configurado.

La figura 11B ilustra la integración de un dispositivo de control con un sistema de elevación de sarta alternativa que tiene un controlador existente.

- 20 La figura 12A ilustra una culminación configurada para elevación artificial utilizando un sistema de bomba de chorro hidráulico de acuerdo con la presente descripción.

La figura 12B ilustra el conjunto de fondo de pozo que tiene una bomba de chorro de fondo de pozo.

La figura 12C ilustra algunos de los equipos de superficie del sistema de bomba de chorro en relación con la bomba de chorro de fondo de pozo.

- 25 La figura 13 ilustra un esquema de un controlador de bomba de chorro de la presente divulgación.

La figura 14 ilustra un proceso de control de una unidad de inyección de gas de acuerdo con la presente divulgación.

- 30 La figura 15 ilustra un dispositivo de control en una configuración para intermediar comunicaciones para el sistema descrito.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

A. Sistema de control

- 35 Con referencia a la figura 1, un sistema de control 50 monitorea y controla varias unidades de elevación artificial 100 en varios lugares para mejorar las operaciones de las diversas unidades 100. Como se apreciará, las unidades de elevación artificial 100 instaladas en diferentes pozos

pueden tener diferentes capacidades, requisitos operativos, programas de mantenimiento, períodos de vida, etc. De hecho, el sistema de control 50 puede monitorear y controlar varios tipos de unidades de elevación artificial 100, incluida la bomba de chorro hidráulico (HJP), elevación por gas (GL), elevación por émbolo (PL), elevación por émbolo asistido por gas (GA-PL), bomba de varilla alternativa (RRP), bomba de pistón hidráulica (HPP), bomba de cavidad progresiva (PCP), bomba sumergible electrónica (ESP), etc. Además, las unidades de elevación artificial 100 pueden ser reparadas por diferentes técnicos 30 y pueden ser operadas por diferentes operadores 32.

El sistema de control 50 proporciona una plataforma automatizada que supervisa y controla una serie de "condiciones" atípicas, no óptimas o perjudiciales que afectan a las unidades 100. Estas condiciones pueden incluir ineficiencias, baja producción, daños, alarmas, alertas, desequilibrio, bombeo excesivo, bombeo insuficiente, inyección excesiva, inyección insuficiente, etc., como se analiza con más detalle en este documento. El sistema de control 50 ayuda a lidiar con todas las diferencias entre los tipos de unidades 100, técnicos 30, operadores 32, condiciones y similares al integrar la detección, monitoreo y control de las unidades de elevación artificial 100 en la plataforma automatizada de ese sistema. Para ello, el sistema de control 50 incluye dispositivos de control 60 integrados en todo el sistema 50.

En general, algunos dispositivos de control 60 se instalan en el campo en los pozos, mientras que algunos dispositivos de control 60 se instalan de forma remota en ubicaciones de procesamiento central o a través de una plataforma informática en la nube. Cada uno de los dispositivos de control 60 en el campo generalmente incluye una entrada de energía, una unidad de procesamiento, memoria, puertos de comunicación y otros componentes electrónicos en una carcasa ambiental. Las comunicaciones alámbricas e inalámbricas pueden estar disponibles. De esta forma, el dispositivo de control 60 en el campo se puede instalar como un dispositivo de automatización independiente o como una adición al equipo existente.

Cada uno de los dispositivos de control 60 tiene componentes de comunicación 62 para comunicar información (señales, medidas, controles, pantallas de interfaz de usuario, gráficos, etc.) localmente a los usuarios y remotamente a través de una o más redes de comunicación 52, que pueden ser por cable, inalámbricas, satelitales, celular u otra forma de red. Las comunicaciones de los dispositivos de control 60 pueden ser entre dispositivos 60 y con usuarios 30, 32, controladores 70 y 72, unidades de control portátiles 80 y otros componentes descritos aquí.

La información comunicada se puede compartir entre los elementos del sistema de control 50. Por ejemplo, la información comunicada puede comunicarse directamente con los técnicos 30 y los operadores 32 o comunicarse con otros dispositivos de control 60 para el acceso de los técnicos 30 y los operadores 32. Por ejemplo, una unidad de elevación artificial 100 que tiene

un controlador 70 instalado puede comunicarse directamente con los técnicos 30 y los operadores 32, puede comunicarse con el dispositivo de control 60, puede comunicarse con un dispositivo de control 60 de otra unidad de bombeo 100 y/o puede comunicarse con un dispositivo de control 60 designado para múltiples unidades 100. Como se apreciará, se pueden utilizar estos y cualquier número de arreglos de comunicación posibles.

El dispositivo de control 60 proporciona control en tiempo real para las unidades de elevación artificial 100. Por ejemplo, utilizando datos en tiempo real, el dispositivo de control 60 puede controlar cada carrera o ciclo de inyección de la unidad de elevación artificial 100. Los controles están automatizados con algoritmos preestablecidos, que pueden mejorar la producción, aumentar la eficiencia e identificar problemas. A través de la supervisión y el control, por ejemplo, el sistema de control 50 puede reducir el sobre bombeo y el bombeo insuficiente en las unidades 100 de elevación artificial por varilla y puede reducir la inyección excesiva o insuficiente en las unidades 100 de elevación artificial por gas.

Un tipo de unidad de elevación artificial 100A como se muestra en la figura 1 tiene un dispositivo de control 60 y un controlador 70 para supervisar el funcionamiento de la unidad de elevación artificial 100A. Algunos de los controles operativos proporcionados por el controlador 70 pueden incluir instrucciones operativas típicas, medidas y otros detalles relacionados con el funcionamiento común de la unidad de elevación artificial 100A. Sin embargo, de acuerdo con la presente divulgación, el dispositivo de control 60 incluye además características que permiten que la unidad de elevación artificial 100A sea monitoreada y controlada por el sistema de control 50 para condiciones que permitan tomar medidas proactivas y automatizadas para optimizar la unidad de elevación artificial 100A, para alterar el funcionamiento de la unidad para dar cuenta de la condición al menos temporalmente, para alertar de la condición a los técnicos 30 y operadores 32, y para realizar otras funciones como se describe en este documento. El dispositivo de control 60 puede usar su equipo de comunicación 62 para comunicar la condición monitoreada y puede recibir instrucciones remota o localmente para manejar la condición.

Los sensores del controlador 70 pueden instalarse permanentemente en la unidad de elevación artificial 100. Los datos del sensor son recopilados periódicamente por el dispositivo de control 60 para almacenamiento a largo plazo. El dispositivo de control 60 se puede usar para administrar los cálculos automáticamente y para proporcionar una indicación remota de las condiciones monitoreadas. Los usuarios (es decir, los técnicos 30 y los operadores 32) pueden usar un dispositivo móvil en el campo o pueden usar dispositivos remotos para conectarse al dispositivo de control 60. Los usuarios pueden descargar el historial de datos y realizar otras funciones. El dispositivo de control 60 puede conectarse a la red 52 (es decir, la nube) directamente para el acceso de los usuarios, para cargar el historial en una aplicación web, etc. Los datos cargados pueden usarse además para análisis de datos avanzados.

Como otro ejemplo, una unidad de elevación artificial 100B como se muestra en la figura 1 puede ser una unidad de bomba de varilla alternativa que tiene un dispositivo de control 60 y un controlador 70 para monitorear el funcionamiento de la unidad de elevación artificial 100B. El dispositivo de control 60 puede ser parte o puede interactuar con el controlador 70 de la unidad de elevación artificial 100.

En otro ejemplo más, una unidad de elevación artificial 100C puede tener un controlador 70 configurado para monitorear el funcionamiento de la unidad 100C. Aunque la unidad 100C puede tener un controlador configurado para una operación típica y un control automatizado como se describe en este documento, la unidad 100C puede no incluir un dispositivo de control 60 que incluya características específicas que permitan monitorear y controlar la unidad 100C para ciertas condiciones para que los pasos proactivos puedan ser tomadas para optimizar la unidad 100C, para alterar su operación para tener en cuenta la condición al menos temporalmente, etc. En cambio, el controlador 70 puede usar su equipo de comunicación 74 para comunicar las condiciones monitoreadas y puede recibir instrucciones remota o localmente desde un dispositivo de control 60 en la red 52.

Otra unidad de elevación artificial 100D más puede tener un controlador 72 para su funcionamiento típico. Sin embargo, la unidad 100D puede no incluir un dispositivo de control 60 y el controlador 72 puede no estar preconfigurado para el control automatizado. En su lugar, se puede usar un dispositivo de control 80 en la unidad 100D. La unidad de control 80 incluye características para comunicarse con un dispositivo de control 60 para monitorear y controlar las condiciones, de modo que se puedan tomar medidas proactivas para optimizar la unidad 100C, para alterar su funcionamiento para tener en cuenta la condición al menos temporalmente, etc. La unidad de control 80 puede utilizar su equipo de comunicación 82 para enviar información y recibir instrucciones de forma remota o local.

Para una unidad de elevación artificial de gas 100A como la que se muestra aquí, el dispositivo de control 60 puede proporcionar registro y almacenamiento de datos de alta frecuencia y alertas inteligentes instantáneas a través del protocolo MQTT. El dispositivo de control 60 puede detectar golpes, puede enviar alertas inteligentes y controlar de forma autónoma las tasas de inyección de gas.

Para las unidades de elevación de varillas 100B, 100D, como las que se muestran aquí en la figura 1, el dispositivo de control 60 puede detectar diversas condiciones, como problemas de equilibrio, etiquetado, torsión de la caja de engranajes, cargas altas/bajas, tensión alta de la varilla, fricción excesiva y problemas de válvulas de fondo de pozo. El dispositivo de control 60 minimiza la necesidad de intervención manual al detectar violaciones de carga y recibir notificaciones en cualquier dispositivo. La unidad de elevación 100 puede ser apagada por el dispositivo de control 60 con base en un evento o alarma detectados.

El dispositivo de control 60 puede proporcionar registro y almacenamiento de datos de alta frecuencia y puede enviar alertas inteligentes instantáneas a través del protocolo MQTT. El dispositivo de control 60 puede controlar de manera autónoma el tiempo de inactividad, detectar condiciones fuera de balance, identificar cargas mínimas/máximas y tensión de barra, monitorear el intervalo de carga, reconocer la tarjeta de bomba en tiempo real, calcular el cálculo de PIP y calcular la tarjeta de bomba de fondo de pozo.

Aunque se muestran cuatro tipos de unidades de elevación artificial 100A-D, se apreciará que una determinada unidad de elevación artificial 100 como parte del sistema 50 descrito puede tener otras configuraciones de los componentes destacados descritos en este documento con capacidades manuales y más o menos autónomas.

Durante el funcionamiento, una de las unidades de elevación artificial 100A-100D puede desarrollar una cierta condición de monitoreo que requiera un control automatizado. Solo como ejemplo, algunas condiciones monitoreadas adecuadas para el control automatizado de una unidad de bombeo de varilla incluyen desequilibrio, marcado, bajo bombeo, sobre bombeo y otras como se divulga en la presente. Algunas condiciones monitoreadas adecuadas para el control automatizado de una unidad de elevación de gas incluyen baja inyección, sobre inyección y otras como se divulga en la presente.

Dependiendo de la configuración de la unidad 100A-100D, la condición monitoreada se puede comunicar de forma remota para su manejo o se puede manejar localmente. Por ejemplo, algunas de las unidades de elevación artificial 100A-B que tienen dispositivos de control 60 pueden determinar y manejar la condición por sí mismas. La condición monitoreada también se puede comunicar a los técnicos 30, operadores 32, otros dispositivos de control 60, otras unidades 100, etc. En algunas circunstancias, otras unidades 100C-100D solo pueden determinar y comunicar la condición monitoreada para que la maneje un dispositivo de control 60 en la red 52. Los controles automatizados se pueden comunicar de nuevo a la unidad 100C para que los implemente el controlador 70 correctamente configurado.

De cualquier manera, los técnicos y operadores 30 y 32 pueden ser informados de la condición monitoreada a través del sistema de control 50. Idealmente, la unidad de elevación artificial 100A-100D se puede controlar automáticamente para corregir la condición monitoreada. En una unidad de bomba alternativa 100B, por ejemplo, las condiciones de bombeo excesivo o insuficiente pueden corregirse mediante un control automatizado de un accionamiento de velocidad variable de la unidad 100B. Si la unidad 100B incluyera un controlador de frecuencia variable, como un Weatherford VFD, para proporcionar un control de velocidad continuamente variable, el dispositivo de control 60 puede acceder automáticamente a un patrón de velocidad apropiado para asegurar la operación anterior.

Si el control automatizado no es posible para la condición particular, la unidad 100A-100D

preferiblemente se repara rápidamente de forma manual para corregir la condición. En una unidad de bomba alternativa 100B, por ejemplo, puede ser necesario reubicar los contrapesos de la unidad 100B para mantener el equilibrio. Usualmente, los operadores 30 pueden ser notificados de que la unidad 100B está desequilibrada pero los técnicos 32 no pueden reparar la unidad 100B en ese momento sino hasta un período prolongado de tiempo después. Los controles automatizados pueden implementarse temporalmente en la unidad 100B como una corrección correctiva hasta que la unidad 100B pueda repararse manualmente. Por ejemplo, el dispositivo de control 60 puede establecer automáticamente una velocidad de bombeo para garantizar que la caja de engranajes no se sobrecargue y que se pueda minimizar la pérdida de producción debido a la condición de desequilibrio.

El sistema de control 50 permite tratar el estado de la unidad de elevación artificial 100A-100D cuando se produce cualquiera de varias situaciones. En una opción, el sistema de control 50 optimiza la unidad dada 100A-100D monitoreando parámetros, realizando cálculos, determinando condiciones perjudiciales y proporcionando salida para el control automatizado de la unidad 100A-100D. En otra opción, el sistema de control 50 permite que la unidad de elevación artificial dada 100A-100D continúe operando con operaciones menos que optimizadas al monitorear parámetros, realizar cálculos y proporcionar salida para modificar las condiciones de operación de la unidad 100A-100C para mantener la seguridad y minimizar pérdidas de producción hasta que se puedan hacer reparaciones o cambios manuales.

Como puede verse, el sistema de control 50 combina el software analítico con el hardware en los pozos que tienen las unidades de elevación artificial 100. Usando funciones de modelado, el sistema de control 50 puede notificar inmediatamente al personal (operadores 30, técnicos 32, etc.) de cambios en el sitio del pozo y puede analizar los datos para proporcionar alarmas y controles automatizados sin necesidad de intervención manual.

El sistema de control 50 automatiza las actividades del pozo utilizando software en lugar de solo hardware. En consecuencia, el sistema de control 50 reduce los costes de mantenimiento con análisis predictivos. A medida que los pozos producen, por ejemplo, el sistema de control 50 predice y detecta problemas con anticipación para que los operadores 30 puedan planificar de manera proactiva el mantenimiento, enviar personal, extender la vida útil del equipo y reducir la frecuencia de fallas. Al tener dispositivos de control 60 instalados en los pozos o disponibles a través de las comunicaciones de la red, el sistema de control 50 reduce los costos de mantenimiento utilizando análisis predictivos e inteligencia artificial para extender el tiempo medio entre fallas (MTBF) y reducir el tiempo de inactividad y minimizar la producción diferida. Teniendo una visión general del sistema de control 50 divulgado, la figura 2 ilustra el sistema de control 50 de la presente divulgación en mayor detalle. Como ya se ha descrito anteriormente, el sistema de control 50 tiene un sistema informático desplegado en una serie

de ubicaciones en una disposición de red. La computación del sistema se puede implementar en nuevas instalaciones, en unidades terminales remotas, controladores 70, en una ubicación central 54, en una instalación, en una plataforma de pozo 56 o en la nube 52. En particular, el sistema de control 50 incluye dispositivos de control 60a-60d dispuestos por toda la disposición de la red. Dependiendo de sus necesidades de procesamiento, el dispositivo de control 60a-60e puede ser un sistema de servidor para manejar el monitoreo y control de varias unidades de elevación artificial 100 o puede ser una computadora para manejar el monitoreo y control de una unidad específica 100.

Por ejemplo, un dispositivo de control 60a en forma de un sistema de servidor o similar puede estar disponible en una plataforma de cómputo de nube 52 de una red. Por su parte, la plataforma en la nube 52 puede ser proporcionada por una plataforma de servicios, como Microsoft Azure, Google Cloud Platform (GCP), Amazon Web Services (AWS), HiveMQ, y similares.

Un dispositivo de control 60b puede estar disponible en una ubicación central 54, como una instalación de servicio. Un dispositivo de control 60c puede estar disponible directamente en una unidad de elevación artificial 100b que tiene un controlador configurado 70, y un dispositivo de control 60d puede estar en comunicación con las unidades 100a. Además, un dispositivo de control 60e puede estar en una plataforma multipozo 56 que tenga unidades terminales remotas 76 y controladores 72 para las unidades 100. Como se apreciará, dichas unidades terminales remotas (RTU) son dispositivos electrónicos que tienen microprocesadores que pueden interactuar con componentes en el sitio del pozo usando un protocolo de telemetría, como un sistema SCADA (control de supervisión y adquisición de datos) o similar. Sin embargo, a diferencia de los sistemas SCADA tradicionales con almacenamiento de datos limitado y sondeo de datos programado, los dispositivos de control 60 del sistema 50 revelado almacenan datos de alta frecuencia en el sitio del pozo y transmiten datos en tiempo real al sistema SCADA de la oficina administrativa del operador en un centro de datos 40 y/o transmitir en tiempo real a la plataforma basada en la nube 52.

El dispositivo de control 60 puede tener diferentes configuraciones de hardware, incluida una primera configuración para usar junto con un controlador de sitio de pozo existente 72 y una segunda configuración que tiene un controlador 70 y software configurados. De cualquier manera, el sistema de control 50 se integra con los controladores preconfigurados 70 o se actualiza con los controladores existentes en el sitio 72.

A diferencia de los sistemas SCADA tradicionales con almacenamiento de datos limitado y extracciones de datos esporádicas, el sistema de control 50 puede almacenar datos ilimitados en la plataforma de nube 52 y enviarlos a los operadores 32 en tiempo real. El sistema de control 50 aprende de este flujo constante de datos sin programación para optimizar los parámetros de

las unidades de elevación artificial 100 (por ejemplo, para optimizar la carrera y el llenado de la bomba para una unidad de elevación de varillas). El sistema de control 50 solo puede enviar alertas cuando sea necesario. Preferiblemente, el sistema de control 50 usa el protocolo MQTT para la transferencia de datos de gran ancho de banda.

- 5 Las comunicaciones en el sistema de control 50 pueden ser a través de comunicación por cable, comunicación inalámbrica, señal de radio, celular, satélite, protocolo de Internet, etc. Los centros de datos del cliente 40 pueden conectarse al sistema de control 50 a través de la nube 52. Un dispositivo de control dedicado 60c en una unidad de elevación artificial 100b puede comunicarse con la nube 52 para el acceso de los centros de datos del cliente 40 y la ubicación
- 10 central 54. El dispositivo de control dedicado 60c también puede comunicarse con la ubicación central 54 o la instalación 54 mediante comunicación por cable o inalámbrica.

- El dispositivo de control 60b en la ubicación central 54 puede comunicarse con la nube 52. Para aquellas unidades 100a que carecen de un dispositivo de control 60, el controlador 72 de la unidad 100a puede comunicarse con el dispositivo de control 60b en la ubicación central 54,
- 15 con el dispositivo de control 60b en el rango de comunicación, etc. dispositivo de control local 60e que puede comunicarse con el dispositivo de control remoto 60b de la ubicación central 54. Estas y otras disposiciones del sistema informático y de comunicaciones en red pueden usarse en el sistema de control 50 divulgado.

B. Dispositivo de control y aplicación de control

- 20 La figura 3 ilustra un diagrama de una aplicación de sistema 200 del sistema descrito. La aplicación del sistema 200 se ejecuta en el hardware del sistema 202, que incluye uno o más de un servidor, un dispositivo de control, una unidad terminal remota, una computadora, una computadora portátil, un dispositivo móvil, un controlador y similares, como se describe aquí, dependiendo de la instalación. Como se apreciará, pero no necesariamente se mostrará, el
- 25 hardware del sistema 202 incluye una unidad de procesamiento central, interfaces de entrada-salida, interfaces de comunicación, memoria y otros componentes necesarios.

- La aplicación del sistema 200 incluye una aplicación en tiempo real 210 y una aplicación de control 220. La aplicación en tiempo real 210 es una aplicación existente adecuada para el monitoreo y la operación de una unidad de elevación artificial, como una unidad de elevación
- 30 de varilla alternativa (RRL), un sistema de deliquificación (DLQ), una unidad de elevación de émbolo, una unidad de elevación artificial por gas, etc. La aplicación en tiempo real 210 tiene un diseño de componentes, incluidos los controladores específicos de la placa, una capa de interfaz de entrada-salida, aplicaciones centrales, un sistema de archivos flash, una base de datos y módulos de elevación artificial. La aplicación en tiempo real 210 está conectada a varios
- 35 módulos de salida de entrada (por ejemplo, MIM) para la comunicación con sensores y similares. Aquí, uno de los módulos de elevación artificial incluye un módulo de controlador de bomba

alternativa (RPC) que tiene un administrador de bomba, un variador de velocidad, producción de fluidos, almacenamiento de gráficos y otros elementos funcionales. Otro de los módulos de elevación artificial incluye un módulo de deliquificación (DLQ) que tiene un MWGL, ProControl y otros elementos funcionales. Los módulos de elevación artificial adicionales
 5 pueden incluir aquellos para bomba de cavidad progresiva (PCP), tecnología de control de flujo (FCT), computadora de petróleo neto (NOC), unidad terminal remota (RTU), etc.

Como se describe aquí, las funciones de la aplicación de control 220 pueden estar disponibles en la nube 52 o en el dispositivo de control 60, de acuerdo con corresponda. La aplicación de control 220 incluye un módulo de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) 230,
 10 un módulo de modelado de análisis 240, una interfaz de nube 250 y un módulo de análisis 260. Las comunicaciones entre procesos (IPC) se proporcionan entre las aplicaciones 210 y 220.

El módulo SCADA 230 se puede basar en la plataforma CYGNET™ SCADA que recopila y gestiona diversos datos. CYGNET es una marca comercial de Weatherford Technology Holdings, LLC.) El módulo SCADA 230 permite que la aplicación de control 220 se comunique
 15 directamente con los controladores 70 de las unidades de elevación artificial. El módulo SCADA 230 incluye funcionalidad de sondeo, funcionalidad de comunicación (TCP/Serial/...) y funcionalidad de historial para almacenar datos. El módulo SCADA 230 se conecta a través de la interfaz de nube 250 a los servicios de nube 52.

El módulo de modelado de análisis 240 incluye un servicio de módulo, un servicio de catálogo,
 20 un servicio de token de seguridad, una interfaz de modelado y análisis de pozos y una base de datos. La interfaz de análisis y modelado de pozos proporciona funciones de modelado (por ejemplo, algoritmos para análisis, ajuste y garantía de flujo para la unidad de elevación artificial). El módulo de modelado de análisis 240 puede detectar y generar alarmas con base en las condiciones monitoreadas. Las alarmas para el elevación alternativa de las varillas pueden
 25 incluir alarmas relacionadas con el torque de la caja de engranajes, la tensión de la varillas, el golpeteo de la varilla, el golpeteo de producción y el problema de la válvula de fondo de pozo. Las alarmas para elevación artificial por gas pueden incluir inyección multipunto, inyección superficial, etc.

El módulo de análisis 260 realiza una serie de funciones analíticas, incluida la predicción de
 30 fallas de pozos y equipos, recopilación de datos, entrenamiento de modelos en la nube (52), calificación del tiempo de ejecución en la nube (52), etc. El módulo de análisis 260 se comunica con el análisis: módulo de modelado 240 a través de una interfaz de programa de aplicación (API) 262 de transferencia de estado representativo (REST). Para realizar el análisis, los datos pasan a través de los scripts de preparación de datos de Python 264 y los datos limpios se
 35 almacenan en un área de preparación 266. Utilizando Java Jobs 267, se almacenan los datos preparados y los datos de resultados. Estos datos preparados se introducen en el código de

tiempo de ejecución (puntuación) 272 de los modelos de aprendizaje automático 270, y se devuelven los resultados. Una plataforma de ejemplo para los modelos de aprendizaje automático 270 incluye TENSORFLOW™, que proporciona una plataforma de código abierto de extremo a extremo para el aprendizaje automático. (TENSORFLOW es una marca comercial de Google LLC). Otras plataformas de aprendizaje automático pueden automatizarse de acuerdo con la presente divulgación para predecir las condiciones de las unidades de elevación artificial en función de las tendencias analizadas. La orquestación 280 para construir tuberías de datos de trabajos por lotes se proporciona para el módulo de análisis 260 mediante un sistema de gestión de flujo de trabajo, que puede basarse en motores de flujo de trabajo Luigi o Airflow.

El mantenimiento se puede planificar usando las características predictivas de la aplicación de control 220. El análisis del sitio de pozo con interfaz de controlador directo usando SCADA permite que la aplicación de control 220 actualice los puntos de ajuste y controle el controlador de la unidad 70, 72. Al analizar los datos actuales, la aplicación de control 220 puede monitorear y puede dar una notificación inmediata de alarmas inteligentes, cambios de estado y similares. Los modelos basados en la física en las funciones de modelado se pueden crear en la aplicación de control 220 en el lugar para mejorar/optimizar el control autónomo. Supervisando y analizando los datos actuales en el controlador 70, 72 del sitio del pozo, la aplicación 220 de control publica la base de datos sobre las características de los datos. Las notificaciones pueden ser predictivas en lugar de solo reactivas.

La aplicación del sistema 200 en el dispositivo de control 60 está equipada para ejecutar modelos de ingeniería en tiempo real. Los modelos de ingeniería en las funciones de modelado se configuran manualmente para proporcionar una representación digital de las características del pozo, como equipo, profundidad, desviaciones, características del yacimiento, etc. La aplicación del sistema 200 recopila datos del sensor automáticamente en tiempo real y ejecuta los modelos de ingeniería para producir los resultados designados. Estos resultados son utilizados por la aplicación del sistema 200 para determinar y realizar cambios en los parámetros operativos del pozo con el fin de lograr la optimización.

Para las unidades 100 de elevadores de varilla, la aplicación 200 del sistema recopila, analiza y agrega a la historia automáticamente cada tarjeta en el lugar. La aplicación de sistema 200 usa análisis Everitt-Jennings modificado y usa reconocimiento y comparación de patrones automáticos para detectar anomalías en tarjetas dinamométricas. La aplicación del sistema 200 detecta las condiciones cambiantes del pozo basándose en los resultados del análisis, la forma de la tarjeta y los datos de tendencia, etc. Los puntos de referencia se pueden cambiar en la tarjeta del dinamómetro. La aplicación del sistema 200 puede realizar un control autónomo, tal como ajustar automáticamente el tiempo de inactividad para maximizar las eficiencias del pozo.

La aplicación del sistema 200 puede realizar análisis de fondo de pozo para controladores heredados, existentes o instalados 72, puede inferir valores de producción y realizar cálculos de presión de entrada de bomba (PIP).

El monitoreo automatizado para la unidad de elevación de varillas 100 puede implicar el registro de datos de alta frecuencia y la notificación de alarma instantánea a través de MQTT para las alarmas del controlador. Los elementos que pueden monitorearse y controlarse incluyen el tiempo de inactividad, las cargas estructurales mínimas y máximas, la extensión de la carga, el etiquetado inferior/superior, la carga de la caja de engranajes, la condición de desequilibrio, la tensión alta de la varilla, el problema de la válvula de la bomba de fondo de pozo, la fricción excesiva, el llenado de la bomba, presión de entrada de la bomba, golpes de apagado de la bomba, desviación de la celda de carga, parte superior del golpe del sensor de posición (TOS), error de producción inferido y otros. Para aquellas unidades de elevación de varillas que tienen un accionamiento de velocidad variable, los elementos de monitoreo y control pueden incluir además el control de entrada de gas, carreras mínimas/máximas por minuto (SPM), velocidad delta y punto de ajuste óptimo de llenado de la bomba.

Para las unidades de elevación artificial por gas 100, la aplicación del sistema 200 puede monitorear y controlar múltiples pozos, puede realizar la validación de pruebas de pozos y puede ajustar modelos automáticos para aumentar la precisión del modelo. La aplicación 200 puede generar alertas con base en el análisis nodal y datos de tendencia para alertar al usuario de condiciones cambiantes. La producción inferida se puede calcular diariamente utilizando un modelo de pozo sintonizado y las condiciones operativas actuales. La aplicación del sistema 200 puede identificar oportunidades de elevación utilizando las siguientes herramientas de análisis de pozos con base en datos de pruebas de pozos o condiciones operativas diarias. La aplicación del sistema 200 puede realizar un control autónomo, tal como ajustar automáticamente el gas de inyección para maximizar la producción.

Para las unidades de elevación artificial por gas, los elementos para el monitoreo pueden incluir registro y disponibilidad de datos de alta frecuencia, notificaciones de alarma instantáneas a través de MQTT para las alarmas del controlador y alertas inteligentes para determinar cuándo un pozo de elevación artificial por gas o de flujo natural se está estancando. Se puede proporcionar un control autónomo de la tasa de inyección de gas basado en cálculos de análisis nodal (con datos de tasa real).

C. Conectividad de dispositivos de control

La figura 4 ilustra un dispositivo de control 60 utilizado en el sistema descrito 50 conectado a otras unidades terminales remotas 72 que tienen sensores 76 y conectado a través de la nube 62 a un centro de datos 40. El dispositivo de control 60 incluye un módulo SCADA 63 y un procesador 61. El módulo SCADA 63 se comunica con las unidades terminales remotas 72 de

las unidades de elevación artificial que tienen sus sensores conectados 76. El procesador 61 se comunica con el centro de datos 40 a través de la nube 52.

Por su parte, el centro de datos 40 incluye un proxy de nube SCADA 42 que se comunica con la nube 52. Un módulo SCADA 43 permite que los usuarios de una aplicación de sistema 44 se comuniquen con el dispositivo de control 60. Otros consumidores de datos 46 pueden recibir información del dispositivo de control 60 a través del proxy de nube SCADA 42.

La figura 5 ilustra una configuración de un dispositivo de control 60 conectado con una unidad artificial 70 compatible con el sistema descrito. El dispositivo de control 60 tiene una aplicación de control 200 que tiene un módulo de análisis 260, un módulo de modelado de análisis 240 y un módulo SCADA 230, que puede ejecutarse en un núcleo de Linux u otra plataforma. Cada uno de los módulos 230, 240 y 260 puede comunicarse con el servicio de nube 52 y puede comunicarse entre sí. El módulo SCADA 230 se utiliza para comunicarse con el controlador local 70, que es compatible con el dispositivo de control configurado 60.

La figura 6 ilustra otra configuración de un dispositivo de control 60 conectado con un controlador local 72 retroajustado al sistema descrito. Como anteriormente, el dispositivo de control 60 tiene una aplicación de control 220 que tiene un módulo de análisis 260, un módulo de modelado de análisis 240 y un módulo SCADA 230, que puede ejecutarse en un núcleo de Linux u otra plataforma. Cada uno de los módulos 230, 240 y 260 puede comunicarse con el servicio de nube 52 y puede comunicarse entre sí. El módulo SCADA 230 se usa para comunicarse con un controlador local 72 existente. Aquí, el módulo SCADA 230 se comunica con la aplicación de control en tiempo real 210 de la unidad que se ejecuta en un núcleo Linux separado. El dispositivo de control 60 incluye comunicación con un módulo de entrada/salida 73 para los sensores locales 74 de la unidad de elevación artificial.

D. DISPOSITIVO DE CONTROL

Con una comprensión del software de un dispositivo de control y algunas de las comunicaciones, la figura 7 ilustra un dispositivo de control 60 en una configuración para comunicarse con el sistema descrito. El dispositivo de control 60 incluye una serie de componentes de comunicación que incluyen puertos serie 62a, puertos Ethernet 62b y módulos inalámbricos 62d-62e. Los módulos inalámbricos pueden incluir un módulo inalámbrico BLUETOOTH® o WIFI 62e y un módulo celular o de comunicación de banda ancha inalámbrico interno. (BLUETOOTH es una marca registrada de BLUETOOTH SIG, INC.)

Un puerto serie 62a puede conectarse a una radio en serie 73 existente en el sitio del pozo. Otro puerto serie 62a se conecta con la unidad terminal remota 72 de la unidad artificial en el sitio del pozo.

Para comunicaciones remotas, un puerto Ethernet 62b puede conectarse a una radio celular externa o módem LTE 62c, que puede comunicarse con Internet pública o una red interna

privada 52. Como se indica aquí, las entidades típicas que pueden acceder a la red 52 incluyen el centro de datos, los usuarios comerciales, etc. Alternativamente, el dispositivo de control 60 puede tener el módulo celular interno 62d y la antena para comunicarse con la red 52.

Los usuarios locales en el sitio del pozo pueden usar un dispositivo portátil 80 (por ejemplo, una computadora portátil, un teléfono inteligente, etc.), que puede conectarse al dispositivo de control 60 a través de una conexión inalámbrica local 82e (al módulo inalámbrico 62e) o a través de una conexión por cable 82b (con conexión cruzada). a través de un cable Ethernet conectado al puerto Ethernet 62b). El dispositivo portátil 80 también puede conectarse con la red 52 a través de una conexión celular 82a.

E. Conectividad del sistema

La figura 8 ilustra una parte del sistema de control 50 con algunas otras conexiones de comunicación. Como se muestra, las características del sistema de control 50 descrito operan en la nube 52, que puede ser Internet pública o una red interna privada. Por ejemplo, análisis, análisis y modelado, los servicios SCADA pueden operar en la nube 52. Los terminales del administrador 34, los terminales del usuario final 36, los terminales 80 para los operadores 30 y los técnicos de campo 32 y los dispositivos de control del pozo 60 tienen varias aplicaciones y se comunican entre sí y con los servicios en la nube 52 utilizando una serie de protocolos de comunicación, Protocolo de control de transmisión /Protocolo de Internet (TCP/IP), máquina a máquina (M2M)/Protocolo de conectividad "Internet de las cosas" (MQTT), Protocolo seguro de transferencia de hipertexto (HTTPS), RUDP, Infraestructura de escritorio virtual (VDI), BLUETOOTH, Serial/ IP, etc.

Por ejemplo, los terminales del administrador del sistema 34 usan una aplicación de administración de dispositivos y se comunican a través de TCP/IP, HTTPS, RUDP o VDI con los servicios en la nube 52. Los terminales de usuario final 36 usan una aplicación de usuario final y se comunican a través de HTTPS, RUDP o VDI con los servicios en la nube 52. Los operadores 30 y los técnicos de campo 32 usan terminales portátiles 80 con una aplicación móvil para comunicarse a través de TCP/IP con los servicios en la nube 52 y comunicarse con el dispositivo de control del pozo 60 a través de conexiones por cable o inalámbricas. El dispositivo de control 60 tiene una interfaz de navegador para configuración e información in situ.

El dispositivo de control del sitio del pozo 60 se comunica con los servicios en la nube 52 utilizando TCP/IP o MQTT. El dispositivo de control del sitio del pozo 60 puede comunicarse con una conexión serial/IP a los componentes de una unidad de elevación artificial 100 o puede conectarse con una conexión serial/IP a una comunicación celular o por radio a unidades de elevación artificiales 100. Preferiblemente, el sistema de control 50 utiliza la publicación MQTT para notificaciones instantáneas, en lugar de depender únicamente del sondeo SCADA.

Varias aplicaciones disponibles para el sistema 50 incluyen Link, aplicación RTU, aplicación de agente de comunicaciones, SCADA, aplicación de optimización, aplicación de inteligencia artificial, etc.

La conectividad de la aplicación se puede lograr de varias maneras. En un caso de uso en línea, el operador 30, el técnico 32 u otro usuario pueden ubicarse físicamente con el dispositivo de control 60 que tiene conectividad a Internet, ya sea a través de un módem celular o de la red de radio del cliente. El usuario puede conectarse al dispositivo de control 60 para configuración o estado usando comunicaciones inalámbricas.

En un caso fuera de línea, el operador 30, el técnico 32 u otro usuario pueden ubicarse físicamente con el dispositivo de control 60, pero ni el usuario ni el dispositivo de control 60 pueden tener conectividad a Internet. El usuario todavía puede conectarse al dispositivo de control 60 utilizando comunicaciones inalámbricas locales (por ejemplo, Bluetooth).

En un caso de uso de proxy, el operador 30, el técnico 32 u otro usuario pueden ubicarse físicamente con el dispositivo de control 60. Sin embargo, el dispositivo 60 no tiene conectividad a Internet, pero el usuario tiene conectividad a Internet en su teléfono o tableta y puede conectarse y configurar el dispositivo 60. En un caso de uso remoto, el operador 30, el técnico 32 u otro usuario no está ubicado físicamente con el dispositivo de control 60, pero el dispositivo 60 tiene conectividad a Internet.

F. Unidad de elevación de varilla alternativa

Como se indica en el presente documento, la unidad de elevación artificial 100 puede ser una unidad de elevación de varilla de movimiento alternativo. Por ejemplo, la figura 9 muestra una unidad 100 de elevación de varilla alternativa utilizada para producir fluido de un pozo. Una bomba de fondo de pozo 14 tiene un barril 16 con una válvula fija 24 ubicada en la parte inferior. La válvula fija 24 permite que, entre fluido desde el pozo, pero no permite que salga. Dentro del cilindro de la bomba 16, un émbolo 20 tiene una válvula de desplazamiento 22 ubicada en la parte superior. La válvula viajera 22 permite que el fluido se mueva desde debajo del émbolo 20 a la tubería de producción 18 arriba, pero no permite que el fluido regrese desde la tubería 18 al cilindro de la bomba 16 debajo del émbolo 20. Una fuente impulsora (p. ej., un gato de bomba o unidad de bombeo 112) en la superficie se conecta mediante una sarta de varillas 12 al émbolo 20 y mueve el émbolo 20 hacia arriba y hacia abajo cíclicamente en carreras ascendentes y descendentes.

Durante la carrera ascendente, la válvula de desplazamiento 22 se cierra y cualquier fluido que se encuentre por encima del émbolo 20 en la tubería de producción 18 se eleva hacia la superficie. Mientras tanto, la válvula fija 24 se abre y permite que el fluido ingrese al barril de la bomba 16 desde el pozo.

En la parte superior de la carrera, la válvula de pie 24 se cierra y retiene el fluido que ha entrado

en el cilindro de la bomba 16. Además, a lo largo de la carrera ascendente, el peso del fluido en la tubería de producción 18 es soportado por la válvula de desplazamiento 22 en el émbolo 20 y, por lo tanto, también por la sarta de varillas 12, lo que hace que la sarta de varillas 12 se estire. Durante la carrera descendente, la válvula viajera se abre, lo que resulta en una rápida disminución de la carga en la sarta de varillas 12. El movimiento del émbolo 20 desde un punto de transferencia hasta la parte inferior de la carrera se conoce como "carrera de fluido" y es una medida de la cantidad de fluido levantado por la bomba 14 en cada carrera.

Debido a que no hay sensores para medir las condiciones en la bomba de fondo de pozo 14, que puede estar ubicada a miles de pies bajo tierra, las mediciones de superficie de la posición y la carga de la sarta de varillas 12 en el gato de bomba 112 se usan con métodos numéricos para calcular la posición del émbolo de la bomba 20 y la carga que actúa sobre el émbolo 20. Estas mediciones de la superficie generalmente se realizan en la parte superior de la varilla pulida 15, que es una parte de la sarta de varillas 12 que pasa a través de una caja de relleno 13 en la cabeza del pozo. Se usa un controlador de bomba 150 para monitorear y controlar el sistema de bomba 10.

Para controlar eficientemente la unidad de elevación de varilla alternativa 100 y evitar un mantenimiento costoso, el controlador de bomba de varilla 150 puede recopilar datos del sistema y ajustar los parámetros operativos de la unidad 100 en consecuencia. Normalmente, el controlador 150 de la bomba de varillas recopila datos del sistema, como la carga y el desplazamiento de la sarta de varillas, midiendo estas propiedades en la superficie.

Las unidades de bombeo actuales, como el gato de bomba 112, están compensadas para reducir el consumo de energía. El subsistema de contrapeso utiliza pesos 134 fijados en puntos predeterminados a lo largo de los brazos de manivela 126 para compensar una parte de la carga de la varilla en el pozo. La posición de estos pesos 134 normalmente se calcula como parte de la configuración inicial y se basa en numerosos factores que incluyen, entre otros, las características físicas (longitud, peso, etc.) de la sarta de varillas 12, la carga de fluido, el tamaño de la unidad de bombeo 112, el tipo de caja de cambios 132, el tipo de motor 130, etc. Los cálculos necesarios para establecer la posición del peso son conocidos desde hace muchos años por los expertos en el arte de las unidades de bombeo convencionales.

Durante el curso de las operaciones normales de bombeo, sin embargo, las cargas de las varillas pueden cambiar. Esto da como resultado una condición conocida como "fuera de balance", y es deseable corregir esta condición. De lo contrario, el uso de energía aumenta y el funcionamiento de la unidad de elevación de varilla alternativa 100 no es óptimo, lo que puede reducir la vida útil de algunos de los componentes.

Con referencia ahora a la figura 10A, la unidad de elevación de varilla alternativa 100 de acuerdo con la presente descripción se muestra con detalles adicionales que incluyen un marco 102,

una viga móvil 110 dispuesta en el marco 102, un conjunto de manivela 120 conectado a la viga móvil 110, y un actuador 130 conectado al conjunto de manivela 120. Una varilla pulida 118 para un sistema de varilla alternativa se conecta a un cabezal 112 de la viga móvil 110 utilizando cable 114 y un colgador de varilla pulida 116.

- 5 El marco 102 está instalado en la base de una unidad de bombeo y puede incluir uno o más postes delanteros 104 y uno o más postes posteriores 106 unidos para formar un marco en A para soportar la viga móvil 110, que está soportada de forma pivotante por un conjunto de rodamientos 108.

El conjunto de manivela 120 incluye brazos pitman 122 acoplados a un extremo 110a de la viga móvil 110 mediante un conjunto de rodamientos de cola o ecualizador 124. Como se muestra, la unidad 100 puede tener dos brazos pitman 122 unidos por una viga ecualizadora 125, que está conectada a la viga móvil 110 por el conjunto de rodamientos 124. Cada brazo pitman 122 está conectado de forma pivotante a un brazo de manivela 126 mediante un conjunto de pasador de manivela 128, también llamado pasador de muñeca.

- 15 El actuador 130 incluye principalmente un motor eléctrico que hace girar los brazos de manivela 126. Normalmente, una caja de cambios 132 está conectada al motor 130 y reduce la rotación del motor a un cigüeñal 133 conectado a los brazos de manivela 126. Para el contrapeso, como se explica aquí, se pueden unir uno o más bloques de contrapeso 134 a los brazos de manivela 126.

A medida que el actuador 130 hace girar el conjunto de manivela 120, la viga móvil 110 se sube y baja en el pivote 108 del marco, de modo que la varilla pulida 118 alterna el sistema de varillas y la bomba de fondo de pozo en el pozo. Durante el funcionamiento, por ejemplo, el motor 130 y la caja de engranajes 132 giran los brazos de manivela 126, lo que hace que el extremo 110a de la viga móvil 110 se mueva hacia arriba y hacia abajo a través de los brazos pitman 122. El movimiento hacia arriba y hacia abajo del extremo 110a hace que la viga móvil 110 pivote sobre el conjunto de rodamientos 108, lo que da como resultado una carrera descendente y ascendente de la cabeza del caballo 112.

Durante una carrera ascendente, el motor 130 y la caja de engranajes 132, con la ayuda de los pesos de contrapeso 134, superan el peso y la carga de la cabeza de caballo 112 y tiran de la sarta de varillas pulidas 118 hacia arriba desde el pozo, que hace un movimiento alternativo de la sarta de varillas y la bomba de fondo del pozo para líquido de elevación. Durante una carrera descendente, el motor 130 ayudado por el peso y la carga en la cabeza de caballo 112 gira los brazos de manivela 126 para elevar los pesos de contrapeso 134.

El peso de contrapeso 134 se selecciona en función del peso y la carga del sistema de varillas alternativas (es decir, la fuerza requerida para levantar la varilla alternativa y el fluido por encima de la bomba de fondo de pozo en el pozo). En una modalidad, el peso de contrapeso 134 puede

seleccionarse de modo que uno o más componentes de la unidad de bombeo 100 tengan una aceleración y/o velocidad sustancialmente simétrica durante las carreras ascendentes y descendentes. El componente puede ser cualquier parte móvil de la unidad de bombeo 100, como el brazo pitman 122, el conjunto de pasador de muñeca 128, el brazo de manivela 126, la viga ecualizadora 125, la viga móvil 110, la cabeza de caballo 112, etc.

De acuerdo con la presente descripción, la unidad de elevación de varilla alternativa 100 incluye un conjunto de gestión 140 para equilibrar/ajustar la unidad 100. Como se indica, el conjunto de gestión 140 puede formar parte de la unidad 100 o incorporarse a ella, puede incluir componentes locales y componentes remotos, y puede tener otras configuraciones, como se indica aquí.

El conjunto de gestión 140 incluye componentes mecánicamente ajustables en la unidad de bombeo 100 para ajustar la posición de los contrapesos 134 en los brazos de manivela 132 y/o cambiar la ubicación del pasador de muñeca que conecta los brazos pitman 122 con los brazos de manivela 126, lo que cambia el equilibrio de la unidad 100. Los detalles relacionados con dichos componentes ajustables mecánicamente se pueden encontrar en la solicitud copendiente estadounidense 15/345,288, presentada el 7 de noviembre de 2016 y titulada “Aparatos y métodos para contrarrestar una unidad de bombeo”, que se incorpora en el presente documento como referencia en su totalidad.

Como se muestra aquí, el conjunto de gestión 140 incluye además una interfaz de sensor 150 y un controlador 160 para monitorear y controlar la unidad de elevación de varilla alternativa 100. En términos del sistema 50 de las Figuras 1-2, el controlador 160 puede ser un controlador configurado (70) de una unidad de elevación artificial 100.

La interfaz de sensor 150 tiene uno o más sensores 152 que están conectados a uno o más componentes móviles de la unidad de elevación de varilla alternativa 100. Los sensores 152 miden uno o más parámetros relacionados con un desequilibrio entre las cargas de la sarta de varillas pulidas 118 y el contrapeso 134. El uno o más parámetros pueden incluir al menos uno de velocidad y aceleración de los componentes móviles y pueden incluir la orientación del contrapeso 134.

Aunque en la figura 10A se muestra un sensor 152 fijado en una posición en la unidad de elevación de varilla alternativa 100, se apreciará que se pueden fijar varios tipos de sensores, tales como sensores de orientación, velocidad, aceleración, etc., en diferentes posiciones en la unidad 100. En general, los sensores 152 de la interfaz de sensores 150 pueden unirse a cualquiera de varios componentes de la unidad 100, y los sensores 152 pueden disponerse en varios componentes. Por ejemplo, los sensores 152 pueden unirse al brazo pitman 122 para medir al menos uno de la velocidad y la aceleración del brazo pitman 122 y pueden medir la orientación del peso de contrapeso 134. Los sensores 152 se pueden unir al brazo pitman 122

cerca del conjunto de pasador de muñeca 128 para que el controlador 160 pueda medir la velocidad y/o la aceleración del peso de contrapeso 134. Alternativamente, los sensores 152 pueden unirse a la viga móvil 110 o la cabeza de caballo 112 para medir la aceleración y/o la velocidad de la viga móvil 110 o la cabeza de caballo 112. Estas y otras configuraciones son posibles.

Durante las operaciones, la interfaz de sensor 150 puede enviar mediciones al controlador 160 a través de una comunicación por cable, inalámbrica, satelital, celular u otra forma de comunicación. Por su parte, el controlador 160 incluye programas informáticos para analizar las medidas de la interfaz del sensor 150 y proporcionar varias formas de salida. En particular, el controlador 160 puede determinar el desequilibrio del peso de contrapeso 134 en función de las mediciones de la interfaz del sensor 150 y puede proporcionar soluciones de equilibrio, como proporcionar un ajuste para equilibrar la unidad de elevación de varilla alternativa 100.

Con una comprensión de la unidad de bombeo 100, la discusión se dirige a la figura 10B, que diagrama esquemáticamente los elementos del conjunto de control 140 de acuerdo con una modalidad de la presente descripción. Nuevamente, el conjunto de monitoreo 140 incluye la interfaz del sensor 150 y el controlador 160.

Los sensores 152 pueden incluir un sensor de orientación 154 para medir la orientación, como la orientación del peso de contrapeso (134). En una modalidad, el sensor de orientación 154 puede ser un magnetómetro, que es útil para describir la orientación del elemento al que está unido en el campo magnético terrestre. Además, podría proporcionar información sobre la ubicación o posición del peso de contrapeso (134) en relación con el elemento al que se une el sensor 154.

Los sensores 152 pueden incluir un sensor de velocidad 156, que puede ser un girómetro, tal como un girómetro de 3 ejes, aunque el sensor de velocidad 156 puede ser cualquier sensor adecuado para medir la velocidad. Los sensores 152 pueden incluir un sensor de aceleración 158, que puede ser un acelerómetro, tal como un acelerómetro de 3 ejes, aunque el sensor de aceleración 158 puede ser cualquier sensor adecuado para medir la aceleración.

Aunque tanto el sensor de velocidad 156 como el sensor de aceleración 158 se muestran en la figura 10B, la interfaz del sensor 150 puede incluir solo uno del sensor de velocidad 156 y el sensor de aceleración 158, y también puede configurarse para detectar solo la velocidad o aceleración en un eje.

La interfaz de sensor 150 puede incluir además una placa de control 151 conectada a los sensores 152. La placa de control 151 puede incluir puertos de entrada/salida para conectarse con los sensores 152. La placa de control 151 puede establecer una comunicación por cable o inalámbrica con el controlador 160.

La interfaz de sensor 150 se puede montar de forma permanente en la unidad de elevación de

varilla alternativa 100 o puede ser un conjunto portátil para instalarse y retirarse según sea necesario en una unidad dada. En una modalidad, la interfaz de sensor 150 puede incluir un alojamiento hermético que encierra los sensores 152 y la placa de control 151 en su interior. La interfaz de sensor 150 puede incluir además estructuras para permitir la unión segura de la interfaz de sensor 150 a un componente móvil de la unidad de bombeo 100.

Así como la interfaz de sensor 150 puede ser permanente o portátil, el controlador 160 también puede ser permanente o portátil. Por ejemplo, el controlador 160 puede ser una computadora o un dispositivo móvil, tal como un teléfono inteligente o una tableta. El controlador 160 puede incorporarse al sistema de control general de la unidad elevadora de varilla alternativa (100) como un elemento permanente, o el controlador 160 puede ser un componente portátil o remoto que interactúa con la unidad de elevación de varilla alternativa (100). El controlador 160 puede incluir una o más interfaces 162, como una interfaz de usuario, una pantalla, un equipo de comunicación, etc., y puede incluir programas informáticos o una aplicación para analizar mediciones desde la interfaz del sensor 150, detectando una condición de equilibrio, tal como cualquier desequilibrio, en la unidad de elevación de varilla alternativa (100), y/o proporcionando una solución para equilibrar/ajustar la unidad (100).

Al proporcionar una solución para equilibrar/ajustar la unidad de elevación de varilla alternativa (100), el controlador 160 puede proporcionar ajustes para los componentes mecánicamente ajustables 142 del conjunto 140. Por ejemplo, el controlador 160 puede incluir un programa para mostrar una representación gráfica del movimiento de la unidad de bombeo (100) y puede indicar un ajuste del peso de contrapeso (134) para lograr el equilibrio. En la mayoría de los casos, el ajuste del peso de contrapeso (134) puede implicar mover el peso del brazo de manivela (126) a una nueva posición, pero puede implicar añadir o quitar peso. En la mayoría de los casos, estos ajustes deben ser realizados manualmente por técnicos. En caso de que la unidad de bombeo (100) tenga la capacidad, el ajuste del peso de contrapeso (134) u otros parámetros de contrapeso se puede realizar automáticamente usando pesos móviles o similares. Al proporcionar una solución para equilibrar/ajustar la unidad de elevación de varilla alternativa (100), el controlador 160 puede proporcionar ajustes al motor 130 de la unidad de bombeo (100). Los detalles de estas soluciones se describen, por ejemplo, con referencia a las figuras 4-11 en la solicitud copendiente estadounidense 15/643,769, presentada el 7 de julio de 2017 e incorporada en la presente como referencia en su totalidad.

Como se señaló anteriormente, una unidad de elevación artificial, como la unidad de bomba de varilla alternativa 100, puede o no tener un controlador preconfigurado, como en el controlador 160. Por ejemplo, la figura 11A ilustra la integración de un dispositivo de control 60 con una unidad de elevación de sarta alternativa 100 que tiene un controlador preconfigurado compatible 160. Aquí, el controlador 160 es un controlador optimizado de bomba de varilla. Un ejemplo de

un controlador de este tipo incluye el controlador WELLPILOT® para optimización de bombas de varilla disponible de Weatherford International. (WELLPILOT es una marca comercial registrada de Weatherford Technology Holdings, LLC.) El controlador 160 se conecta a través de un módulo de entrada/salida de la interfaz de sensor 150 a varios sensores 152 de la unidad 100. La celda de carga y el inclinómetro se comunican con el controlador 160. El dispositivo de control 60 se comunica directamente con el controlador 160, que está preconfigurado para la integración.

La figura 11B ilustra la integración de un dispositivo de control 60 con una unidad de elevación de sarta alternativa 100 que carece de un controlador preconfigurado compatible. En su lugar, la unidad 100 incluye un controlador 72 existente, que es un controlador de bomba de varilla. Un ejemplo de dicho controlador incluye el WELLPILOT®. Como se indica aquí, la unidad 100 incluye varios sensores 152, inclinómetro, celda de carga y similares. Estos se comunican con un módulo de entrada/salida 75 del controlador de la unidad 72, que conmuta con el dispositivo de control 60. Para la deliquificación, la unidad 100 incluye un sistema de deliquificación (DLQ) 90. Un ejemplo de dicho sistema incluye el sistema de deliquificación WELLPILOT®. El sistema 90 incluye sensores 92 que se comunican de forma inalámbrica con el dispositivo de control 60. Las interfaces (MIM) 94 conectan los sensores 94 a las comunicaciones inalámbricas 96. El módulo de interfaz de comunicaciones del transmisor multivariable (MVT) 98 para otras unidades (100) puede comunicarse con comunicaciones inalámbricas 96. Aunque no se muestra, se puede conectar un controlador de elevación artificial por gas al MIM 94 y al MVT 98 y luego a las comunicaciones. A su vez, las comunicaciones inalámbricas 96 del sistema DLQ 90 se comunican con el dispositivo de control 60.

Unidad de bomba de chorro

Además de la unidad de elevación de varilla alternativa descrita anteriormente, el sistema de control 50 de la presente descripción se puede utilizar con otras unidades de elevación artificial, como unidades de elevación de gas, unidades de inyección de gas, etc. Por ejemplo, la figura 12A ilustra una terminación 10 que tiene otra forma de unidad de elevación artificial 300 de acuerdo con la presente descripción. La terminación 10 incluye la carcasa 12 que se extiende dentro de un pozo hasta una o más zonas de producción 17 en el fondo del pozo en una formación. Como se apreciará, la carcasa 12 generalmente incluye un revestimiento 15 que tiene perforaciones, pantallas 18, empaques de aislamiento 19, dispositivos de control de entrada, manguitos deslizantes o similares en las zonas de producción 17 para la entrada de fluidos de formación en el espacio anular 14 para la producción eventual en la superficie

La tubería 20 se extiende desde la superficie hacia el interior del pozo y define un orificio pasante 22 que se comunica con un conjunto de fondo de pozo 24. Como se muestra esquemáticamente aquí, el ensamblaje del orificio inferior 24 incluye un obturador 16 que sella

el espacio anular 14 en la carcasa 12/revestimiento 15, según sea el caso. El ensamblaje del fondo del pozo 24 también incluye puertos de producción 26 que comunican el orificio pasante 22 con el espacio anular 14.

5 Como es sabido, un pozo típico puede comenzar su vida con una alta tasa de producción producida por el flujo natural de fluidos producidos desde el pozo. Sin embargo, a medida que se agota la formación, la tasa de producción cae, por lo que se necesita elevación artificial. Por lo tanto, la terminación 10 aquí está configurada con una unidad de bomba de chorro hidráulico 300 adecuada para la elevación artificial del fluido de producción del pozo. El equipo de elevación para la unidad 300 incluye una bomba de chorro de fondo de pozo 350 instalada en
10 el conjunto de fondo de pozo 24 e incluye una unidad de fluido de potencia de superficie 360. Una unidad de acondicionamiento 370 en la superficie puede acondicionar el fluido recibido y puede separar el petróleo del gas y el agua. Finalmente, la unidad de elevación 300 incluye un controlador de bomba de chorro 400, que puede usarse para varios pozos o puede servir a un pozo de forma individual.

15 Con una comprensión general de la terminación 10 y la unidad de bomba hidráulica de chorro 300, la figura 12B ilustra una parte del conjunto de fondo de pozo 24 de la terminación que tiene un ejemplo de una bomba de chorro de fondo de pozo 350 de acuerdo con la presente descripción con más detalle. Nuevamente, como se muestra, la terminación 10 incluye la carcasa 12 (o revestimiento 15) para el pozo. El obturador de orificio inferior 16 sella el espacio
20 anular 14 de la carcasa 12 (o revestimiento 15) con la tubería 20 dispuesta en la carcasa 12. Además, la tubería 20 incluye el orificio pasante 22 que tiene uno o más puertos de producción 26 que se comunican con el anillo superior 14a. Como es común, el conjunto de orificio inferior 24 en la tubería 20 puede incluir una pluralidad de alojamientos, componentes, tubulares y similares interconectados conectados entre sí, que no se representan necesariamente aquí por
25 simplicidad.

Como se señaló anteriormente, el equipo de producción está configurado para elevación hidráulica utilizando la bomba de chorro de fondo de pozo 350. La bomba de chorro de fondo de pozo 350 se ha puesto en posición en el conjunto de fondo de pozo 24. Por ejemplo, el conjunto 24 puede incluir uno o más elementos internos (por ejemplo, sellos o asientos) 28a-
30 28b dispuestos en relación con uno o más puertos 26. Estos elementos 28a-28b pueden ser sellos de orificio en forma de orificios pulidos para acoplar los sellos de la bomba de chorro de fondo de pozo 350 insertada en ellos. En algunas implementaciones, los elementos 28a-28b pueden incluir anillos de sello, boquillas, perfiles de pestillo, asientos y similares para enganchar la bomba de chorro de fondo de pozo 350 insertada de manera removible en el orificio pasante
35 32 del equipo. Como ejemplo, se puede proporcionar un perfil, como un perfil de bloqueo en X, en el orificio pasante 22 para bloquear la bomba de chorro descrita 350 en su lugar.

El equipo de elevación también puede incluir una válvula fija 357 dispuesta en la entrada de la bomba de chorro de fondo de pozo 350. La válvula fija 357 puede formar parte de (o instalarse en) la bomba de chorro de fondo de pozo 350 y puede funcionar con ella. Alternativamente, la válvula fija 357 puede ser un componente independiente que funcione por separado.

- 5 La bomba de chorro de fondo de pozo 350 incluye una boquilla 352 y una entrada 354, una garganta 355, un difusor 356 y una salida 358. Como se indica aquí, los componentes de la bomba de chorro de fondo de pozo 350 se configuran preferiblemente para adaptarse a los requisitos de producción y las condiciones de fondo de pozo. Por ejemplo, se pueden usar diferentes configuraciones y materiales para la boquilla 352, la garganta 355 y el difusor 356.
- 10 Durante una operación de elevación hidráulica, la unidad de fluido de potencia (360), que incluye el almacenamiento de fluido de potencia, la bomba de superficie, el motor principal, los controles de flujo y similares, presuriza un fluido de potencia PF e inyecta el fluido de potencia presurizado PF en el orificio pasante 22 de la tubería 20. El fluido de potencia PF viaja por la tubería 20. En la bomba de chorro 350, el fluido de potencia PF ingresa a la boquilla de entrada 352. Mientras
15 tanto, la producción P aislada en el fondo del pozo en el espacio anular inferior 14b puede fluir hacia arriba a través del orificio pasante 22, pasando la válvula fija 355 y hacia la entrada 354 de la bomba de chorro de fondo del pozo 350. Por su parte, la válvula de pie 355 impide el escape de fluido de producción P desde la bomba hidráulica de chorro 350 de fondo de pozo en ausencia de nivel de fluido suficiente.
- 20 La boquilla 352 reduce la presión de fluido del fluido de potencia PF utilizando el efecto Venturi. Esto atrae el fluido de producción P hacia la garganta de la bomba 355 donde se combinan el fluido de potencia FP y el fluido de producción P. El fluido mixto MF luego se transfiere al difusor de la bomba 356, donde se aumenta la presión en la salida de la bomba 358 para que el fluido mixto MF pueda salir de los puertos 26 y pueda elevarse a la superficie en el espacio anular
25 14a.
- En la disposición anterior, la bomba de chorro 350 funciona con el fluido de potencia PF comunicado desde la superficie por el orificio pasante 22 de manera que el fluido mixto MF puede viajar hacia arriba por el anillo 14a. También se puede utilizar una operación inversa. En particular, la bomba de chorro 350 se puede instalar en el orificio pasante 22, y el fluido de
30 potencia PF se puede comunicar desde la superficie hacia el anillo 14a, donde luego puede ingresar a la bomba de chorro 350 a través del puerto 26, 358. Como antes, la producción P que asciende por el orificio pasante 32 desde el fondo del pozo también entra en la bomba de chorro 350 y los dos fluidos se mezclan en ella. Finalmente, el fluido mixto MF viaja hacia arriba del pozo hacia la superficie a través del orificio pasante 22 de la tubería.
- 35 La figura 12B ilustra algunos de los componentes de la unidad de bomba de chorro 300 con detalles adicionales. La unidad de fluido de potencia 360 sobre un patín en la superficie puede

servir a un pozo de forma individual (como se muestra aquí) o puede usarse para varios pozos. La unidad de fluido de potencia 360 tiene un motor primario 368 y una bomba de superficie 362 y se usa para inyectar fluido de potencia en un cabezal de pozo 11 para operar la bomba de chorro de fondo de pozo 350 del conjunto de fondo de pozo 24 dispuesto en el orificio 22 de la tubería 20.

La unidad de fluido de potencia 360 puede presurizar el fluido del yacimiento producido para operar la bomba de chorro de fondo de pozo 350. Por ejemplo, la bomba de superficie 362 puede incluir una bomba multiplex que va de 60 a 625 HP, y el motor primario 368 puede incluir un motor eléctrico o un accionamiento de varios cilindros controlado por un accionamiento de velocidad variable 369.

La unidad de acondicionamiento 370 en el patín en la superficie incluye un recipiente 372 para recibir fluido de producción y fluido de potencia expulsado del pozo. La unidad de acondicionamiento 370 limpia y acondiciona el fluido recibido y puede separar el aceite del gas y el agua. Finalmente, la unidad de elevación 300 incluye el controlador de bomba de chorro 400, que puede servir a un pozo de forma individual (como se muestra) o puede usarse para varios pozos.

La figura 12C ilustra un esquema de un controlador de bomba de chorro 400 de la presente divulgación. El controlador 400 incluye una unidad de procesamiento 402, memoria 404, software 406, una interfaz de accionamiento 408a, una interfaz de sensor 408b y una interfaz de entrada/salida 408c. La unidad de procesamiento 400 y la memoria 404 pueden usar cualquier equipo aceptable adecuado para usar en el campo en un sitio de pozo que tenga equipo de elevación artificial de acuerdo con la presente divulgación. Por ejemplo, la unidad de procesamiento 402 puede incluir un procesador adecuado, circuitos electrónicos digitales, hardware de computadora, firmware de computadora, software de computadora y cualquier combinación de los mismos. La memoria 404 puede incluir cualquier dispositivo de almacenamiento adecuado para instrucciones y datos de programas informáticos, como EPROM, EEPROM, dispositivo de memoria flash, discos magnéticos, discos magnetoópticos, ASIC (circuitos integrados específicos de la aplicación), etc.

El software 406 que opera en el controlador 400 monitorea las entradas de un número de sensores 420, realiza análisis y controla el motor principal con el accionamiento de velocidad variable 368 usado para impulsar la unidad de bomba de chorro hidráulico (300). El software 406 incluye algoritmos en las funciones de modelado para calcular parámetros para la unidad de bomba de chorro hidráulico (300). Estos algoritmos pueden ser similares a los disponibles en el software de Evaluación y Modelado de Bomba a chorro (JEMS) disponible en Weatherford International. El controlador 400 se conecta además con o está integrado con un dispositivo de control 60 de acuerdo con la presente descripción, que logra los propósitos descritos en este

documento.

La interfaz de accionamiento 408a se conecta al accionamiento de velocidad variable 369 para el motor principal (es decir, el motor) utilizado para hacer funcionar la bomba de superficie de la unidad (300). La interfaz de accionamiento 408a también puede conectarse a un dispositivo de
5 flujo controlable 367 si es necesario para controlar la presión de descarga en la línea de descarga de la unidad de superficie (360).

La interfaz de sensor 408b se conecta a través de una caja de conexiones 365 a los diversos sensores 420, como transductores de presión, sensores de vibración, medidores de caudal, sensores de nivel y transductores de temperatura. Como se analiza con más detalle a
10 continuación, estos sensores 420 están configurados y dispuestos en la unidad de bomba de chorro hidráulico (300) de acuerdo con el tipo de bomba de superficie utilizada.

De acuerdo con un aspecto que se muestra en la figura 12C, la unidad 300 puede incluir además un sensor de cavitación 420', tal como un micrófono, un acelerómetro, un sensor vibratorio o un giroscopio, asociado con el cabezal del pozo 11 y/o la bomba de chorro de fondo de pozo 350.
15 Este sensor de cavitación 420' se puede configurar para detectar vibraciones u otras indicaciones de cavitación, como se enseña en la solicitud copendiente estadounidense 15/252,412, presentada el 31 de agosto de 2016 y se incorpora en la presente como referencia.

La interfaz de entrada/salida 408c puede conectarse a una pantalla 410, un dispositivo de entrada 412, y una interfaz de comunicación 414. La pantalla 410 en el controlador 400 puede
20 ser una pantalla táctil para el dispositivo de entrada 412. La interfaz de comunicación 414 puede permitir la descarga de entradas/carga de salidas a través de dispositivos de memoria, comunicaciones inalámbricas, etc.

En el controlador 400, un operador de campo puede ingresar manualmente datos de configuración inicial en el controlador 400 a través de la pantalla 410 y el dispositivo de entrada
25 412. Alternativamente, los datos de configuración inicial se pueden ingresar a través de la interfaz de comunicación 414, como a través de una descarga desde un dispositivo de almacenamiento o desde una comunicación satelital o inalámbrica. Estos datos de configuración inicial generalmente incluyen información de configuración y análisis computacional, tales como los disponibles en el programa JEMS de Weatherford. Se han
30 construido varios modelos en la técnica basados en análisis teóricos y empíricos de bombas de chorro, y el cálculo del controlador 400 se puede basar en cualquier modelo adecuado.

Después de la configuración inicial de las entradas, el dimensionamiento adecuado de la boquilla y la garganta, y la configuración de los parámetros operativos para la unidad de fluido de potencia (360), el controlador 400 usa las entradas de los sensores y los cálculos en tiempo
35 real para predecir las ineficiencias (por ejemplo, para predecir la presión del fondo del pozo y optimizar la salida de la unidad de energía de superficie 360) para que la bomba de chorro 350

continúe funcionando de manera eficiente a lo largo del tiempo, incluso cuando cambian las condiciones operativas de la unidad 300. Los análisis y las soluciones generalmente brindan información, como presiones de cabezal, presión de fondo de pozo, presión de entrada, caudal de fluido de potencia, caudal de fluido producido, potencia hidráulica que se utilizará, etc. Debido a que el conocimiento de la cavitación es importante cuando se opera la bomba de chorro 350, el controlador 400 también calcula y muestra los límites de cavitación de la unidad (300) basándose en la información en tiempo real.

De esta manera, el controlador 400 junto con el dispositivo de control 60 descrito puede optimizar la vida útil de la bomba de chorro 350 evitando que la bomba de chorro 350 entre en cavitación. El controlador 400 también puede seguir las tendencias en el declive del pozo y predecir cuándo la bomba de chorro 350 entrará en cavitación. En general, por lo tanto, el controlador 40 puede rastrear tendencias y predecir una disminución del pozo en el sitio del pozo de al menos una unidad de elevación artificial que conduce a una operación perjudicial de al menos una unidad de elevación artificial. Estas y varias otras funciones pueden ser manejadas por el controlador 400, como se explica a continuación. Aunque no se analiza en detalle aquí, se apreciará que el controlador 400 también puede configurarse para operar y controlar el acondicionamiento del fluido de potencia por la unidad de acondicionamiento 370.

El sistema de control 50 que tiene un dispositivo de control 60 supervisa y controla la unidad de bomba de chorro hidráulico (300) utilizando las técnicas descritas, por ejemplo, con referencia a las figuras 3 a 7 en la solicitud copendiente estadounidense No. 16/363,592 presentada el 25 de marzo de 2019, la cual se incorpora en la presente por referencia en su totalidad.

Además de los ejemplos descritos anteriormente, el sistema de control 50 de la presente descripción se puede utilizar con unidades de inyección de gas. Por ejemplo, la figura 14 ilustra un proceso de control automatizado (500) del sistema de control divulgado (50) para controlar la tasa de inyección de gas de una unidad de inyección de gas con control automatizado desde un dispositivo de control (60) de la presente divulgación.

En el proceso (500), siempre que el análisis no sea la primera vez (502), se pueden obtener las tasas de inyección reales e inferidas (T-Hoy) (504), junto con la profundidad de inyección real (T) (506). Una decisión (508) determina si la profundidad de inyección real (T) no es igual a una profundidad de inyección optimizada (Y-Ayer). Si es así, el proceso (500) determina que la profundidad de inyección real no es igual a la profundidad de inyección optimizada y activa una alerta (509). Análisis adicional (524) sigue como se discute a continuación. Este análisis adicional es comparable al análisis inicial proporcionado por el proceso (500), o cuando hay discrepancias en la tasa de inyección.

Si en la decisión (508), el proceso (500) determina que la profundidad de inyección real (T) es igual a la profundidad de inyección optimizada (Y), el proceso (500) pasa a una decisión de si

la tasa de inyección real (T) no es nula (510). Si la tasa de inyección real (T) es nula (no en la decisión), entonces se toma una decisión (518) donde la tasa de inyección de gas promedio diaria $QGI(T)$ no es igual a una tasa de inyección de gas optimizada $QGI(Y)$, que se discute a continuación.

- 5 Si la tasa de inyección real (T) no es nula (sí en la decisión), entonces el proceso (500) calcula la diferencia entre la tasa de inyección real (T) y la tasa de inyección inferida (T) (512). Si la diferencia es mayor que un máximo configurable por el usuario (514), entonces el pozo necesita ajuste y se activa una alerta (516). Si la diferencia no es mayor que el máximo configurable por el usuario, entonces se toma una decisión (518) donde la tasa de inyección de gas promedio
- 10 diaria $QGI(T)$ no es igual a una tasa de inyección de gas optimizada $QGI(Y)$. Si es así, no se puede establecer la tasa de inyección de gas optimizada y se activa una alerta (520). Si la tasa de inyección de gas promedio diaria $QGI(T)$ es igual a una tasa de inyección de gas optimizada $QGI(Y)$, entonces se toma una decisión (522) si la presión de cabeza de tubería promedio diaria $THP(T)$ es igual a la presión de cabeza de tubería promedio diaria presión de cabeza $THP(Y)$.
- 15 Si es así, el proceso (500) existe. Si no es así, el proceso (500) genera una curva de rendimiento que genera la presión de cabezal de tubería promedio diaria THP (524) y encuentra una tasa de inyección de gas óptima QGI (526). Por ejemplo, el proceso (500) puede usar un ajuste cuadrático para encontrar la tasa de inyección de gas QGI para la que se maximiza la producción.
- 20 Se toma una decisión (528) en el proceso (500) donde la tasa de inyección de gas óptima QGI es mayor que la tasa de inyección de gas máxima permitida. Si es así, la tasa de inyección de gas se establece en la tasa de inyección de gas máxima QGI y se activa una alerta. (530). La velocidad máxima de inyección de gas QGI puede ser establecida por el usuario en la caja de herramientas de la aplicación de control de la presente descripción.
- 25 De lo contrario, si la tasa de inyección de gas óptima QGI no es mayor que la tasa de inyección de gas máxima permitida, se establece la tasa de inyección de gas para la unidad de inyección de gas (532), la tasa de inyección de gas optimizada se guarda junto con la tasa y la profundidad de inyección en la tabla de promedios diarios almacenada para la unidad de elevación artificial por gas (534).
- 30 La figura 15 ilustra un dispositivo de control 60 en una configuración para intermediar comunicaciones para el sistema descrito. Como se discutió anteriormente y se mostró nuevamente, el dispositivo de control 60 tiene una primera interfaz de comunicación 62a con un sistema de comunicación 73 instalado o existente. Por ejemplo, la primera interfaz de comunicación 62a puede ser un puerto en serie/RS232 conectado a un sistema de radio en
- 35 serie 73 instalado o existente en el sitio del pozo. El dispositivo de control 60 también tiene una segunda interfaz de comunicación 62a' con un dispositivo instalado o existente 70, 72 en el sitio

del pozo. Por ejemplo, la segunda interfaz de comunicación 62a puede ser un puerto en serie/RS232 conectado a una unidad terminal de controlador o remota local existente 70, 72 en el sitio del pozo.

El dispositivo de control 60 incluye un Mediador de comunicaciones 610 que interactúa entre el sistema de comunicación existente 73 y un motor de recopilación de datos 600 del dispositivo de control 60. El motor de recopilación de datos 600 recopila datos y comunicaciones de otras fuentes de datos y sistemas de comunicación, como las otras configuraciones de red descritas en este documento. El motor de recopilación de datos 600 incluye los elementos discutidos anteriormente, como el módulo SCADA 230, el sondeo 232 y similares con respecto a la figura 3. Estas otras fuentes de datos y sistemas de comunicación pueden ser capaces de velocidades de datos y ancho de banda más rápidos que el sistema de comunicación 73 existente/instalado. El mediador de comunicaciones 610 negocia datos de comunicación con la unidad de controlador local/terminal remota 70, 72 para garantizar que solo una única entidad se comuniquen con la unidad de controlador local/terminal remota 70, 72 en un momento dado. Se da prioridad al canal de comunicación existente/instalado del sistema 73 y la interfaz 62a. Como se describe en el presente documento, uno de los beneficios del dispositivo de control 60 es su capacidad para actualizar sitios de pozos existentes que tienen hardware heredado, existente o instalado sin requerir un cambio sustancial en su infraestructura de comunicaciones actual. Para lograr esto, el mediador de comunicaciones 610 permite que el dispositivo de control 60 actúe como mediador o dispositivo proxy para las comunicaciones existentes. El mediador 610 gestiona las comunicaciones de múltiples fuentes cambiando y priorizando internamente las solicitudes que se originan en la infraestructura de sondeo heredada. Este cambio y priorización requiere el análisis de los datos que provienen de un solicitante. Conociendo los protocolos utilizados por el sistema heredado y el sistema de sondeo interno, el mediador 610 realiza un análisis de paquetes a nivel de protocolo para enrutar el tráfico al destino correcto. Este enrutamiento se produce cuando se recibe una respuesta de la RTU/controlador existente 70, 72; se recibe una solicitud del canal de comunicaciones serie/sondeo existente 73, 62a, o la infraestructura de sondeo interna 600 del dispositivo de control solicita datos de la RTU/controlador 70, 72. Como se apreciará, las solicitudes lógicas al RTU/controlador 70, 72 pueden abarcar múltiples paquetes de datos. La mediación de este tráfico permite que la infraestructura de sondeo original, que normalmente es más lenta, sondee la RTU/Controlador 70, 72 a la misma velocidad sin interrupción. Al mismo tiempo, el motor de recopilación de datos 600 del dispositivo de control 60 puede sondear la RTU/Controlador 70, 72 a una alta velocidad durante los momentos en que la infraestructura de sondeo heredada no se comunica con la RTU/Controlador 70, 72.

La figura 16 muestra un proceso de intermediación 650 manejado por el mediador de

comunicaciones 610 del dispositivo de control 60 de la figura 15. En los inicios de procesamiento repetitivo durante las operaciones, el mediador 610 supervisa si el dispositivo de control 60 se está comunicando con el controlador local 70, 72 (Decisión 652). Si el dispositivo de control 60 se comunica con el controlador local 70 (Sí - Decisión 652), entonces el mediador 610 maneja los datos de entrada/salida del dispositivo de control 60 (Bloque 654). A medida que el mediador 610 maneja los datos, el mediador 610 supervisa si el sistema de comunicación existente/instalado 73 se comunica con el controlador 70 (Decisión 656) Si no (No-Decisión 656), entonces el mediador 610 puede enviar la comunicación del dispositivo de control a el controlador 70 (Bloque 660) y maneja los datos de entrada/salida del dispositivo de control 60 al controlador 70 (Bloque 662).

A medida que el mediador 610 supervisa (Decisión 656), puede determinar que el sistema de comunicación existente/instalado 73 se comunica con el controlador 70 (Sí-Decisión 656). En este caso, el mediador 610 espera a que se complete la comunicación (Bloque 658) antes de manejar los datos de entrada/salida del dispositivo de control 60 al controlador 70 (Bloques 660, 662).

Mientras el mediador 610 supervisa, puede determinar que el dispositivo de control 60 no se está comunicando con el controlador local 70, 72 (No-Decisión 652). En este punto, el mediador 610 maneja los datos de entrada/salida del sistema de comunicación 73 (Bloque 670). A medida que el mediado 610 maneja los datos, el mediador 610 supervisa si el sistema de comunicación existente/instalado 73 se comunica con el controlador 70 (Decisión 672). Si los datos son para alguna otra entidad (Sin decisión 672), entonces el corredor 610 descarta los datos de su almacenamiento intermedio, permitiendo que otros elementos del dispositivo de control 60 manejen el enrutamiento y el procesamiento de esos datos. Si los datos se dirigen al controlador 70 (Sí-Decisión 672), entonces el mediador 610 supervisa si el dispositivo de control está en comunicación con el controlador 70 (Decisión 674). Si no, entonces el mediador 60 envía la comunicación al controlador 70 (Bloque 660) y maneja los datos de entrada/salida al controlador 70 (Bloque 662).

Si el dispositivo de control 60 se comunica con el controlador 70 (Sí-Decisión 674), el mediador 610 espera a que se complete la comunicación (Bloque 658) antes de manejar los datos de entrada/salida al controlador 70 (Bloques 660, 662).

La descripción anterior de modalidades preferidas y otras no pretende limitar o restringir el alcance o la 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 modalidad o aspecto de la materia divulgada pueden utilizarse, solas o en combinación, con cualquier otra característica descrita, en cualquier otra modalidad o aspecto del tema divulgado.

A cambio de divulgar los conceptos inventivos contenidos en este documento, los Solicitantes desean todos los derechos de patente otorgados por las reivindicaciones adjuntas. Por lo tanto, se pretende que las reivindicaciones adjuntas incluyan todas las modificaciones y alteraciones en la medida en que entren dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones o sus equivalentes.

5