

SISTEMA DE RETROALIMENTACIÓN EN TIEMPO REAL Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA ENTORNOS DE FONDO DE POZO

CAMPO TÉCNICO

[0001] La presente tecnología se refiere a un sistema de pozos para la extracción de materiales y, más concretamente, a un sistema de retroalimentación en tiempo real y aprendizaje automático para entornos de fondo de pozo.

ANTECEDENTES

[0002] Un sistema de pozo comprende un sistema de perforación de pozo para formar el pozo y un sistema de bombeo de pozo para recuperar materiales del pozo. Un sistema de perforación de pozo es una configuración de equipos y maquinarias diseñados para extraer recursos naturales, tales como agua, petróleo o gas, del suelo. El sistema por lo general incluye una plataforma de perforación, que se utiliza para perforar un agujero en la corteza terrestre, y una tubería de revestimiento, que es una tubería de acero que recubre el pozo y evita que las paredes colapsen. El proceso de perforación comienza con la colocación de una barrena de perforación al final de una sarta de perforación. Luego, se gira la barrena de perforación, mediante el uso de un motor o un mecanismo manual, para crear un agujero en el suelo. A medida que se perfora el pozo, la sarta de perforación se alarga gradualmente al agregar más secciones de tubería. El proceso continúa hasta que se alcanza la profundidad deseada.

[0003] Una vez finalizada la perforación, se instala una tubería de revestimiento en el pozo para protegerlo del colapso y evitar la contaminación de los recursos extraídos. La tubería de revestimiento por lo general se cementa en su lugar para sellar cualquier vía potencial para que el agua subterránea ingrese al pozo. Una vez preparado el pozo, se instala un sistema de bombeo de pozo para extraer los recursos del pozo. El tipo de bomba utilizada depende del tipo de recurso que se extrae, así como de la profundidad y el diámetro del pozo. Por ejemplo, se puede usar una bomba sumergible, una bomba secundaria o una bomba recíproca para un pozo petrolífero.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0004] Con el fin de describir la manera en que se pueden obtener las diversas ventajas y características de la divulgación, se presentará una descripción más particular de los principios que se describen en la presente con referencia a formas de realización específicas de estos que se ilustran en los dibujos adjuntos. Con el entendimiento de que estos dibujos muestran solo formas de realización de ejemplo de la divulgación y, no se deben considerar limitativos de su alcance, los principios en la presente se describen y explican con especificidad adicional y en detalle mediante los dibujos, en los cuales:

[0005] La Figura 1A es un diagrama esquemático de un entorno operativo de pozo de registro durante la perforación (LWD) de ejemplo de acuerdo con diversos aspectos de la divulgación;

[0006] La Figura 1B es un diagrama de un entorno de fondo de pozo de ejemplo que tiene tubulares, de acuerdo con diversos aspectos de la divulgación;

[0007] La Figura 2 ilustra un ejemplo de curva de rendimiento de un sistema de

bombeo de pozos de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación;

[0008] La Figura 3 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de monitorización de extracción configurado para monitorizar curvas de rendimiento en tiempo real de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación;

[0009] La Figura 4A ilustra un ejemplo de interfaz de usuario de una curva de rendimiento en función de los datos de medición en tiempo real que se representa en una aplicación cliente de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación;

[0010] La Figura 4B ilustra un ejemplo de interfaz de usuario de una curva de rendimiento en función de los datos de medición en tiempo real que se representa en una aplicación cliente de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación;

[0011] La Figura 5 ilustra un método de ejemplo para calibrar los datos de tiempo de ejecución de una instalación tal como un sitio de perforación o un sitio de bombeo de pozo de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación; y

[0012] La Figura 6 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un sistema para implementar ciertos aspectos de la presente tecnología de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0013] A continuación, se proporcionan ciertos aspectos de la presente divulgación. Algunos de estos aspectos pueden aplicarse de forma independiente y otros pueden aplicarse en combinación, como sería evidente para las personas del oficio de nivel medio. En la siguiente descripción, a efectos de explicación, se exponen detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión profunda de los aspectos de la solicitud. Sin embargo, será evidente que diversos aspectos pueden ponerse en práctica sin estos detalles específicos. Las figuras y descripciones no pretenden ser restrictivas.

[0014] La siguiente descripción proporciona solo aspectos de ejemplo y no pretende limitar el alcance, la aplicabilidad o la configuración de la divulgación. Más bien, la siguiente descripción de los aspectos de ejemplo proporcionará a las personas del oficio de nivel medio una descripción habilitante para implementar un aspecto de ejemplo. Se debe entender que se pueden realizar diversos cambios en la función y disposición de los elementos sin apartarse del espíritu y alcance de la solicitud como se establece en las reivindicaciones adjuntas.

[0015] Los términos "de ejemplo" y/o "ejemplo" se usan en la presente para significar "que sirve como ejemplo, instancia o ilustración". Cualquier aspecto que se describe en la presente como "de ejemplo" y/o "ejemplo" no debe interpretarse necesariamente como preferido o ventajoso sobre otros aspectos. Del mismo modo, la expresión "aspectos de la divulgación" no requiere que todos los aspectos de la divulgación incluyan la característica, ventaja o modo de operación analizado.

[0016] Como se describió anteriormente, un sistema de pozo (o un sitio de pozo) incluye una gran cantidad de componentes interoperativos, y muchos de estos componentes experimentan desgaste, fallas, condiciones adversas y otros problemas generales que pueden afectar la operación del sitio de pozo. En un aspecto ilustrativo, un sistema de bomba eléctrica sumergible (ESP), que también se denomina sistema de bombeo de elevación artificial, se puede implementar en el entorno de fondo de pozo (por ejemplo, en el pozo) y experimenta alta temperatura, presión inmensa, abrasivos a base de fluidos, gas excesivo, incrustaciones y

entornos de velocidad de flujo variable. La bomba eléctrica sumergible (ESP) obliga a los materiales dentro del pozo, o del entorno del fondo de pozo, a desplazarse hacia la superficie.

[0017] Una curva de rendimiento de la ESP se genera en una instalación de pruebas antes de su instalación en el entorno de fondo de pozo, e identifica varios parámetros con respecto a una velocidad de flujo. Un ejemplo de curva de rendimiento se describe más adelante y se muestra en la Figura 2. Por lo general, la ESP se prueba en una configuración normalizada con el uso de materiales de calibración, como el agua. La curva de rendimiento proporciona orientación al operador del sistema de bombeo del pozo para una extracción óptima en función de los datos de calibración.

[0018] El entorno de fondo de pozo es significativamente diferente del entorno de calibración y hay variables desconocidas que pueden afectar al rendimiento de la ESP. Los datos de medición de los sensores de la ESP pueden proporcionarse al equipo de superficie del suelo para proporcionar retroalimentación sobre el rendimiento de la ESP. El equipo de superficie del suelo también dispone de información, como el amperaje del motor, la tensión del motor, la frecuencia de la corriente alterna, junto con la telemetría recogida del medidor de fondo de pozo. En algunos casos, los datos pueden no estar disponibles porque el entorno de fondo de pozo es duro y puede hacer que fallen los enlaces de comunicación por diversos motivos. En otros casos, el sensor no puede comunicar datos en función de su configuración y los datos de los sensores están disponibles una vez extraídos del entorno del fondo de pozo. En otros casos, es posible que no se instale un sensor para determinados aspectos de los datos relevantes.

[0019] La curva de rendimiento de la ESP puede cambiar durante su funcionamiento debido a diversas razones intrínsecas y extrínsecas. Por ejemplo, la temperatura del material puede afectar a la eficacia de la operación debido a cambios en la viscosidad del material. La ESP también puede encontrar incrustaciones, que son depósitos minerales que afectan al funcionamiento del sistema de bombeo del pozo. La curva de rendimiento de la ESP que se genera en una instalación de pruebas es estática y no cambia tras su instalación en un entorno de fondo de pozo. Además, otros fenómenos físicos como la viscosidad del fluido, la densidad del fluido, la presencia de flujo multifásico, incrustaciones y/o partículas como la arena pueden afectar al rendimiento del sistema de bombeo del pozo.

[0020] La tecnología divulgada aborda lo anterior mediante el uso de datos de medición y aprendizaje automático para inferir datos no disponibles y proporcionar curvas de rendimiento en tiempo real y la confianza de las curvas en tiempo real. En un aspecto, los sistemas y técnicas divulgados mejoran la extracción de recursos del entorno de fondo de pozo mediante el escalado de la velocidad de flujo en función de la información en tiempo real y la información inferida no disponible. Los sistemas y técnicas pueden mostrar una curva de rendimiento y diversos parámetros y rangos que proporcionan retroalimentación visual al operador del sistema de bombeo del pozo y permiten tomar decisiones con conocimiento de causa. Por ejemplo, el operador del sistema de bombeo del pozo puede reducir la velocidad de flujo del material extraído cuando disminuye la eficacia debido a diversos problemas que puede encontrar la ESP. La toma de decisiones informada también afecta al deterioro de los componentes de la ESP durante su funcionamiento.

[0021] Los detalles y aspectos adicionales de la presente divulgación se describen con más detalle a continuación con respecto a las figuras.

[0022] La Figura 1A es un diagrama esquemático de un entorno operativo de registro durante la perforación (LWD) de ejemplo de un sitio de pozo, de acuerdo con diversos aspectos de la divulgación.

[0023] En algunos aspectos, se muestra una disposición de perforación que ejemplifica una configuración de LWD en un escenario de perforación de pozo 100. El LWD por lo general incorpora sensores que adquieren datos de la formación. La disposición de perforación de la Figura 1A también ejemplifica la medición durante la perforación (MWD) y utiliza sensores para adquirir datos a partir de los cuales se puede determinar la trayectoria y posición del pozo en el espacio tridimensional. La Figura 1A muestra una plataforma de perforación 102 equipada con una torre de perforación 104 que soporta un elevador 106 para subir y bajar una sarta de perforación 108. El elevador 106 suspende una unidad de mando superior 110 adecuada para girar y bajar la sarta de perforación 108 a través de un cabezal de pozo 112. Una barrena de perforación 114 puede estar conectada al extremo inferior de la sarta de perforación 108. A medida que la barrena de perforación 114 gira, la barrena de perforación 114 crea un pozo 116 que atraviesa una o más formaciones subterráneas 118. Una bomba 120 hace circular el fluido de perforación a través de una tubería de suministro 122 hasta la unidad de mando superior 110, hacia abajo a través del interior de la sarta de perforación 108 y hacia afuera de los orificios en la barrena de perforación 114 en el pozo. El fluido de perforación regresa a la superficie a través del anillo alrededor de la sarta de perforación 108, y hacia un pozo de retención 124. El fluido de perforación transporta recortes del pozo 116 hacia el pozo de retención 124 y la presencia del fluido de perforación en el anillo ayuda a mantener la integridad del pozo 116. Se pueden usar diversos materiales para el fluido de perforación, incluidos los fluidos a base de aceite y los fluidos a base de agua.

[0024] En algunos aspectos, una o más herramientas de registro 126 pueden integrarse en el ensamblaje de fondo de pozo 125 cerca de la barrena de perforación 114. A medida que la barrena de perforación 114 extiende el pozo 116 a través de las formaciones subterráneas 118, las herramientas de registro 126 recopilan mediciones relacionadas con diversas propiedades de formación, así como la orientación de la herramienta y diversas otras condiciones de perforación. En algunos casos, las herramientas de registro interactúan con diversos sensores y equipos. El ensamblaje de fondo de pozo 125 también puede incluir una unidad de telemetría 128 para transferir datos de medición a un receptor de superficie 132 y para recibir comandos desde la superficie. En al menos algunos casos, la unidad de telemetría 128 se comunica con un receptor de superficie 132 mediante telemetría de pulso de lodo. En algunas instancias, la unidad de telemetría 128 no se comunica con la superficie, sino que almacena datos de registro para su posterior recuperación en la superficie cuando se recupera el ensamblaje de registro.

[0025] Cada una de las herramientas de registro 126 puede incluir uno o más componentes de herramienta separados entre sí y acoplados comunicativamente por uno o más cables y/u otra disposición de comunicación. Las herramientas de registro 126 también pueden incluir uno o más dispositivos informáticos acoplados comunicativamente con uno o más de los componentes de herramienta. El uno o

más dispositivos informáticos pueden estar configurados para controlar o monitorear el rendimiento de la herramienta, procesar datos de registro, y/o llevar a cabo uno o más aspectos de los métodos y procesos de la presente divulgación.

[0026] En al menos algunos casos, una o más de las herramientas de registro 126 pueden comunicarse con un receptor de superficie 132 mediante un cable, tal como una tubería de perforación cableada. En otros casos, la una o más de las herramientas de registro 126 pueden comunicarse con un receptor de superficie 132 mediante transmisión de señal inalámbrica, tal como un radar de penetración terrestre. En al menos algunos casos, uno o más de las herramientas de registro 126 pueden recibir energía eléctrica de un cable que se extiende hasta la superficie, incluidos cables que se extienden a través de una tubería de perforación cableada.

[0027] En algunos aspectos, un collar 134 es un componente frecuente de una sarta de perforación 108 y generalmente se asemeja a una tubería cilíndrica de pared muy gruesa, por lo general con extremos roscados y un núcleo hueco para el transporte de fluido de perforación. En algunos casos, se pueden incluir múltiples collares 134 en la sarta de perforación 108 y se construyen y pretenden ser pesados para aplicar peso sobre la barrena de perforación 114 para ayudar al proceso de perforación. Debido al espesor de la pared del collar, se pueden proporcionar recortes de tipo bolsillo u otro tipo de rebajes en la pared del collar sin afectar negativamente la integridad (resistencia, rigidez y similares) del collar 134 como un componente de la sarta de perforación 108.

[0028] La Figura 1B es un diagrama de un entorno de fondo de pozo de ejemplo que tiene tubulares, de acuerdo con diversos aspectos de la divulgación. En algunos aspectos, se representa un sistema 140 de ejemplo para realizar mediciones de fondo de pozo después de que se haya perforado al menos una porción de un pozo y se haya retirado la sarta de perforación del pozo. Se muestra una herramienta de fondo de pozo que tiene un cuerpo de herramienta 146 para realizar registros, mediciones y/u otras operaciones. Por ejemplo, en lugar de utilizar la sarta de perforación 108 de la Figura 1A para bajar un cuerpo de herramienta 146, que puede contener sensores y/u otra instrumentación para detectar y registrar características y condiciones cercanas del pozo 116 y las formaciones circundantes, se puede utilizar un transporte de cableado 144.

[0029] El cuerpo de herramienta 146 se puede bajar en el pozo 116 mediante el transporte de cableado 144. El transporte de cableado 144 puede estar anclado en el equipo de perforación 142 o mediante un dispositivo portátil tal como un camión 145. La transmisión en línea de cable 144 puede incluir uno o más cables, línea de acero, cables y/o similares, así como transmisiones tubulares tales como tuberías bobinadas, tuberías conjuntas u otras transmisiones tubulares.

[0030] El transporte de cableado 144 proporciona energía y soporte para la herramienta, así como también permite la comunicación entre los sistemas de procesamiento 148 en la superficie. En algunos ejemplos, el transporte de cableado 144 puede incluir cableado eléctrico y/o de fibra óptica para realizar cualquier comunicación. El transporte de cableado 144 es lo suficientemente fuerte y flexible como para sujetar el cuerpo de herramienta 146 a través del pozo 116, al tiempo que permite la comunicación a través del transporte de cableado 144 a uno o más de los sistemas de procesamiento 148, que pueden incluir procesadores locales y/o

remotos. En algunos casos, se puede suministrar energía a través del transporte de cableado 144 para cumplir con los requisitos de energía de la herramienta. Para las configuraciones de línea de acero o tubería bobinada, se puede suministrar energía hacia el fondo del pozo con una batería o a través de un generador de fondo de pozo.

[0031] La Figura 2 ilustra un ejemplo de una curva de rendimiento 200 de un sistema de bombeo de pozos de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación. La curva de rendimiento 200 es un análisis estático del equipo en función de una evaluación de referencia normalizada, como se indica en la práctica recomendada 11S2 del Instituto del Petróleo. La curva de rendimiento 200 es un análisis de diferentes parámetros con respecto a una velocidad de flujo (por ejemplo, barriles por día, que se ilustra como barriles, por ejemplo, 42 galones estadounidenses). En este caso, la velocidad de flujo es un volumen por día. La curva de rendimiento 200 incluye una capacidad de carga 202, una eficacia 204 y una potencia de frenado (BHP) 206. La capacidad de carga 202 es la diferencia entre la presión de salida y de entrada de la bomba, convertida en elevación vertical. La eficacia 204 es la potencia medida de salida dividida por la potencia de entrada. Por ejemplo, para una ESP, la eficacia de la bomba 204 corresponde a la potencia hidráulica (por ejemplo, BHP de la bomba/eficacia de la bomba) dividida por los HP de entrada del motor ($\text{Voltios} * \text{Amperios} * \text{Eficacia del motor} \% * \text{Factor de potencia} * \text{Raíz cuadrada de } 3/745,7$), y la eficacia de la bomba corresponde a la velocidad de flujo multiplicado por la altura generada y dividido por BHP multiplicado por conversiones de unidades (por ejemplo, 136.000 bbl ft/HP día). La BHP 206 es la potencia requerida por la ESP probada con un fluido (por ejemplo, agua) con una gravedad específica de 1,0.

[0032] La capacidad de carga 202, la eficacia 204 y la BHP 206 funcionan en función de una velocidad de flujo. Los fabricantes generalmente publican ecuaciones polinómicas representativas para la capacidad de carga 202 y BHP 206 con respecto al rendimiento en agua dulce a una temperatura de 60 °F.

[0033] Sin embargo, la capacidad de carga 202, la eficacia 204 y la BHP 206 serán diferentes en entornos de campo. Por ejemplo, el material extraído puede estar a una temperatura más baja, y la viscosidad del material puede ser muy diferente, lo que afecta a la cantidad de energía consumida por la bomba. La eficacia también se desvía con el tiempo en función de parámetros adicionales no considerados por la curva de rendimiento 200, como los sólidos producidos que aumentan la erosión de las etapas de la bomba. Tampoco se tiene en cuenta el deterioro de la ESP, lo que aumenta la BHP necesaria en relación con la carga producida y reduce aún más la eficacia de la ESP.

[0034] La curva de rendimiento 200 incluye un rango de funcionamiento recomendado 208 que corresponde a un funcionamiento ideal para un sistema de bombeo de pozos. El rango de funcionamiento recomendado 208 representa una región en donde las características de empuje axial de la bomba tienen un impacto negativo mínimo en el funcionamiento de la etapa y representan la mayor eficacia.

[0035] En algunos aspectos, los sistemas y técnicas de la presente producen dinámicamente una curva de rendimiento, o una parte de la curva de rendimiento en función de los datos en tiempo real. En función de la visualización de la curva de rendimiento, un operador del sistema de bombeo de pozos puede tomar decisiones informadas sobre el funcionamiento del sistema de bombeo de pozos para extraer

materiales de forma eficaz, mejorar la longitud del recorrido y mejorar el ciclo de vida del equipo dentro del entorno de fondo de pozo.

[0036] La Figura 3 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de monitorización de extracción 300 configurado para monitorizar curvas de rendimiento en tiempo real de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación. En algunos aspectos, el sistema de monitorización de extracción 300 incluye un monitor en tiempo de ejecución 310, una aplicación cliente 320 y una base de datos 330. El monitor de tiempo de ejecución 310 incluye una calculadora de rendimiento que está configurada para generar curvas de rendimiento, que incluye curvas de tolerancia y curvas de confianza, en función de los datos de medición en tiempo real 340.

[0037] Los datos de medición en tiempo real 340 pueden incluir diversa información relevante para las operaciones del sistema de bombeo de pozos. Por ejemplo, el sistema de bombeo de pozos puede medir la corriente de un motor que acciona la ESP y la velocidad de rotación de la ESP. En otros aspectos, el sistema de bombeo de pozos puede medir otra información que afecte a la extracción del material. Por ejemplo, el sistema de bombeo de pozos puede incluir varios sensores de temperatura. En un ejemplo, un sensor de temperatura puede medir una temperatura del material que se extrae, o un sensor de temperatura puede medir una temperatura de una superficie dentro del pozo.

[0038] El monitor de tiempo de ejecución 310 incluye una calculadora de rendimiento 312 y un motor de inferencia de aprendizaje automático (ML) 314 que implementa varias técnicas (por ejemplo, una red neuronal, etc.) para aprender comportamientos complejos de forma no lineal similar a las neuronas humanas. La calculadora de rendimiento está configurada para calcular la curva de rendimiento mediante el uso del monitor de tiempo de ejecución 310 y otra información objetiva como estadísticas, datos de modelado asociados con los diversos componentes del sistema (por ejemplo, las curvas polinómicas de una ESP proporcionadas por el fabricante), e información inferida. En algunos casos, la calculadora de rendimiento 312 puede utilizar datos que no pueden medirse directamente en tiempo de ejecución. En este caso, la calculadora de rendimiento 312 puede solicitar al motor de inferencia ML 314 que infiera los datos en función de los datos de medición en tiempo real 340. En otros casos, el entorno de fondo de pozo puede causar un mal funcionamiento de la comunicación, y un sensor dentro del entorno de fondo de pozo puede no estar disponible. En ese caso, la calculadora de rendimiento 312 puede solicitar al motor de inferencia ML 314 que infiera los datos no disponibles en función de los datos de medición en tiempo real 340.

[0039] En algunos casos, el motor de inferencia ML 314 puede incluir uno o más modelos ML. Cada modelo ML está configurado para una tarea concreta, como por ejemplo para inferir los datos que faltan de un sensor determinado. En este caso, el sensor se entrena a partir de datos normalizados asociados a la medición y a otras variables como el material de la superficie del suelo, el material subterráneo, la temperatura, etc.

[0040] La calculadora de rendimiento 312 está configurada para generar una curva de rendimiento similar a la curva de rendimiento 200, pero puede configurarse para agregar detalles y contexto adicionales. En las Figuras 4A y 4B se muestran ejemplos de curvas de rendimiento. La calculadora de rendimiento 312 se configura entonces

para proporcionar los datos a una base de datos 330.

[0041] En algunos casos, el monitor de tiempo de ejecución 310 también está configurado para almacenar los datos de medición en tiempo real 340 y cualquier información inferida en la base de datos 330 para su uso en entrenamientos posteriores. En un ejemplo ilustrativo, la base de datos 330 es una base de datos de series temporales que normaliza todos los datos con respecto al tiempo y almacena otra información pertinente como temperatura, ubicación, presiones, velocidad de flujo, etc. En algunos aspectos, otros aspectos de las mediciones pueden normalizarse, como por ejemplo en función de la entrada de potencia, la entrada de potencia u otra medición correlacionada o semicorrelacionada.

[0042] La aplicación cliente 320 está configurada para mostrar las curvas de rendimiento generadas por la calculadora de rendimiento 312 en tiempo real. La aplicación cliente 320 puede ser cualquier tipo de aplicación, como una aplicación web que se renderiza en un navegador, un marco de plataforma que utiliza un desktop render para renderizar la aplicación o un navegador para renderizar, o un marco híbrido (por ejemplo, Xamarin, .Net MAUI, Electron, etc.) que utiliza un runtime de lenguaje común y un navegador embebido para ejecutar la aplicación. En algunos casos, la aplicación cliente puede ser una aplicación renderizada por el servidor.

[0043] La Figura 4A ilustra un ejemplo de interfaz de usuario 400 de una curva de rendimiento en función de los datos de medición en tiempo real que se representa en una aplicación cliente de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación.

[0044] La interfaz de usuario 400 incluye una curva de rendimiento 410 que identifica el rendimiento de la ESP en el entorno de fondo de pozo en función de los datos en tiempo real. Por ejemplo, la curva de rendimiento 410 incluye la capacidad de carga 412, la eficacia 414 y la BHP 416 de los datos de medición actuales. La curva de rendimiento 410 también puede incluir un cursor 418 que identifica un punto de funcionamiento en tiempo real.

[0045] La interfaz de usuario 400 también incluye una sección de control 420 para controlar la vista de la curva de rendimiento 410 en función de los datos pasados, presentes y futuros. Por ejemplo, la sección de control 420 incluye un control de datos previos para controlar los cambios de datos a lo largo de una duración, en este caso 60 minutos. La curva de rendimiento 410 también está configurada para mostrar datos pasados en función de la sección de control, como la capacidad de carga pasada 422 y la eficacia pasada 424. La curva de rendimiento 410 también puede identificar otras variaciones, como la diferencia de temperatura, la diferencia de velocidad de flujo, etc. En el ejemplo no limitativo mostrado en la interfaz de usuario 400, se ilustran el diferencial de temperatura, el diferencial de velocidad de flujo y el diferencial de presión de fondo de pozo.

[0046] La sección de control 420 también puede configurarse para proyectar el rendimiento en función de los datos inferidos. En este caso, la sección de control 420 incluye un nivel de confianza que controla los cálculos estadísticos y los niveles de inferencia. La sección de control 420 también incluye un control de proyección que permite a un usuario seleccionar una variable (por ejemplo, temperatura, presión, etc.) para identificar el rendimiento futuro. De este modo, un usuario puede determinar con conocimiento de causa el rendimiento del sistema de bombeo de pozos.

[0047] La Figura 4B ilustra un ejemplo de interfaz de usuario 450 de una curva de rendimiento en función de los datos de medición en tiempo real que se representa en una aplicación cliente de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación.

[0048] En este caso, la interfaz de usuario está configurada para mostrar sólo una parte de las curvas de rendimiento, por ejemplo, dentro del rango de funcionamiento recomendado (por ejemplo, la región de funcionamiento recomendada 208). La capacidad de carga 452 y la eficacia 454 se muestran con una banda que ilustra las regiones máxima y mínima. Las regiones máximas y mínimas están asociadas a cálculos estadísticos en función de datos medidos e inferidos. Además, se ilustra la confianza en la predicción. En función de la confianza y las bandas asociadas con la capacidad de carga 452 y la eficacia 454, un operador del sistema de bombeo de pozos puede identificar una región prioritaria 456 en la que la extracción de material puede ser mejor que un cursor 458 que identifica el rendimiento actual.

[0049] La Figura 5 ilustra un método de ejemplo 500 para calibrar los datos de tiempo de ejecución de una instalación tal como un sitio de perforación o un sitio de bombeo de pozo de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación. Aunque el método 500 de ejemplo representa una secuencia particular de operaciones, la secuencia puede alterarse sin apartarse del alcance de la presente divulgación. Por ejemplo, algunas de las operaciones representadas pueden realizarse en paralelo o en una secuencia diferente que no afecte materialmente la función del método 500. En otros ejemplos, diferentes componentes de un dispositivo o sistema de ejemplo que implementa el método 500 pueden realizar funciones sustancialmente al mismo tiempo o en una secuencia específica.

[0050] En algunos aspectos, se puede generar una curva convencional en función del equipo que se colocará en el entorno de fondo de pozo. Por ejemplo, antes de comenzar la ejecución, que es el período de tiempo que el equipo se dispone en el entorno de fondo de pozo y continúa hasta que el equipo se extrae del entorno de fondo de pozo, se genera una curva de rendimiento inicial. Como se describió anteriormente, la curva de rendimiento puede cambiar en función de los datos de medición durante la ejecución. La curva de rendimiento inicial del primer equipo es en función de una prueba de rendimiento normalizada del primer equipo mediante el uso de un material de calibración.

[0051] En el bloque 505, un sistema informático puede recibir primeros datos de medición de un primer equipo sumergido en un entorno de fondo de pozo durante una ejecución para extraer material del entorno de fondo de pozo.

[0052] En el bloque 510, un sistema informático puede predecir una segunda medición de un segundo equipo sumergido en el entorno de fondo de pozo durante la ejecución mediante el uso de un primer modelo de aprendizaje automático, en donde la curva de rendimiento es además en función de la segunda medición. Por ejemplo, el primer modelo de aprendizaje automático se entrena, al menos parcialmente, en función de los datos de medición del entorno de fondo de pozo. En algunos casos, el primer modelo de aprendizaje automático comprende un clasificador multietiqueta configurado para identificar clasificaciones del entorno de fondo de pozo y predecir la segunda medición en función de los datos de entrenamiento similares al entorno de fondo de pozo.

[0053] En el bloque 515, un sistema informático puede determinar que un tercer

equipo no está disponible durante la ejecución y, en respuesta a esta determinación, predecir terceros datos de medición asociados con el tercer equipo durante un tiempo en que el tercer equipo no está disponible. En algunos aspectos, la predicción de los datos que faltan puede ser realizada por un segundo modelo de aprendizaje automático configurado para inferir los datos que faltan para un sensor específico. Por ejemplo, el sensor puede desconectarse durante varios eventos, como un evento de alta presión en el entorno de fondo de pozo. El primer modelo de aprendizaje automático también puede entrenarse aún más en función de los entornos de fondo de pozo con diferentes características, y el primer modelo de aprendizaje automático puede identificar las características aprendidas correspondientes y aplicar el aprendizaje a la predicción.

[0054] En el bloque 520, un sistema informático puede determinar una curva de rendimiento en función de los datos de medición, la curva de rendimiento identifica una velocidad de extracción del material con respecto a la eficacia y la capacidad de carga. En un aspecto, la determinación de la curva de rendimiento puede incluir la predicción de un valor mínimo, un valor máximo y un valor real de la eficacia del equipo en función de una velocidad de flujo de material. El valor mínimo, el valor máximo y el valor real de la eficacia se proporcionan al operador para que éste pueda controlar el sistema de bombeo de pozos para obtener la máxima eficacia y prolongar la duración del funcionamiento, así como reducir los eventos de deterioro.

[0055] En el bloque 525, un sistema informático puede proporcionar la curva de rendimiento a un operador de la ejecución para retroalimentación en tiempo real asociada con el rendimiento del equipo en el entorno de fondo de pozo. Por ejemplo, como se muestra en las Figuras 4A y 4B, la curva de rendimiento puede utilizarse para identificar parámetros mejorados o entornos cambiantes. En algunos casos, la viscosidad del material puede cambiar, la presión puede cambiar y la temperatura puede cambiar. En función de los datos en tiempo real y en los datos inferidos, puede mejorarse el funcionamiento del sistema de bombeo de pozos.

[0056] En algunos casos, el sistema informático puede estimar una velocidad de flujo recomendada para el material con el fin de minimizar el deterioro del equipo en función del entorno de fondo de pozo. En este caso, el equipo puede conservarse en el entorno del fondo de pozo durante más tiempo, lo que genera más eficacia para la extracción de materiales.

[0057] La Figura 6 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un sistema para implementar ciertos aspectos de la presente tecnología de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación. Particularmente, la Figura 6 ilustra un ejemplo de sistema informático 600, que puede ser, por ejemplo, cualquier dispositivo informático que forme un sistema informático interno, un sistema informático remoto, una cámara o cualquier componente de este en el que los componentes del sistema estén en comunicación entre sí mediante el uso de una conexión 605. La conexión 605 puede ser una conexión física que usa un bus o una conexión directa al procesador 610, tal como en una arquitectura de conjunto de chips. La conexión 605 también puede ser una conexión virtual, una conexión en red o una conexión lógica.

[0058] En algunos aspectos, el sistema informático 600 es un sistema distribuido en el que las funciones que se describen en la presente divulgación pueden distribuirse dentro de un centro de datos, múltiples centros de datos, una red de pares, etc. En

algunos aspectos, uno o más de los componentes de sistema que se describen representan muchos de tales componentes, en donde cada uno realiza parte o la totalidad de la función para la cual se describe el componente. En algunos aspectos, los componentes pueden ser dispositivos físicos o virtuales.

[0059]El sistema informático 600 de ejemplo incluye al menos una unidad de procesamiento (CPU o procesador) 610 y una conexión 605 que acopla diversos componentes de sistema, incluso la memoria de sistema 615, tal como la ROM 620 y la RAM 625, al procesador 610. El sistema informático 600 puede incluir una caché 612 de memoria de alta velocidad conectada directamente con, en proximidad cercana a, o integrada como parte del procesador 610.

[0060]El procesador 610 puede incluir cualquier procesador de uso general y un servicio de hardware o un servicio de software, tal como los servicios 632, 634 y 636 almacenados en el dispositivo de almacenamiento 630, configurado para controlar el procesador 610, así como un procesador de uso específico donde las instrucciones de software están incorporadas en el diseño de procesador real. El procesador 610 puede ser esencialmente un sistema informático completamente autónomo, que contiene múltiples núcleos o procesadores, un bus, controlador de memoria, caché, etc. Un procesador multinúcleo puede ser simétrico o asimétrico.

[0061]Para permitir la interacción del usuario, el sistema informático 600 incluye un dispositivo de entrada 645, que puede representar cualquier cantidad de mecanismos de entrada, tales como un micrófono para hablar, una pantalla táctil para entrada gestual o gráfica, teclado, mouse, entrada de movimiento, habla, etc. El sistema informático 600 también puede incluir el dispositivo de salida 635, que puede ser uno o más de una serie de mecanismos de salida. En algunos casos, los sistemas multimodales pueden permitir a un usuario proporcionar múltiples tipos de entrada/salida para comunicarse con el sistema informático 600. El sistema informático 600 puede incluir la interfaz de comunicaciones 640, que generalmente puede gobernar y gestionar la entrada del usuario y la salida del sistema. La interfaz de comunicación puede realizar o facilitar la recepción y/o transmisión de comunicaciones por cable o inalámbricas mediante el uso de transceptores por cable y/o inalámbricos, incluso los que hacen uso de un conector/enchufe de audio, un conector/enchufe de micrófono, un puerto/enchufe de bus serie universal (USB), un puerto/enchufe Apple® Lightning®, un puerto/enchufe Ethernet, un puerto/enchufe de fibra óptica, un puerto/enchufe con cable propietario, una transferencia de señal inalámbrica Bluetooth®, una transferencia de señal inalámbrica BLE, una transferencia de señal inalámbrica IBEACON®, una transferencia de señal inalámbrica de RFID, transferencia de señal inalámbrica de comunicaciones de campo cercano (NFC), transferencia de señal inalámbrica de comunicación dedicada de corto alcance (DSRC), transferencia de señal inalámbrica de WiFi 802.11, transferencia de señal inalámbrica de WLAN, comunicación por luz visible (VLC), interoperabilidad mundial para el acceso por microondas (WiMAX), transferencia de señal inalámbrica de comunicación por IR, transferencia de señal de red telefónica pública conmutada (RTPC), transferencia de señal de red digital de servicios integrados (RDSI), transferencia de señales inalámbricas de redes de datos celulares 3G/4G/5G/LTE, transferencia de señales de redes ad hoc, transferencia de señales de ondas de radio, transferencia de señales de microondas, transferencia de señales

de infrarrojos, transferencia de señales de luz visible, transferencia de señales de luz ultravioleta, transferencia de señales inalámbricas a lo largo del espectro electromagnética o alguna combinación de estas. La interfaz de comunicaciones 640 también puede incluir uno o más receptores o transceptores del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que se utilizan para determinar una ubicación del sistema informático 600 en función de la recepción de una o más señales de uno o más satélites asociados con uno o más sistemas GNSS. Los sistemas GNSS incluyen, entre otros, el GPS estadounidense, el Sistema Global de Navegación por Satélite (GLONASS) ruso, el Sistema de Navegación por Satélite (BDS) BeiDou chino y el GNSS Galileo europeo. No hay restricciones en lo que respecta a la operación de cualquier disposición de hardware particular y, por lo tanto, las características básicas en la presente pueden reemplazarse fácilmente para mejorar las disposiciones de *hardware* o *firmware* a medida que se desarrollan.

[0062] El dispositivo de almacenamiento 630 puede ser un dispositivo de memoria no volátil y/o no transitorio y/o legible por computadora y puede ser un disco duro u otros tipos de medios legibles por computadora que puedan almacenar datos accesibles por una computadora, tales como casetes magnéticos, tarjetas de memoria flash, dispositivos de memoria de estado sólido, discos versátiles digitales, cartuchos, un disquete, un disco flexible, un disco duro, una cinta magnética, una banda magnética, cualquier otro medio de almacenamiento magnético, una memoria flash, una memoria de memristores, cualquier otra memoria de estado sólido, un disco óptico de memoria de solo lectura de disco compacto (CD-ROM), un disco óptico de disco compacto regrabable (CD), un disco óptico de disco de video digital (DVD), un disco óptico de disco blu-ray (BDD), un disco óptico holográfico, otro medio óptico, una tarjeta digital segura (SD), una tarjeta digital microsegura (microSD), una tarjeta Memory Stick®, un chip de tarjeta inteligente, un chip EMV, una tarjeta de módulo de identidad de abonado (SIM), una tarjeta mini/micro/nano/pico SIM, otro chip/tarjeta de circuito integrado (IC), una RAM, una RAM estática (SRAM), una RAM dinámica (DRAM), una ROM, una memoria de solo lectura programable (PROM), una memoria de solo lectura programable borrable (EPROM), una memoria de solo lectura programable borrable eléctricamente (EEPROM), una EPROM flash (FLASH EPROM), una memoria caché (L1/L2/L3/L4/L5/L#), una memoria de acceso aleatorio resistiva (RRAM/ReRAM), una memoria de cambio de fase (PCM), una memoria RAM de par de transferencia de spin (STT-RAM), otro chip o cartucho de memoria, y/o una combinación de estos.

[0063] El dispositivo de almacenamiento 630 puede incluir servicios de software, servidores, servicios, etc. que, cuando el código que define tal software es ejecutado por el procesador 610, hace que el sistema lleve a cabo una función. En algunos aspectos, un servicio de hardware que lleva a cabo una función particular puede incluir el componente de software almacenado en un medio legible por computadora conectado con los componentes de hardware necesarios, tales como el procesador 610, la conexión 605, el dispositivo de salida 635, etc., para llevar a cabo la función. La expresión "medio legible por computadora" incluye, entre otros, dispositivos de almacenamiento portátiles o no portátiles, dispositivos de almacenamiento óptico y diversos otros medios capaces de almacenar, contener o portar instrucciones y/o datos. Un medio legible por computadora puede incluir un medio no transitorio en el

que se pueden almacenar datos y que no incluye ondas portadoras y/o señales electrónicas transitorias que se propagan de manera inalámbrica o a través de conexiones por cable. Los ejemplos de un medio no transitorio pueden incluir, entre otros, un disco o cinta magnéticos, medios de almacenamiento óptico, tales como CD o DVD, memoria flash, memoria o dispositivos de memoria. Un medio legible por computadora puede tener almacenado en él código y/o instrucciones ejecutables por máquina que pueden representar un procedimiento, una función, un subprograma, un programa, una rutina, una subrutina, un módulo, un paquete de *software*, una clase, o cualquier combinación de instrucciones, estructuras de datos o declaraciones de programa. Un segmento de código puede acoplarse a otro segmento de código o a un circuito de *hardware* al pasar y/o recibir información, datos, argumentos, parámetros o contenidos de la memoria. La información, los argumentos, los parámetros, los datos, etc. pueden pasarse, reenviarse o transmitirse a través de cualquier medio adecuado, incluso el intercambio de memoria, el paso de mensajes, el paso de tókenes, la transmisión de red o similares.

[0064] En algunos casos, el dispositivo o aparato informático puede incluir diversos componentes, tales como uno o más dispositivos de entrada, uno o más dispositivos de salida, uno o más procesadores, uno o más microprocesadores, una o más microcomputadoras, una o más cámaras, uno o más sensores y/u otros componentes que están configurados para llevar a cabo las etapas de los procesos que se describen en la presente. En algunos ejemplos, el dispositivo informático puede incluir una pantalla, una o más interfaces de red configuradas para comunicar y/o recibir los datos, cualquier combinación de estas y/u otros componentes. La una o más interfaces de red pueden estar configuradas para comunicar y/o recibir datos por cable y/o inalámbricos, incluso datos de acuerdo con el estándar 3G, 4G, 5G y/u otro estándar celular, datos de acuerdo con los estándares de Wi-Fi (802.11x), datos de acuerdo con el estándar Bluetooth™, datos de acuerdo con el estándar IP y/u otros tipos de datos.

[0065] Los componentes del dispositivo informático pueden implementarse en circuitos. Por ejemplo, los componentes pueden incluir y/o pueden implementarse mediante el uso de circuitos electrónicos u otro *hardware* electrónico, que puede incluir uno o más circuitos electrónicos programables (por ejemplo, microprocesadores, GPU, DSP, CPU y/u otros circuitos electrónicos adecuados), y/o puede incluir y/o implementarse mediante el uso de *software* informático, *firmware* o cualquier combinación de estos, para realizar las diversas operaciones que se describen en la presente.

[0066] En algunos aspectos, los medios, memorias y dispositivos de almacenamiento legibles por computadora pueden incluir una señal por cable o inalámbrica que contiene una corriente de bits y similares. Sin embargo, cuando se mencionan, los medios de almacenamiento legibles por computadora no transitorios excluyen medios tales como energía, señales portadoras, ondas electromagnéticas y señales en sí.

[0067] Se proporcionan detalles específicos en la descripción anterior para proporcionar una comprensión exhaustiva de los aspectos y ejemplos proporcionados en la presente. Sin embargo, una persona del oficio de nivel medio entenderá que los aspectos pueden ponerse en práctica sin estos detalles

específicos. Para una mayor claridad de la explicación, la presente tecnología puede presentarse en algunos casos como que incluye bloques funcionales individuales que incluyen bloques funcionales que comprenden dispositivos, componentes de dispositivos, etapas o rutinas en un método materializado en *software* o combinaciones de *hardware* y *software*. Se pueden usar componentes adicionales distintos de los mostrados en las figuras y/o que se describen en la presente. Por ejemplo, los circuitos, sistemas, redes, procesos y otros componentes pueden mostrarse como componentes en forma de diagrama de bloques para no oscurecer los aspectos con detalles innecesarios. En otros casos, los circuitos, procesos, algoritmos, estructuras y técnicas conocidos pueden mostrarse sin detalles innecesarios para evitar oscurecer los aspectos.

[0068] Los aspectos individuales pueden describirse anteriormente como un proceso o método que se representa como un diagrama de flujo, un diagrama de flujo de datos, un diagrama de estructura o un diagrama de bloques. Aunque un diagrama de flujo puede describir las operaciones como un proceso secuencial, muchas de las operaciones pueden realizarse en paralelo o simultáneamente. Además, el orden de las operaciones se puede reordenar. Un proceso finaliza cuando se completan sus operaciones, pero puede tener etapas adicionales no incluidas en una figura. Un proceso puede corresponder a un método, una función, un procedimiento, una subrutina, un subprograma, etc. Cuando un proceso corresponde a una función, su finalización puede corresponder a un retorno de la función a la función de llamada o a la función principal.

[0069] Los procesos y métodos de acuerdo con los ejemplos que se describieron anteriormente pueden implementarse mediante instrucciones ejecutables por computadora que se almacenan en medios legibles por computadora o que están disponibles de otro modo a través de estos. Tales instrucciones pueden incluir, por ejemplo, instrucciones y datos que hacen que una computadora de uso general, una computadora de uso específico o un dispositivo de procesamiento lleve a cabo cierta función o un grupo de funciones, o que, de otro modo, configuran tales dispositivos para llevar a cabo cierta función o un grupo de funciones. Las porciones de recursos informáticos utilizados pueden ser accesibles a través de una red. Las instrucciones ejecutables por computadora pueden ser, por ejemplo, binarias, instrucciones de formato intermedio tales como lenguaje ensamblador, *firmware*, código fuente, etc. Los ejemplos de medios legibles por computadora que pueden utilizarse para almacenar instrucciones, información utilizada y/o información creada durante los métodos de acuerdo con los ejemplos que se describen incluyen discos ópticos o magnéticos, memoria flash, dispositivos USB provistos de memoria no volátil, dispositivos de almacenamiento en red, etc.

[0070] Los dispositivos que implementan procesos y métodos de acuerdo con esas divulgaciones pueden incluir *hardware*, *software*, *firmware*, *middleware*, microcódigo, lenguajes de descripción de *hardware*, y pueden adoptar cualquiera de una variedad de factores de forma. Cuando se implementan en *software*, *firmware*, *middleware* o microcódigo, el código de programa o los segmentos de código para realizar las tareas necesarias (por ejemplo, un producto de programa informático) pueden almacenarse en un medio legible por computadora o legible por máquina. Los procesadores pueden realizar las tareas necesarias. Los ejemplos típicos de factores

de forma incluyen computadoras portátiles, teléfonos inteligentes, teléfonos celulares, tabletas u otras computadoras personales de factor de forma pequeño, asistentes digitales personales, dispositivos para montaje en bastidor, dispositivos independientes, etc. La funcionalidad que se describe en la presente también puede materializarse en periféricos o tarjetas adicionales. Tal funcionalidad también puede implementarse en una placa de circuito entre diferentes chips o diferentes procesos que se ejecutan en un solo dispositivo, a modo de ejemplo adicional.

[0071] Las instrucciones, los medios para transmitir tales instrucciones, los recursos informáticos para ejecutarlas y otras estructuras para soportar tales recursos informáticos son medios de ejemplo para proporcionar las funciones que se describen en la divulgación.

[0072] En la descripción anterior, se describen aspectos de la solicitud con referencia a aspectos específicos de esta, pero las personas del oficio de nivel medio reconocerán que la solicitud no se limita a estos. Por lo tanto, si bien se describieron en la presente aspectos ilustrativos de la solicitud en detalle, se ha de entender que los conceptos inventivos pueden materializarse y emplearse de varias otras maneras, y que se pretende que las reivindicaciones adjuntas se interpreten como que incluyen tales variaciones, donde lo permita el estado de la técnica. Diversas características y aspectos de la solicitud que se describe anteriormente, pueden utilizarse de manera individual o conjunta. Además, los aspectos pueden utilizarse en cualquier cantidad de entornos y aplicaciones más allá de los que se describen en la presente sin apartarse del espíritu y alcance más amplios de la memoria descriptiva. En consecuencia, la memoria descriptiva y los dibujos se han de considerar ilustrativos en lugar de restrictivos. Con fines ilustrativos, los métodos se describen en un orden particular. Debería apreciarse que, en los aspectos alternativos, los métodos pueden llevarse a cabo en un orden diferente al que se describe.

[0073] Una persona del oficio de nivel medio apreciará que los símbolos o la terminología menor que (" $<$ ") y mayor que (" $>$ ") utilizados en la presente pueden reemplazarse con menor que o igual a (" $\leq$ ") y mayor que o igual a (" $\geq$ "), respectivamente, sin apartarse del alcance de esta descripción.

[0074] Cuando los componentes se describen como "configurados para" llevar a cabo ciertas operaciones, tal configuración se puede lograr, por ejemplo, al diseñar circuitos electrónicos u otro hardware para llevar a cabo la operación, al programar circuitos electrónicos programables (por ejemplo, microprocesadores, u otros circuitos electrónicos adecuados) para llevar a cabo la operación, o cualquier combinación de estos.

[0075] La frase "acoplado a" se refiere a cualquier componente que esté físicamente conectado a otro componente, ya sea directa o indirectamente, y/o cualquier componente que esté en comunicación con otro componente (por ejemplo, conectado al otro componente a través de una conexión por cable o inalámbrica, y/u otra interfaz de comunicación adecuada), ya sea directa o indirectamente.

[0076] El lenguaje de la reivindicación u otro lenguaje que recita "al menos uno de" un conjunto y/o "uno o más" de un conjunto indica que un miembro del conjunto o múltiples miembros del conjunto (en cualquier combinación) satisfacen la reivindicación. Por ejemplo, el lenguaje de la reivindicación que recita "al menos uno de A y B" o "al menos uno de A o B" significa A, B, o A y B. En otro ejemplo, el

lenguaje de la reivindicación que recita "al menos uno de A, B y C" o "al menos uno de A, B o C" significa A, B, C, o A y B, o A y C, o B y C, o A y B y C. El lenguaje "al menos uno de" un conjunto y/o "uno o más" de un conjunto no limita el conjunto a los elementos enumerados en el conjunto. Por ejemplo, el lenguaje de las reivindicaciones que dice "al menos uno de A y B" o "al menos uno de A o B" puede significar A, B, o A y B, y puede incluir además elementos no enumerados en el conjunto de A y B.

[0077][0001] Los diversos bloques lógicos, módulos, circuitos y etapas de algoritmo ilustrativos que se describen en relación con los aspectos divulgados en la presente pueden implementarse como *hardware* electrónico, *software* informático, *firmware* o combinaciones de estos. Para ilustrar claramente el hecho de que *hardware* y *software* son intercambiables, se describieron anteriormente diversos componentes, bloques, módulos, circuitos y etapas ilustrativos de manera general en función de su funcionalidad. Si tal funcionalidad se implementa como *hardware* o *software* depende de la aplicación particular y las limitaciones de diseño impuestas sobre el sistema en general. Las personas del oficio de nivel medio pueden implementar la funcionalidad que se describe de diversas maneras para cada aplicación en particular, pero no se debe interpretar que tales decisiones de implementación causan una desviación del alcance de la presente solicitud.

[0078] Las técnicas que se describen en la presente también pueden implementarse en *hardware* electrónico, *software* informático, *firmware* o cualquier combinación de estos. Tales técnicas pueden implementarse en cualquiera de una variedad de dispositivos, tales como computadoras de uso general, dispositivos móviles de comunicación inalámbrica o dispositivos de circuito integrado que tienen múltiples usos, incluso la aplicación en dispositivos móviles de comunicación inalámbrica y otros dispositivos. Cualesquier características que se describen como módulos o componentes pueden implementarse en conjunto en un dispositivo de lógica integrada o por separado como dispositivos distintos pero interoperables. Si se implementan en *software*, las técnicas pueden ser realizadas al menos en parte por un medio de almacenamiento de datos legible por computadora que comprende código de programa que incluye instrucciones que, cuando son ejecutadas, realizan uno o más de los métodos que se describen anteriormente. El medio de almacenamiento de datos legible por computadora puede formar parte de un producto de programa informático, que puede incluir materiales de embalaje. El medio legible por computadora puede comprender una memoria o un medio de almacenamiento de datos, tal como una memoria RAM, tal como una memoria de acceso aleatorio dinámica sincrónica (SDRAM), memoria ROM, memoria de acceso aleatorio no volátil (NVRAM), memoria EEPROM, memoria flash, medio de almacenamiento de datos magnético u óptico, y similares. Adicional o alternativamente, las técnicas pueden llevarse a cabo al menos en parte por un medio de comunicación legible por computadora que porta o comunica código de programa en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que puede acceder una computadora, y/o que puede leerse y/o ejecutarse por esta, tal como ondas o señales propagadas.

[0079] El código de programa puede ejecutarse por un procesador, que puede incluir uno o más procesadores, tales como uno o más DSP, microprocesadores de

propósito general, circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), matrices lógicas programables en campo (FPGA), u otros sistemas integrados equivalentes o circuitos lógicos discretos. Tal procesador puede estar configurado para realizar cualquiera de las técnicas que se describen en la presente divulgación. Un procesador de propósito general puede ser un microprocesador; pero como alternativa, el procesador puede ser cualquier procesador, controlador, microcontrolador o máquina de estados convencional. Un procesador también puede implementarse como una combinación de dispositivos informáticos, por ejemplo, una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores junto con un núcleo DSP, o cualquier otra configuración. En consecuencia, el término "procesador", como se usa en la presente, puede referirse a cualquiera de las estructuras anteriores, cualquier combinación de la estructura anterior o cualquier otra estructura o aparato adecuado para la implementación de las técnicas que se describen en la presente.

[0080] Los aspectos ilustrativos de la divulgación incluyen:

[0081] Aspecto 1. Un método para proporcionar retroalimentación de rendimiento de una instalación de extracción, que comprende: recibir primeros datos de medición de un primer equipo sumergido en un entorno de fondo de pozo durante una ejecución para extraer material del entorno de fondo de pozo; determinar una curva de rendimiento en función de los primeros datos de medición, en donde la curva de rendimiento identifica una velocidad de flujo de extracción del material con respecto a la eficacia y la capacidad de carga; y proporcionar la curva de rendimiento a un operador de la ejecución para obtener retroalimentación en tiempo real asociada con el rendimiento del equipo en el entorno de fondo de pozo.

[0082] Aspecto 2. El método de acuerdo con el aspecto 1, que comprende además: predecir una segunda medición de un segundo equipo sumergido en el entorno de fondo de pozo durante la ejecución mediante el uso de un primer modelo de aprendizaje automático, en donde la curva de rendimiento es además en función de la segunda medición.

[0083] Aspecto 3. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 2, en donde el primer modelo de aprendizaje automático se entrena, al menos parcialmente, en función de los datos de medición del entorno de fondo de pozo.

[0084] Aspecto 4. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 3, en donde el primer modelo de aprendizaje automático se entrena adicionalmente en función de entornos de fondo de pozo con diferentes características.

[0085] Aspecto 5. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 4, en donde el primer modelo de aprendizaje automático comprende un clasificador multietiqueta configurado para identificar clasificaciones del entorno de fondo de pozo y predecir la segunda medición en función de los datos de entrenamiento similares al entorno de fondo de pozo.

[0086] Aspecto 6. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 5, que comprende además: determinar que un tercer equipo deja de estar disponible durante la ejecución; y predecir terceros datos de medición asociados con el tercer equipo durante un tiempo en el que el tercer equipo deja de estar disponible.

[0087] Aspecto 7. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 6, en donde el cálculo de la curva de rendimiento en función de los primeros datos de

medición comprende: predecir un valor mínimo, un valor máximo y un valor real de una eficacia del equipo en función de una velocidad de flujo de material, en donde el valor mínimo, el valor máximo y el valor real de la eficacia se proporcionan al operador.

[0088]Aspecto 8. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 7, en donde, antes de comenzar la ejecución, se genera una curva de rendimiento inicial, y la curva de rendimiento cambia en función de los datos de medición durante la ejecución.

[0089]Aspecto 9. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 8, en donde la curva de rendimiento inicial del primer equipo es en función de una prueba de rendimiento normalizada del primer equipo mediante el uso de un material de calibración.

[0090]Aspecto 10. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 9, que comprende además: estimar una velocidad de flujo recomendada para que el material minimice el deterioro del equipo en función del entorno de fondo de pozo.

[0091]Aspecto 11. Un sistema para proporcionar retroalimentación del rendimiento de una instalación de extracción incluye un almacenamiento (implementado en circuitería) configurado para almacenar instrucciones y un procesador. El procesador está configurado para ejecutar las instrucciones y hacer que el procesador: reciba los primeros datos de medición de un primer equipo sumergido en un entorno de fondo de pozo durante una operación de extracción de material del entorno de fondo de pozo; determinar una curva de rendimiento en función de los primeros datos de medición, en donde la curva de rendimiento identifica una velocidad de extracción del material con respecto a la eficacia y la capacidad de carga; y proporcionar la curva de rendimiento a un operador de la ejecución para obtener retroalimentación en tiempo real asociada con el rendimiento del equipo en el entorno de fondo de pozo.

[0092]Aspecto 12. El sistema de acuerdo con el aspecto 11, en donde el procesador está configurado para ejecutar las instrucciones y hacer al procesador: predecir una segunda medición de un segundo equipo sumergido en el entorno de fondo de pozo durante la ejecución mediante el uso de un primer modelo de aprendizaje automático, en donde la curva de rendimiento está además en función de la segunda medición.

[0093]Aspecto 13. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 11 a 12, en donde el primer modelo de aprendizaje automático se entrena, al menos parcialmente, en función de los datos de medición del entorno de fondo de pozo.

[0094]Aspecto 14. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 11 a 13, en donde el primer modelo de aprendizaje automático se entrena adicionalmente en función de los entornos de fondo de pozo con diferentes características.

[0095]Aspecto 15. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 11 a 14, en donde el primer modelo de aprendizaje automático comprende un clasificador multietiqueta configurado para identificar clasificaciones del entorno de fondo de pozo y predecir la segunda medición en función de los datos de entrenamiento similares al entorno de fondo de pozo.

[0096]Aspecto 16. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 11 a 15, en donde el procesador está configurado para ejecutar las instrucciones y hacer al procesador: determinar que un tercer equipo no está disponible durante la ejecución;

y predecir terceros datos de medición asociados con el tercer equipo durante un tiempo en el que el tercer equipo no está disponible.

[0097] Aspecto 17. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 11 a 16, en donde el procesador está configurado para ejecutar las instrucciones y hacer al procesador: predecir un valor mínimo, un valor máximo y un valor real de una eficacia del equipo en función de una velocidad de flujo de material, en donde el valor mínimo, el valor máximo y el valor real de la eficacia se proporcionan al operador.

[0098] Aspecto 18. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 11 a 17, en donde se genera una curva de rendimiento inicial, y la curva de rendimiento cambia en función de los datos de medición durante la ejecución.

[0099] Aspecto 19. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 11 a 18, en donde la curva de rendimiento inicial del primer equipo es en función de una prueba de rendimiento normalizada del primer equipo mediante el uso de un material de calibración.

[00100] Aspecto 20. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 11 a 19, en donde el procesador está configurado para ejecutar las instrucciones y hacer al procesador: estimar una velocidad de flujo recomendada para el material para minimizar el deterioro del equipo en función del entorno de fondo de pozo.

[00101] Aspecto 21. Un medio de almacenamiento legible por computadora no transitorio que comprende instrucciones almacenadas en él que, cuando son ejecutadas por al menos un procesador, hace que el al menos un procesador realice las operaciones de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 10.

[00102] Aspecto 22. Un aparato para proporcionar retroalimentación del rendimiento de una instalación de extracción que comprende uno o más medios para realizar operaciones de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 10.