

ANÁLISIS DE TENDENCIAS A LARGO PLAZO DE LOS EQUIPOS PARA SISTEMAS DE POZOS

CAMPO TÉCNICO

[0001] La presente tecnología se refiere a un sistema de extracción de materiales de un pozo para el análisis de tendencias a largo plazo con el fin de detectar tendencias a largo plazo en equipos 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 es un diagrama conceptual que ilustra la normalización de datos

de operación para permitir la comparación en tiempo de ejecución a través de datos de pozo completos en tiempo real 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 tendencias a largo plazo de un sistema de bombeo para un pozo en tiempo real de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación;

[0009] La Figura 4 es una ilustración de una interfaz de usuario presentada a un operador de un sistema de bombeo para un pozo para el control en tiempo real del sistema de bombeo de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación;

[0010] La Figura 5 ilustra un método de ejemplo para la identificación de tendencias en un sistema de bombeo para un pozo de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación; y

[0011] La Figura 6 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un sistema para implementar ciertos aspectos de la presente tecnología.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0012] 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.

[0013] 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.

[0014] 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.

[0015] 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

al material del interior del pozo, o del entorno del fondo de pozo, a desplazarse hacia la superficie.

[0016] La operación de un ESP comienza con la inserción del equipo en el entorno del fondo del pozo y continúa hasta que se extrae el equipo. Una operación puede terminar por varias razones, pero normalmente porque hay un fallo que impide continuar la operación en el entorno del fondo del pozo. En el ciclo de vida del pozo pueden producirse muchas operaciones diferentes, y los pequeños cambios sutiles entre las distintas operaciones son difíciles de detectar con las técnicas convencionales debido a las diferentes configuraciones, las variaciones ambientales como la temperatura, las estaciones del año, etc. No existe ningún sistema operado por humanos que sea capaz de controlar las tendencias de los datos, que pueden consistir en millones de puntos de datos. Tratar de hacer converger todos los puntos de datos en herramientas convencionales como las hojas de cálculo sería poco práctico debido a las diversas complejidades, como que los equipos pueden tener diferentes velocidades de notificación de datos, que la desnaturalización de los datos para abordar las anomalías debidas a la escala sería imposible, etc.

[0017] La tecnología divulgada aborda lo anterior normalizando los datos de todas las operaciones, combinando los datos normalizados de todas las operaciones de una instalación y analizando los datos normalizados con un modelo de aprendizaje automático para identificar tendencias que son invisibles al ojo humano y a las técnicas convencionales de análisis de datos. En algunos aspectos, la tecnología divulgada puede proporcionar información en tiempo real relativa a una operación para permitir la identificación de problemas y abordar el funcionamiento del equipo en tiempo real. La tecnología divulgada favorece periodos de funcionamiento más largos y puede reducir el mantenimiento de los equipos al facilitar la toma de decisiones.

[0018] Varios aspectos incluyen un sistema que incluye uno o más procesadores y al menos un medio de almacenamiento legible por computadora que almacena instrucciones que, cuando son ejecutadas por el uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores: reciban primeros datos de medición asociados con o desde equipos sumergidos en un ambiente de fondo de pozo durante una porción de una operación actual para extraer materiales del ambiente de fondo de pozo en un sistema de bombeo para un pozo; normalicen los primeros datos de medición; eliminen porciones de datos normalizados del sistema de bombeo para un pozo que están asociados con incrustaciones; combinar los datos normalizados con datos anteriores para obtener datos completos del pozo, en donde los datos anteriores están asociados con operaciones previas del entorno de fondo de pozo; proporcionar los datos completos del pozo a un primer modelo de aprendizaje automático para identificar tendencias asociadas con los datos completos del pozo; recibir etiquetas asociadas con el funcionamiento de un primer equipo del primer modelo de aprendizaje automático; y mostrar información relativa a tendencias y eventos asociados con la totalidad de la operación actual.

[0019] Los detalles y aspectos adicionales de la presente divulgación se describen con más detalle a continuación con respecto a las figuras.

[0020] 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.

[0021]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 espacio anular 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.

[0022]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.

[0023]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.

[0024]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.

[0025]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.

[0026]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.

[0027]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.

[0028]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. **[0029]** La Figura 2 es un diagrama conceptual 200 que ilustra la normalización de datos de operación para permitir la comparación en tiempo de ejecución a través de datos de pozo completos en tiempo real de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación. En algunos aspectos, el diagrama 200 ilustra una primera operación 202, una segunda operación 204, una tercera operación 206 y una cuarta operación 208. Las operaciones se normalizan para el ciclo de vida con el fin de ilustrar el caudal en el tiempo durante la duración de la operación. La operación comienza con un flujo de cero y aumenta hasta que el equipo de fondo de pozo está colocado y configurado para funcionar con eficacia. Una vez optimizado, el caudal, que es el volumen de material extraído del fondo del pozo por unidad de tiempo, aumenta hasta que se alcanza un caudal que maximiza la eficiencia energética.

[0030] En el caso ilustrado en la Figura 2, la primera operación 202 corresponde a la ejecución inicial, y la segunda operación 204 es otra operación posterior a la primera operación, la tercera operación 206 es posterior a la segunda operación 204, y la cuarta operación 208 es la operación completada más reciente. La Figura 2 ilustra el funcionamiento de un único pozo con fines ilustrativos y las operaciones pueden ser diferentes pozos en la misma o diferente geografía. Como se describe con más detalle en los aspectos siguientes, las operaciones de los sistemas de bombeo varían al igual que los datos recopilados que se utilizan para generar diversos modelos, etiquetas y otros datos para mejorar las operaciones.

[0031] En este caso, el caudal puede variar en función del ciclo de vida del equipo. Por ejemplo, el caudal medio de la cuarta operación 208 es inferior al caudal medio de la primera operación 202. Por ejemplo, el ESP puede experimentar un deterioro que reduzca su eficiencia, y el operador del sistema de bombeo de un pozo controla el equipo para prolongar la vida útil de la cuarta operación 208. En algunos casos, la avería completa del equipo puede suponer más costes que controlar el equipo para que funcione más despacio y aumente la duración de la operación. Aunque las operaciones se ilustran como finalizando al mismo tiempo, el eje temporal se normaliza en función de una hora de inicio y una hora de finalización. Por ejemplo, la segunda operación 204 puede ser el doble de larga que la primera operación 202 en función de la experiencia adquirida durante la primera operación 202.

[0032] Dentro de la primera operación, las muestras de varios equipos se ilustran en la Figura 2. Por ejemplo, los primeros datos de medición 210 de un primer equipo (por ejemplo, la corriente consumida por un motor de un ESP), un segundo dato de medición 212 de un segundo equipo (por ejemplo, un sensor de temperatura en el entorno de fondo de pozo), un tercer dato de medición 214 (por ejemplo, una velocidad de rotación de un ESP) pueden ser recibidos durante la primera operación 202. Como se muestra en la Figura 2, a través de una duración de tiempo de t_0 a t_1 , los primeros datos de medición 210 incluyen cuatro muestras (A1 a A4), los segundos datos de medición 212 incluyen cinco muestras (B1 a B5), y los terceros datos de medición 214 incluyen ocho muestras (C1 a C8) porque los diversos sensores pueden tener diferentes frecuencias de muestreo. Para una formación y detección de tendencias precisas, los datos de medición (por ejemplo, los primeros datos de medición 210, los segundos datos de medición 212 y los terceros datos de medición 214) pueden normalizarse en el tiempo en datos unitarios 220 y almacenarse en un

mecanismo de almacenamiento de datos (por ejemplo, una base de datos de series temporales, un servicio de almacenamiento en la nube, etc.).

[0033] En algunos aspectos, los datos unitarios 220 pueden incluir 6 muestras discretas que representan la duración temporal entre los tiempos t_0 y t_1 . Es decir, los datos unitarios pueden tener una frecuencia de muestreo mayor o menor que los datos de medición, y cada elemento de datos anterior (por ejemplo, A1 a A4, B1 a B5 y C1 a C8) se interpolan en los datos unitarios 220. La detección de tendencias, la identificación de eventos que causan anomalías y el entrenamiento de modelos de aprendizaje automático pueden simplificarse en función de la normalización en el tiempo. En algunos casos, también puede producirse la normalización entre unidades, tal como la normalización de parámetros dependientes del consumo de energía, con respecto a otra medición. Por ejemplo, el tercer dato de medición 214 (por ejemplo, velocidad de rotación) puede convertirse a velocidad de rotación en función de una corriente en el primer dato de medición 210 (por ejemplo, amperaje).

[0034] La Figura 3 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de monitorización de extracción 300 configurado para monitorizar tendencias a largo plazo de un sistema de bombeo para un pozo 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 en tiempo de ejecución 310 incluye un motor de medición 312 que está configurado para controlar diversas mediciones e inferencias en conexión con un motor de inferencia de aprendizaje automático (ML) 314. El motor de medición 312 está configurado para controlar uno o más modelos ML del motor de inferencia ML 314 para realizar múltiples predicciones de tendencias a corto y largo plazo en función de datos de medición en tiempo real 340.

[0035] Los datos de medición en tiempo real 340 pueden incluir diversa información relevante para las operaciones del sistema de bombeo de un pozo. Por ejemplo, el sistema de bombeo de un pozo puede medir la corriente de un motor que acciona el ESP y la velocidad de rotación del ESP. En otros aspectos, el sistema de bombeo de un pozo puede medir otra información que afecte a la extracción del material. Por ejemplo, el sistema de bombeo de un pozo 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.

[0036] El motor de inferencia ML 314 puede incluir una pluralidad de modelos ML que están configurados para diversas tareas del sistema de bombeo para un pozo. Ejemplos no limitativos de modelos ML del motor de inferencia ML 314 incluyen un modelo de datos faltantes 315, un modelo de datos fuera de línea 316, y un modelo de tendencia de operación 317. En algunos aspectos, el modelo de datos faltantes 315 está configurado para inferir mediciones cuando un sensor se desconecta. Por ejemplo, un sensor puede dejar de estar disponible en un entorno de alta presión y pasar a estarlo temporalmente. El motor de inferencia ML 314 está configurado para inferir datos faltantes de sensores no disponibles utilizando el modelo de datos faltantes 315. El modelo de datos fuera de línea 316 está configurado para inferir operaciones de un sensor que no está disponible en absoluto durante la operación. Por ejemplo, algunos sensores pueden estar registrando datos, pero son incapaces

de proporcionar esos datos durante la operación y el modelo de datos offline 316 está configurado para inferir las mediciones en función de un entrenamiento previo utilizando datos registrados.

[0037] En algunos aspectos, el modelo de tendencia de operación 317 está configurado para analizar tendencias a través de todas las operaciones asociadas con un sistema de bombeo para un pozo e identificar y predecir cambios a largo plazo. Por ejemplo, el modelo de tendencia de funcionamiento 317 puede predecir que la temperatura puede aumentar 0,1 grados durante la próxima hora, lo que puede utilizarse para ayudar a controlar el motor del ESP. El modelo de tendencia de funcionamiento 317 se entrena en función de una combinación de datos preexistentes asociados con otros sistemas de bombeo para un pozo que son similares o diferentes. En algunos casos, el modelo de tendencia de la operación 317 se entrena en función de la normalización de todos los datos de operaciones anteriores en función del tiempo y otras unidades para identificar patrones con respecto a una serie de variaciones que una persona no puede identificar (por ejemplo, ubicación, materiales de la superficie, temperatura).

[0038] En algunos aspectos, el modelo de tendencia de funcionamiento 317 está configurado para detectar un cambio en un parámetro de medición en función de un umbral de relación específico. En algunos casos, el cambio puede ser un aumento, una disminución o un cambio en la varianza (por ejemplo, una desviación en la medición). Por ejemplo, una medición puede ser estable y tener una desviación baja y un aumento del rango de desviación puede indicar un cambio en el entorno del fondo del pozo. En un ejemplo, el modelo ML puede configurarse para construir una ventana deslizante dinámica que identifique una tendencia durante un largo periodo de tiempo. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2, las mediciones pueden cambiar significativamente al principio y al final de una operación, y el modelo ML puede dar cuenta de los diferentes eventos del ciclo de vida de la operación. El modelo de tendencia de funcionamiento 317 puede identificar la gravedad de una tendencia e implementar una detección de anomalías de tendencia larga que identifique tendencias a largo plazo que puedan afectar al funcionamiento y al ciclo de vida del equipo.

[0039] El monitor de tiempo de ejecución 310 puede ser configurado para filtrar eventos de corto plazo asociados con los datos complejos en función de datos de medición en tiempo real 340 y construir datos completos de operación de pozo. En un ejemplo ilustrativo, el monitor de tiempo de ejecución 310 filtra eventos como la escala y luego combina los datos de operación actuales con los datos de operación de pozos pasados. En un caso, todos los datos de funcionamiento disponibles, incluida cualquier información de configuración diferente, pueden ser proporcionados por el modelo de tendencia de funcionamiento 317 para identificar una tendencia a largo plazo. El modelo de tendencia de operación 317 opera durante un período de tiempo más largo y puede ejecutarse con un mayor volumen de datos con menor frecuencia que el modelo de datos faltantes 315 y el modelo de datos fuera de línea 316.

[0040] En algunos casos, el modelo 317 de tendencia operativa se entrena a partir de la identificación de umbrales en torno a determinados comportamientos en múltiples dimensiones. Por ejemplo, el entrenamiento puede implicar el corte

horizontal de los datos en función de los desencadenantes para acorralar los eventos con el fin de entrenar el ML para detectar o predecir eventos. Por ejemplo, un disparador horizontal pueden ser patrones de datos simples como ± 2 desviaciones estándar (2σ). En otro ejemplo, un disparador vertical puede ser un modelo autorregresivo que construye a partir de un modelo asociado una operación estándar y genera bandas o rangos de predicción dentro de ese modelo. En este caso, el modelo puede estar configurado para identificar el funcionamiento normal, y la desviación del modelo corresponde a una anomalía dentro del sistema. El uso de varios modelos para entrenar el modelo de tendencias de funcionamiento 317 permite identificar anomalías que pueden ser indetectables para un operador humano.

[0041]El monitor en 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 otras dimensiones y almacena otra información pertinente como temperatura, ubicación, presiones, caudal, etc. Los equipos en un entorno de fondo de pozo no están sincronizados ni en el tiempo ni en los intervalos de notificación. Por ejemplo, algunos equipos informan de los datos en intervalos de diez minutos, otros informan de los datos cada segundo y otros informan de los datos entre segundos y minutos. La normalización en el tiempo permite comparar sucesos en el mismo entorno de fondo de pozo o en entornos diferentes.

[0042]La normalización de los datos en otras dimensiones, como la potencia, permite la identificación de relaciones entre sucesos y posibilita las comparaciones con otros entornos de fondo de pozo, ya sea en la misma región geográfica o en otra distinta. En algunos casos, el equipo puede variar de un entorno de fondo de pozo a otro, y la normalización de los datos es en función de parámetros de diferentes entornos de fondo de pozo. Por ejemplo, dos pozos adyacentes pueden utilizar diferentes bombas que tienen diferentes frecuencias de funcionamiento (por ejemplo, en revoluciones por minuto (RPM)) y consumo de energía. La normalización de los datos en diferentes entornos de fondo de pozo permite compararlos con otros entornos operativos y se puede configurar un modelo de aprendizaje automático para aprender tendencias, eventos y otros factores relacionados con la mejora del ciclo de vida del pozo en función de las tendencias a largo plazo. Mediante el análisis de múltiples ejecuciones de diferentes entornos de fondo de pozo y diferentes regiones geográficas, el modelo ML puede identificar relaciones implícitas que no pueden ser identificadas por los seres humanos porque un modelo ML puede tener un número de hiperparámetros de varios miles a cientos de miles de millones. Normalizar los datos en tiempo y magnitud mejora la capacidad del modelo ML para identificar relaciones.

[0043]En algunos casos, el monitor de tiempo de ejecución 310 también incluye modelos de múltiples variables que encuentran las relaciones dentro de un solo ambiente de fondo de pozo. En este caso, se puede extraer un modelo y los parámetros asociados a ese modelo para identificar las relaciones sin normalización. El monitor en tiempo de ejecución 310 puede preprocesar los datos antes del entrenamiento. El proceso de formación propiamente dicho incluiría la normalización

de cada conjunto de datos asociado a diversos entornos de fondo de pozo para proporcionar una comparación de calidad que permita identificar tendencias a largo plazo en función de diversos sucesos dentro del entorno de fondo de pozo y externos a este.

[0044]La aplicación cliente 320 está configurada para mostrar la información de rendimiento en función de tendencias a corto plazo y tendencias a largo plazo en tiempo real. La aplicación cliente 320 puede ser cualquier tipo de aplicación, tal como una aplicación web que se renderiza en un navegador, un framework de plataforma que utiliza un desktop render para renderizar la aplicación o un navegador para renderizar, o un framework 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.

[0045]La Figura 4 es una ilustración de una interfaz de usuario 400 presentada a un operador de un sistema de bombeo para un pozo para el control en tiempo real del sistema de bombeo para un pozo de acuerdo con algunos aspectos de la divulgación. La interfaz de usuario 400 está configurada para proporcionar múltiples tipos de información en diferentes formas y utilizar la información proporcionada por el motor de inferencia ML 314. En algunos casos, el modelo de tendencia de operación 317 puede proporcionar alertas en función de la operación actual con respecto a operaciones anteriores y proporcionar la información contextual necesaria.

[0046]Por ejemplo, la interfaz de usuario 400 incluye un gráfico 410 que muestra el caudal actual y el anterior a lo largo del tiempo. En este caso, el tiempo no se normaliza para ilustrar el caudal de una operación actual 412 en comparación con una primera operación 414 y una segunda operación 416. El gráfico 410 también puede incluir un marcador 418 que puede identificar información adicional de los datos de medición. En algunos casos, el marcador 418 puede ser anotado en función del motor de inferencia ML 314 para identificar un evento y/o puede ser anotado manualmente para indicar información relevante al estado del sistema de bombeo para un pozo y equipo.

[0047]El gráfico 420 muestra un diferencial de caudal con respecto a un valor de entrada. Por ejemplo, un usuario puede seleccionar que el diferencial sea en función de la media de los caudales anteriores modificada por una función de suelo para denotar el inicio y el final de la operación. En este caso, la corriente 422 corresponde al gráfico 410. En algunos aspectos, el operador es capaz de controlar la aplicación para seleccionar una porción de datos para el entrenamiento en función de cuestiones. Como se ha indicado anteriormente, el modelo de tendencia de funcionamiento 317 puede utilizar ventanas deslizantes para identificar tendencias a largo plazo que pueden manifestarse en función de pequeños ajustes. La ventana deslizante 424 en el gráfico 420 detecta una acción de corrección en comparación con cambios anteriores en el caudal. En algunos casos, el modelo de tendencia de operación 317 puede detectar la terminación de la tendencia utilizando la ventana deslizante 424 y el operador puede seleccionar una porción de datos y etiquetar esa porción de datos para el entrenamiento. Por ejemplo, se proporciona un control de entrada de usuario 426 para permitir al operador seleccionar una etiqueta correspondiente. En algunos aspectos, los modelos ML están configurados para

identificar puntos de inflexión dentro del conjunto de datos, e identificar tendencias y otra información alrededor de los puntos de inflexión. En conjuntos de datos multivariados, la identificación de un punto de inflexión es más complicada, y el objetivo es utilizar varios mecanismos de detección como la ventana deslizante 424 para identificar desviaciones del comportamiento estándar como información precipitante de los eventos.

[0048]El gráfico 430 muestra una corriente (o potencia) que se modifica mediante una función de suelo para denotar los datos iniciales y finales. En este caso, la operación actual 432 sigue una tendencia similar a una segunda operación 434 que parece terminar abruptamente en comparación con una tercera operación 436. También se puede proporcionar un contexto adicional como, por ejemplo, que se haya iniciado la producción en un pozo adyacente o que una ola de calor haya provocado el sobrecalentamiento de un variador de velocidad en la segunda operación 434. Los sucesos externos pueden proporcionar nueva información sobre cómo afectan los sucesos externos a las operaciones en el entorno del fondo del pozo. En otros casos, las diferencias de tendencias entre un pozo y otro podrían explicarse por motores diferentes o desviaciones en los equipos (por ejemplo, motores) u otra configuración.

[0049]El gráfico 440 muestra las revoluciones por minuto (RPM) de un motor con respecto al tiempo. En este ejemplo, la operación actual 442 está empujando más velocidad en comparación con una primera operación 444. El motor puede haber sido reemplazado después de la primera operación 444 y fue accionado a un RPM más alto en una tercera operación 446. En algunos aspectos, el modelo de tendencia de operación 317 puede ser capaz de proporcionar una salida con respecto al rango de operación deseado en función de los datos colectivos de todas las operaciones (o datos completos del pozo). Por ejemplo, el modelo de tendencia de funcionamiento 317 puede generar un rango de recomendación 448 para accionar el motor.

[0050]La Figura 5 ilustra un ejemplo de método para la identificación de tendencias a largo plazo en un sistema de bombeo para un 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.

[0051]En algunos aspectos, el método 500 puede ser ejecutado por un sistema informático que está operablemente acoplado al sistema de bombeo de un pozo. Por ejemplo, un operador del sistema de bombeo de un pozo puede ejecutar una aplicación cliente (por ejemplo, la aplicación cliente 320) en un dispositivo de tableta portátil que está conectado de forma inalámbrica a un servicio centralizado. En este caso, el dispositivo de tableta portátil no puede recibir información directamente de los distintos equipos y sensores del sistema de bombeo de un pozo. La aplicación cliente puede ejecutarse en un sistema informático y estar configurada para recibir mediciones del equipo y puede realizar aspectos del método 500. Por ejemplo, el

sistema informático puede almacenar y ejecutar el modelo ML localmente. Los modelos ML pueden ser bastante grandes en función del número de parámetros entrenados y la precisión de los parámetros (por ejemplo, tamaños de bits, como un punto flotante de 32 bits o un punto flotante de 8 bits).

[0052]En el bloque 505, el sistema informático puede recibir primeros datos de medición asociados con o procedentes de equipos sumergidos en un entorno de fondo de pozo durante una parte de una operación actual de extracción de materiales del entorno de fondo de pozo en un sistema de bombeo para un pozo.

[0053]En el bloque 510, el sistema informático puede normalizar los primeros datos de medición en función de una correlación asociada con el equipo sumergido en el entorno de fondo de pozo. Por ejemplo, los primeros datos de medición pueden normalizarse para que tengan la misma marca de tiempo y representen un periodo de tiempo idéntico. Entre las técnicas no limitativas para normalizar los datos se incluyen la interpolación lineal, la interpolación no lineal, una interpolación de aprendizaje automático, etc. La normalización también puede estar asociada a datos y equipos diversos instalados en diferentes emplazamientos de pozos (por ejemplo, entornos de fondo de pozo). Por ejemplo, diferentes motores y otros equipos pueden tener diferentes rangos de medición, junto con diferentes tolerancias, basadas en su función. En este caso, las mediciones asociadas a los equipos no pueden compararse directamente debido a una magnitud diferente asociada a las mediciones. El sistema informático puede configurarse para correlacionar diferentes mediciones en función de relaciones de unidades y otros principios y normalizar la magnitud de las mediciones para su análisis.

[0054]En el bloque 515, el sistema informático puede eliminar porciones de datos normalizados del sistema de bombeo para un pozo que estén asociadas con anomalías del conjunto de datos. Por ejemplo, los depósitos duros pueden producirse a intervalos aleatorios y aportar ruido al modelo de aprendizaje automático, lo que complica el proceso de aprendizaje durante el entrenamiento.

[0055]En el bloque 520, el sistema informático puede combinar los datos normalizados con los datos anteriores en datos de pozo completos. Los datos anteriores están asociados a operaciones previas del entorno de fondo de pozo. Por ejemplo, las operaciones anteriores incluyen todas las operaciones anteriores disponibles. Combinando los datos normalizados, pueden detectarse y corregirse tendencias en múltiples operaciones.

[0056]En el bloque 525, el sistema informático puede proporcionar los datos completos del pozo a un primer modelo de aprendizaje automático para identificar tendencias asociadas con los datos completos del pozo. En algunos aspectos, el primer modelo de aprendizaje automático está configurado para detectar la condición de alarma utilizando una ventana deslizante durante un período de tiempo utilizando los datos completos del pozo. La ventana deslizante puede estar dentro de una sola operación y también puede extenderse a través de operaciones. Para extenderse a través de las operaciones, la ventana deslizante también puede utilizar una función suplementaria, como una función de piso, para eliminar partes de los datos de la operación y permitir comparaciones a través de las operaciones. Por ejemplo, el caudal siempre aumentará o disminuirá bruscamente durante el inicio y el final de una operación, y la función de suelo puede permitir comparaciones directas de los

datos de operación fuera de los bordes de las operaciones.

[0057]En el bloque 530, el sistema informático puede recibir etiquetas asociadas con el funcionamiento de un primer equipo desde el primer modelo de aprendizaje automático. Las etiquetas están asociadas a la parte de la operación actual. Las etiquetas contienen información que indica cambios con respecto a las operaciones anteriores. Por ejemplo, las etiquetas pueden identificar un cambio en función de una variable ambiental que hace que un equipo particular dentro del ambiente de fondo de pozo opere dentro de un rango de tolerancia diferente.

[0058]En el bloque 535, el sistema informático puede mostrar información relativa a tendencias y eventos asociados con la totalidad de la operación actual. En algunos casos, la información puede inducir a un operador de la instalación del pozo a introducir datos en un dispositivo para controlar el equipo y evitar la tendencia. En otros casos, el sistema informático puede incluir funciones de sistema de control y controlar uno o más equipos. Por ejemplo, la potencia del motor puede reducirse automáticamente.

[0059]Como un ejemplo del bloque 535, el sistema informático puede identificar una condición de alarma asociada con una tendencia con respecto a la operación del equipo en función de una tendencia actual experimentada dentro del ambiente de fondo de pozo. El sistema informático puede identificar una acción correctiva a tomar en función de la condición de alarma para resolver la tendencia y luego controlar autónomamente el equipo para resolver la tendencia.

[0060]En algunos casos, el sistema informático puede ser utilizado por el operador para etiquetar datos y proporcionar los datos etiquetados a un repositorio de datos. Por ejemplo, el operador puede utilizar el sistema informático para seleccionar una porción de datos correspondiente a la tendencia (por ejemplo, identificar algún aspecto de los datos) y, a continuación, proporcionar la porción de datos a un sistema de supervisión para su introducción en un conjunto de datos de entrenamiento.

[0061]El sistema informático también puede configurarse para utilizar un segundo modelo de aprendizaje automático para detectar tendencias a corto plazo. El segundo modelo de aprendizaje automático está configurado para evaluar datos en un intervalo más corto que el primer modelo de aprendizaje automático y está entrenado para identificar patrones de forma diferente al primer modelo de aprendizaje automático.

[0062]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.

[0063]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 del 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.

[0064]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.

[0065]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.

[0066]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.

[0067] 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.

[0068] 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 tokens, la transmisión de red o similares.

[0069] 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.

[0070] 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.

[0071] 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.

[0072] 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.

[0073] 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.

[0074] Los procesos y métodos de acuerdo con los ejemplos que se describen 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.

[0075] 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.

[0076] 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.

[0077] 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.

[0078] 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.

[0079] Donde 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.

[0080] 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.

[0081] 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 la reivindicación 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.

[0082] 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 describen 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.

[0083] 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, que puede leerse y/o ejecutarse por esta, tal como ondas o señales propagadas.

[0084] El código de programa puede ser ejecutado 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.

[0085] Los aspectos ilustrativos de la divulgación incluyen:

[0086] Aspecto 1. Un método de calibración de datos medidos, que comprende: recibir primeros datos de medición asociados con o procedentes de equipos sumergidos en un entorno de fondo de pozo durante una parte de una operación actual de extracción de materiales del entorno de fondo de pozo en un sistema de bombeo para un pozo; normalizar los primeros datos de medición en función de datos de medición correspondientes asociados con otros entornos de fondo de pozo; eliminar porciones de datos normalizados del sistema de bombeo para un pozo que están asociadas con incrustaciones; combinar los datos normalizados con datos anteriores en datos de pozo completos, en donde los datos anteriores están asociados con operaciones anteriores del entorno de fondo de pozo; proporcionar los datos de pozo completos a un primer modelo de aprendizaje automático para identificar tendencias asociadas con los datos de pozo completos; recibir etiquetas asociadas con el funcionamiento de un primer equipo desde el primer modelo de aprendizaje automático, en donde las etiquetas están asociadas con la parte de la operación actual; y mostrar información relativa a tendencias y eventos asociados con la totalidad de la operación actual.

[0087] Aspecto 2. El método de acuerdo con el aspecto 1, que comprende además: identificar una condición de alarma asociada a una tendencia relativa al funcionamiento del equipo en función de una tendencia actual experimentada dentro del entorno de fondo de pozo.

[0088] Aspecto 3. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 2, comprende además: en respuesta a la detección de la terminación de la tendencia, seleccionar una porción de datos correspondiente a la tendencia y proporcionar la porción de datos a un sistema de supervisión para su introducción en un conjunto de datos de entrenamiento.

[0089] Aspecto 4. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 3, en donde un operador de la instalación del pozo proporciona información a un dispositivo para controlar el equipo y evitar la tendencia.

[0090] Aspecto 5. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 4, comprende además: identificar una acción correctiva a tomar en función de la condición de alarma para resolver la tendencia; y controlar el primer equipo en función de la acción correctiva.

[0091]Aspecto 6. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 5, en donde además comprende: detectar un segundo problema de condición de alarma en función de los primeros datos de medición utilizando un segundo modelo de aprendizaje automático, en donde el segundo modelo de aprendizaje automático está configurado para evaluar datos durante un intervalo más corto que el primer modelo de aprendizaje automático.

[0092]Aspecto 7. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 6, en donde el primer modelo de aprendizaje automático está configurado para detectar la condición de alarma utilizando una ventana deslizante a lo largo de un periodo de tiempo utilizando los datos completos del pozo.

[0093]Aspecto 8. El método de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 7, en donde las etiquetas comprenden información que indica cambios con respecto a las operaciones anteriores.

[0094]Aspecto 9. Un sistema para detectar tendencias a largo plazo a través de operaciones en un sistema de bombeo para un pozo incluye un almacenamiento (implementado en circuitería) configurado para almacenar instrucciones y un procesador. El procesador configurado para ejecutar las instrucciones y hacer que el procesador: reciba primeros datos de medición asociados con o procedentes de equipos sumergidos en un entorno de fondo de pozo durante una parte de una operación actual de extracción de materiales del entorno de fondo de pozo en un sistema de bombeo para un pozo; normalice los primeros datos de medición en función de los datos de medición correspondientes asociados con otros entornos de fondo de pozo; elimine partes de los datos normalizados del sistema de bombeo para un pozo que estén asociadas con incrustaciones; combinar los datos normalizados con datos anteriores para obtener datos de pozo completos, en donde los datos anteriores están asociados con operaciones previas del entorno de fondo de pozo; proporcionar los datos de pozo completos a un primer modelo de aprendizaje automático para identificar tendencias asociadas con los datos de pozo completos; recibir etiquetas asociadas con el funcionamiento de un primer equipo desde el primer modelo de aprendizaje automático, en donde las etiquetas están asociadas con la parte de la operación actual; y mostrar información relativa a tendencias y eventos asociados con la totalidad de la operación actual.

[0095]Aspecto 10. El sistema del aspecto 9, en donde el procesador está configurado para ejecutar las instrucciones y hacer que el procesador: identifique una condición de alarma asociada con una tendencia relativa al funcionamiento del equipo en función de una tendencia actual experimentada dentro del entorno de fondo de pozo.

[0096]Aspecto 11. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 9 a 10, en donde el procesador está configurado para ejecutar las instrucciones y hacer que el procesador: en respuesta a la detección de la terminación de la tendencia, seleccione una porción de datos correspondiente a la tendencia y proporcione la porción de datos a un sistema de supervisión para su introducción en un conjunto de datos de entrenamiento.

[0097]Aspecto 12. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 9 a 11, en donde un operador de la instalación del pozo proporciona información a un dispositivo para controlar el equipo y evitar la tendencia.

[0098]Aspecto 13. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 9 a 12, en

donde el procesador está configurado para ejecutar las instrucciones y hacer que el procesador: identifique una acción correctiva a tomar en función de la condición de alarma para resolver la tendencia; y controle el primer equipo en función de la acción correctiva.

[0099] Aspecto 14. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 9 a 13, en donde el procesador está configurado para ejecutar las instrucciones y hacer que el procesador: detecte un segundo problema de condición de alarma en función de los primeros datos de medición utilizando un segundo modelo de aprendizaje automático, en donde el segundo modelo de aprendizaje automático está configurado para evaluar los datos durante un intervalo más corto que el primer modelo de aprendizaje automático.

[00100] Aspecto 15. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 9 a 14, en donde el primer modelo de aprendizaje automático está configurado para detectar la condición de alarma utilizando una ventana deslizante a lo largo de un periodo de tiempo utilizando los datos completos del pozo.

[00101] Aspecto 16. El sistema de acuerdo con cualquiera de los aspectos 9 a 15, en donde las etiquetas comprenden información que indica cambios con respecto a las operaciones anteriores.

[00102] Aspecto 17. Un medio legible por computadora que comprende instrucciones que utilizan un sistema informático. La computadora incluye una memoria (por ejemplo, implementada en circuitos) y un procesador (o múltiples procesadores) acoplado a la memoria. El procesador (o procesadores) está configurado para ejecutar el medio legible por computadora y hacer que el procesador: reciba primeros datos de medición asociados con o procedentes de equipos sumergidos en un entorno de fondo de pozo durante una parte de una operación actual de extracción de materiales del entorno de fondo de pozo en un sistema de bombeo para un pozo; normalice los primeros datos de medición en función de los datos de medición correspondientes asociados con otros entornos de fondo de pozo; elimine partes de los datos normalizados del sistema de bombeo para un pozo que estén asociadas con incrustaciones; combinar los datos normalizados con datos anteriores para obtener datos de pozo completos, en donde los datos anteriores están asociados con operaciones previas del entorno de fondo de pozo; proporcionar los datos de pozo completos a un primer modelo de aprendizaje automático para identificar tendencias asociadas con los datos de pozo completos; recibir etiquetas asociadas con el funcionamiento de un primer equipo desde el primer modelo de aprendizaje automático, en donde las etiquetas están asociadas con la parte de la operación actual; y mostrar información relativa a tendencias y eventos asociados con la totalidad de la operación actual.

[00103] Aspecto 18. El medio legible por computadora de acuerdo con el aspecto 17, en donde el procesador está configurado para ejecutar el medio legible por computadora y hacer que el procesador: identifique una condición de alarma asociada con una tendencia relativa al funcionamiento del equipo en función de una tendencia actual experimentada dentro del entorno de fondo de pozo.

[00104] Aspecto 19. El medio legible por computadora de acuerdo con cualquiera de los aspectos 17 a 18, en donde el procesador está configurado para ejecutar el medio legible por computadora y hacer que el procesador: en respuesta

a la detección de la terminación de la tendencia, seleccione una porción de datos correspondiente a la tendencia y proporcione la porción de datos a un sistema de supervisión para su introducción en un conjunto de datos de entrenamiento.

[00105] Aspecto 20. El medio legible por computadora de acuerdo con cualquiera de los aspectos 17 a 19, en donde un operador de la instalación del pozo proporciona información a un dispositivo para controlar el equipo y evitar la tendencia.

[00106] Aspecto 21. El medio legible por computadora de acuerdo con cualquiera de los aspectos 17 a 20, en donde el procesador está configurado para ejecutar el medio legible por computadora y hacer que el procesador: identifique una acción correctiva a tomar en función de la condición de alarma para resolver la tendencia; y controle el primer equipo en función de la acción correctiva.

[00107] Aspecto 22. El medio legible por computadora de acuerdo con cualquiera de los aspectos 17 a 21, en donde el procesador está configurado para ejecutar el medio legible por computadora y hacer que el procesador: detecte un segundo problema de condición de alarma en función de los primeros datos de medición utilizando un segundo modelo de aprendizaje automático, en donde el segundo modelo de aprendizaje automático está configurado para evaluar los datos durante un intervalo más corto que el primer modelo de aprendizaje automático.

[00108] Aspecto 23. El medio legible por computadora de acuerdo con cualquiera de los aspectos 17 a 22, en donde el primer modelo de aprendizaje automático está configurado para detectar la condición de alarma utilizando una ventana deslizante a lo largo de un periodo de tiempo utilizando los datos de pozo completos.

[00109] Aspecto 24. Un aparato para calibrar registros de confiabilidad que comprende uno o más medios para realizar las operaciones de acuerdo con cualquiera de los aspectos 1 a 8.