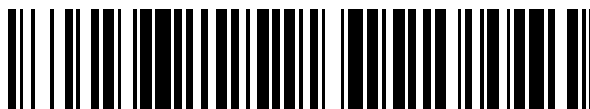


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 723 710**

51 Int. Cl.:

G01M 3/26 (2006.01)

E21B 47/007 (2012.01)

E21B 47/10 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.10.2013** **PCT/US2013/065419**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.04.2015** **WO15057228**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2013** **E 13895570 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2019** **EP 3058327**

54 Título: **Sistema y método para una prueba de presión de referencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
30.08.2019

73 Titular/es:

INNOVATIVE PRESSURE TESTING LLC (100.0%)
4710 Old Pecan Trail
Fulshear, Texas 77441, US

72 Inventor/es:

FRANKLIN, CHARLES M. y
CULLY, RICHARD A.

74 Agente/Representante:

CAMPELLO ESTEBARANZ, Reyes

ES 2 723 710 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y método para una prueba de presión de referencia

- 5 Los tubos, válvulas, sellos, contenedores, tanques, receptores, recipientes a presión, tuberías, conductos, intercambiadores de calor y otros componentes similares, están configurados típicamente para retener y/o transportar fluidos a presión. Estos componentes pueden denominarse como un sistema de presión. Un ejemplo de un sistema de presión incluye una tubería para el transporte de gas natural u otros hidrocarburos. Otro ejemplo es un pozo de gas natural, un pozo de petróleo u otros tipos de pozos, ya sea que estén siendo perforados activamente
- 10 o que ya estén produciendo, que típicamente transportan fluidos desde una formación geológica productora a una boca de pozo. Los pozos pueden incluir diversos componentes, tal como un árbol de conexiones, una cabeza de pozo, un tubo de producción, un entubado, un tubo de perforación, un dispositivo de prevención de reventón, un equipo de terminación, un tubo bobinado, un equipo de perforación a presión y diversos otros componentes.
- 15 Los fluidos retenidos o transportados dentro de sistemas de presión incluyen típicamente uno o más gases, líquidos o combinaciones de los mismos, incluyendo cualquier componente sólido arrastrado dentro del fluido. Un fluido típico puede comprender petróleo crudo, metano o gas natural, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, líquidos de gas natural, agua, fluido de perforación, y similares. Otros ejemplos incluyen fluido hidráulico dentro de una línea hidráulica.
- 20 Se prueban muchos sistemas de presión para garantizar que el sistema de presión no tenga fugas y que el sistema de presión sea capaz de mantener la integridad de la presión. Sin embargo, llevar a cabo tales pruebas de presión a menudo requiere que una presión de prueba dentro del sistema de presión se mantenga durante un periodo de tiempo significativo hasta que se alcance una presión de prueba de estado estable (es decir, una presión en la que
- 25 la presión de prueba cambie muy poco con el tiempo). Es decir, solo después de que se alcanza una presión de estado estable, un operador puede estar seguro de que una disminución de la presión fue el resultado del enfriamiento del fluido a través de la transferencia de calor del fluido al mar y/o a otros medios circundantes en lugar de a causa de una fuga. Además, las pruebas pueden repetirse varias veces para garantizar la validez de las pruebas, lo que da como resultado aún más tiempo dedicado a las pruebas. Este proceso de prueba es costoso
- 30 porque las pruebas pueden tardar de 12 a 24 horas en completarse cuando, por ejemplo, un buque de perforación o plataforma en alta mar se alquila por \$800.000 al día.
- El documento de patente US-A-2012/265456 describe la detección de una fuga presente en un sistema de banda gástrica para el tratamiento de la obesidad.
- 35 El documento de patente WO-A-01/84103 describe un método para detectar una fuga en un sistema de tubería.
- El documento de patente US-A-2012/150455 describe un sistema y un método para determinar fugas en un sistema complejo.
- 40 El documento de patente WO-A-01/88549 describe un método para verificar la integridad de una transferencia de fluido. El documento de patente US-B-6311548 describe un método para validar una prueba de detección de fugas de diagnóstico para un tanque de combustible.
- 45 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión que comprende un dispositivo de prevención de reventón, comprendiendo el método recibir, mediante un procesador, datos de presión transmitidos por al menos un sensor de presión (20A, 20B) del sistema de presión después del cierre del sistema de presión, y determinar, por el procesador, una pendiente de presión y una curvatura de presión basada en los datos de presión, caracterizado por generar una
- 50 indicación de fallo como resultado de la pendiente de presión que está por encima de un umbral predeterminado y la curvatura de presión que indica que la pendiente es constante o aumenta en valor absoluto.
- También se describe en el presente documento un sistema para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión. El sistema incluye al menos un sensor de presión acoplado al sistema de presión y un procesador
- 55 acoplado al sensor de presión. El procesador recibe los datos de presión del sistema de presión después del cierre del sistema de presión, determina una pendiente de presión y una curvatura de presión basándose en los datos de presión, y genera una indicación de fallo como resultado de que la pendiente de presión está por encima de un umbral predeterminado y la curvatura de presión que indica que la pendiente es constante o aumenta en valor absoluto.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un medio legible por ordenador no transitorio que contiene instrucciones que, cuando se ejecutan por un procesador, hacen que el procesador realice el método del primer aspecto.

5

Para una descripción detallada de las formas de realización ejemplares de la descripción, ahora se hará referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 10 La Figura 1 muestra un diagrama de bloques de un sistema de detección de fugas;
la Figura 2 muestra un sistema ejemplar de detección de fugas utilizado para probar un dispositivo de prevención de reventón en una plataforma petrolera;
la Figura 3 muestra un diagrama de flujo y un diagrama de estado de un método para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión de acuerdo con diversas formas de realización;
la Figura 4 muestra otro diagrama de flujo y un diagrama de estado de un método para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión de acuerdo con diversas formas de realización;
15 la Figura 5 muestra otro diagrama de flujo y un diagrama de estado de un método para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión de acuerdo con diversas formas de realización; y
la Figura 6 muestra otro diagrama de flujo y un diagrama de estado de un método para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión de acuerdo con diversas formas de realización.

20

- Ciertos términos se utilizan a lo largo de la siguiente descripción y en las reivindicaciones para referirse a componentes particulares del sistema. Como apreciará un experto en la técnica, las empresas pueden referirse a un componente con diferentes nombres. Este documento no pretende distinguir entre componentes que difieren en el nombre, pero no en la función. En el siguiente análisis y en las reivindicaciones, los términos "que incluye" y "que comprende" se usan de manera abierta, y, por lo tanto, se debe interpretar que significan "incluyendo, pero sin limitación...". Además, el término "acoplar" o "se acopla" significa una conexión directa o indirecta. Cuando se usa en un contexto mecánico, si un primer componente se acopla a un segundo componente, la conexión entre los componentes puede ser a través de un acoplamiento directo de los dos componentes, o a través de una conexión indirecta que se realiza a través de otros componentes intermedios, dispositivos y/o conexiones. Además, cuando se
25 usa en un contexto eléctrico, si un primer dispositivo se acopla a un segundo dispositivo, esa conexión puede ser a través de una conexión eléctrica directa, o a través de una conexión eléctrica indirecta a través de otros dispositivos y conexiones.

- Como se usa en el presente documento, el término "estado", como en "estado de aprobación" o "estado fallido", se refiere al estado de un dispositivo informático cuando se cumple una restricción particular. Por ejemplo, un dispositivo de computación puede estar en un estado de aprobación cuando se cumplen las restricciones de aprobación, y puede estar en un estado de fallo cuando se cumplen las restricciones de fallo. Además, estar en un estado de aprobación no necesariamente indica que se haya pasado una prueba, y estar en un estado de fallo no indica necesariamente que se ha fallado una prueba; en algunos casos, las restricciones adicionales deben
35 cumplirse en el estado de aprobación para que la prueba sea aprobada, y las restricciones adicionales deben cumplirse en el estado de fallo para que la prueba falle.

- Como se usa en el presente documento, los términos "tasa de cambio", "pendiente" y "primera derivada" se refieren a la misma característica de un valor.

45

Como se usa en el presente documento, los términos "curvatura" y "segunda derivada" se refieren a la misma característica de un valor.

- El siguiente análisis está dirigido a diversas formas de realización de la descripción. Aunque se puede preferir una o más de estas formas de realización, un experto en la materia entenderá que la siguiente descripción tiene una amplia aplicación, y la descripción de cualquier forma de realización pretende ser solo un ejemplo de esa forma de realización, y no pretende dar a entender que el alcance de las reivindicaciones adjuntas se limita a esa forma de realización.

- 55 La Figura 1 muestra un diagrama de bloques de un sistema de detección de fugas 1 de acuerdo con la presente descripción. El sistema de detección de fugas 1 incluye un sistema de presión 5. El sistema de presión puede incluir diversos tubos, válvulas, sellos, contenedores, recipientes, intercambiadores de calor, bombas, tuberías, conductos y otros componentes similares para retener y/o transportar fluidos a través del sistema de presión 5. Como se explica anteriormente, los ejemplos del sistema de presión 5 incluyen una tubería para el transporte de gas natural u otros

hidrocarburos u otros fluidos, dispositivos de prevención de reventón, varios pozos, incluido el entubado y otros componentes de terminación, líneas hidráulicas o de combustible, contenedores de almacenamiento de fluidos, y otros tipos de sistemas para transportar o retener fluidos.

- 5 El sistema de presión 5 puede contener fluidos tales como gases, líquidos o combinaciones de los mismos, incluyendo cualquier componente sólido arrastrado dentro del fluido. Los ejemplos de fluidos incluyen petróleo crudo, metano, gas natural, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, líquidos de gas natural y similares. Cuando el sistema de presión 5 comprende un pozo de exploración de petróleo o gas, los fluidos incluyen típicamente fluidos de perforación, materiales de circulación perdida, diversos sólidos, sólidos de formación perforados, y fluidos y gases de formación.

- 15 El sistema de detección de fugas 1 puede incluir una unidad de bombeo de fluido 10, que puede ser una unidad de cementación o una bomba. La unidad de bombeo de fluido 10 está acoplada al sistema de presión 5. La unidad de bombeo de fluido 10 suministra un volumen seleccionado o particular de un fluido de prueba desde una fuente o depósito de fluido al sistema de presión 5. El volumen seleccionado o particular puede basarse en una presión deseada para el sistema de presión 5; es decir, el volumen suministrado se puede elegir de manera que el sistema de presión 5 alcance la presión deseada. El fluido de prueba puede comprender agua, agua con aditivos adicionales, fluido de perforación, fluido de terminación o un fluido del tipo, ya presente en el sistema de presión 5, u otras combinaciones de los mismos. El volumen seleccionado del fluido de prueba depende, en parte, del tamaño o volumen total del sistema de presión 5, y puede ser desde pequeñas cantidades, tales como microlitros para equipos de laboratorio, hasta grandes cantidades, tales como barriles y más, para grandes sistemas de presión, tales como tuberías y pozos de petróleo y gas. La adición de fluido de prueba al sistema de presión 5 aumenta la presión a la que se confirma el fluido dentro del sistema de presión 5, de manera que se alcanza una presión de prueba que es mayor que la presión inicial del fluido en el sistema de presión 5. El sistema de presión 5 puede cerrarse una vez que el sistema de presión 5 alcanza la presión de prueba deseada.

- 30 Opcionalmente, un medidor de flujo 30 está acoplado a la unidad de bombeo de fluido 10 para detectar la cantidad de fluido que se añade al sistema de presión 5. El medidor de flujo 30 puede comprender un medidor de flujo Venturi, un medidor de flujo de presión, un contador de golpes, un medidor de rueda de paletas, u otros medidores de flujo similares. El medidor de flujo 30 opcionalmente muestra una señal que indica el flujo del fluido, tal como un caudal, a través de medidores y/o pantallas digitales. El medidor de flujo 30 opcionalmente transmite una señal que refleja el caudal a un procesador 15, por ejemplo, a través de cables de sensores o de manera inalámbrica (por ejemplo, a través de Internet 27 u otra red inalámbrica).

- 35 El sistema de detección de fugas 1 también incluye al menos un sensor de presión 20 acoplado al sistema de presión 5. El sensor de presión 20 detecta una presión del fluido dentro del sistema de presión 5 antes, durante y después de la presurización del sistema de presión 5. En algunos ejemplos, el sensor de presión 20 muestra una señal que indica la presión del fluido dentro del sistema de presión 5, por ejemplo, a través de medidores y/o pantallas digitales. El sensor de presión 20 transmite una señal que indica la presión al procesador 15, típicamente a través de cables de sensor, aunque se contempla que el sensor de presión 20 puede configurarse para transmitir la señal de forma inalámbrica. El sensor de presión 20 puede seleccionarse para las condiciones operativas particulares, tal como un rango de presión y temperatura que se espera para el fluido dentro del sistema de presión 5. Por ejemplo, un sensor de presión 20 seleccionado para su uso en un sistema de presión que es parte de un pozo de petróleo, tal como un dispositivo de prevención de reventón, sería capaz de detectar un amplio rango de presiones en un amplio rango de temperaturas.

- 50 El procesador 15 puede ser un componente en una diversidad de ordenadores, tales como ordenadores portátiles, ordenadores de escritorio, ordenadores netbook y tabletas, asistentes digitales personales, teléfonos inteligentes y otros dispositivos similares, y puede ubicarse en el sitio de prueba o a distancia del sitio. Un experto en la técnica apreciará que estos dispositivos informáticos incluyen otros elementos además del procesador 15, tales como el dispositivo de visualización 25, diversos tipos de almacenamiento, hardware de comunicación, y similares. El procesador 15 puede estar configurado para ejecutar programas de software particulares para ayudar en la prueba de un sistema de presión 5. La funcionalidad de estos programas se describirá con más detalle a continuación.

- 55 Como se indica anteriormente, el procesador 15 puede acoplarse a un dispositivo de visualización 25, en algunos casos por medio de hardware intermedio, tal como una unidad de procesamiento de gráfico o una tarjeta de vídeo. El dispositivo de visualización 25 incluye dispositivos tales como un monitor de ordenador, un televisor, una pantalla de teléfono inteligente u otros dispositivos de visualización conocidos.

En relación con los fluidos y gases que muestran un cambio potencialmente significativo en la presión en función de la temperatura del fluido, puede ser difícil determinar si un cambio en la presión en un sistema de presión es simplemente un resultado del cambio en la temperatura del fluido, o si es el resultado de una fuga en algún lugar dentro del sistema de presión. Por ejemplo, un volumen fijo de un fluido de perforación sintético en un contenedor/recipiente de presión adecuado utilizado en la perforación de petróleo y gas presenta una presión decreciente en función de la temperatura decreciente. Dependiendo del fluido de perforación involucrado, la presión puede variar significativamente con la temperatura. En las perforaciones marinas en aguas profundas, el fluido de perforación puede estar a una temperatura particular en la superficie antes de presurizarse. A medida que el sistema de presión se presuriza con fluido de perforación, la temperatura del fluido de perforación aumenta como resultado de su aumento de presión, y, por lo tanto, puede exceder la temperatura ambiente del fluido cuando estaba en la superficie.

El fluido se enfría posteriormente, ya que reside en una boca de pozo o un dispositivo de prevención de reventón que puede estar a varios miles de pies (1 pie = 0,3048 m) por debajo de la superficie del océano y en el fondo marino, donde la temperatura ambiente del agua puede ser tan baja como de 34 °F (1,11 °C). Por lo tanto, hay una transferencia grande y rápida de energía térmica desde el fluido de perforación, a través de la tubería de perforación de contención y/o el tubo ascendente, al océano circundante, que, a su vez, causa a veces una disminución significativa en la presión del fluido que se mantiene dentro del sistema de presión. De acuerdo con diversas formas de realización de la presente descripción, un sistema y un método para analizar la respuesta de presión del sistema de presión para determinar la presencia de una fuga en el sistema de presión distingue una caída en la presión causada por la disminución de la temperatura de una caída en la presión causada por una fuga dentro del sistema de presión.

Se contempla que los datos de presión de prueba adquiridos y almacenados en el medio legible por ordenador experimentan opcionalmente algún tipo de proceso de suavizado o normalización de datos para eliminar picos o transitorios de datos. Por ejemplo, se pueden usar procedimientos para llevar a cabo un promedio móvil, ajuste de curva y otras técnicas similares de suavizado de datos.

La Figura 2 muestra un ejemplo del sistema de detección de fugas en el contexto de un pozo de exploración en aguas profundas en el que el dispositivo de prevención de reventón y, más específicamente, diversos subcomponentes del dispositivo de prevención de reventón que se pueden aislar hidráulicamente de los otros componentes, se prueban para detectar fugas y determinar la integridad de la presión. El sistema de detección de fugas de la Figura 2 está asociado con un sistema de presión 5A que incluye, en este ejemplo, la línea de flujo 4A (que puede ser una o más líneas de flujo) que se acopla a una unidad de bombeo de fluido 10A, típicamente una unidad de cementación en una plataforma de perforación, a una o más dispositivos de prevención de reventón anulares 6A y uno o más cilindros de corte y/o cilindros de tubo 7A. Además, la Figura 2 también ilustra el entubado 8A, el hueco de pozo abierto 9A, y la formación o estructura geológica/roca 11A que rodea el hueco de pozo abierto 9A. Las diversas formas de realización de la presente descripción se extienden a todos estos elementos para la detección de fugas y la prueba de integridad de presión.

También se ilustra en la Figura 2 un medidor de flujo o sensor de flujo 30A acoplado a un procesador 15A como se describe anteriormente. También se ilustran dos sensores de presión 20A y 20B que se acoplan al sistema de presión 5A, uno en la superficie y otro en el dispositivo de prevención de reventón. En ciertos ejemplos, otros sensores de presión pueden ubicarse en las mismas ubicaciones o diferentes del sistema de presión 5A. Los sensores de presión 20A y 20B mostrados están acoplados al procesador 15A como se describe anteriormente. Un dispositivo de visualización 25A, comparable al descrito anteriormente, también está acoplado al procesador 15A.

Una aplicación y beneficio adicional de los métodos y sistemas descritos se acumulan en el escenario particular en el que una prueba de baja presión precede a una prueba de alta presión. La capacidad de detectar una fuga durante la prueba de baja presión, algo difícil dada la resolución y la capacidad de los métodos de la técnica anterior, por ejemplo, el uso de un registrador de gráficos circular, permite a un usuario de la presente descripción tomar medidas correctivas para investigar y/o detener una fuga después de la prueba de baja presión y antes de la fase de prueba de alta presión. Tomar medidas preventivas o correctivas en la fase de prueba de baja presión reduce el riesgo de que los equipos puedan fallar catastróficamente a altas presiones; reduce el riesgo para el personal que de lo contrario podría estar en el área del equipo o sistemas de presión durante los cuales los sistemas de presión fallan mientras se someten a una prueba de presión alta; reduce el riesgo para el medio ambiente si, de lo contrario, los sistemas de presión fallan mientras se someten a una prueba de alta presión; y reduce el tiempo para detectar la fuga, ya que se podría descubrir una fuga en la fase de baja presión antes de asumir el tiempo y el dinero necesarios para llevar a cabo una prueba de alta presión.

Volviendo ahora a la Figura 3, se muestra un método 300 para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión 5 de acuerdo con diversas formas de realización. El método 300 comienza en el bloque 302, donde el sistema de presión 5 puede estar presurizado, por ejemplo, mediante un dispositivo de bomba. Tras un evento de cierre 304, el método avanza al bloque 305 para esperar un periodo de tiempo de búfer antes de comenzar el análisis del sistema de presión 5. En algunas formas de realización, el periodo de búfer permite obtener una cantidad predeterminada de datos (por ejemplo, para llevar a cabo una primera determinación de una tasa de cambio de presión). Cuando se completa el periodo de tiempo de búfer, el método 300 continúa hasta determinar una pendiente de datos de presión, que se basa en los datos de presión recibidos por el procesador 15 (por ejemplo, del sensor de presión 20). De acuerdo con diversas formas de realización, si la pendiente de presión es mayor que un umbral predeterminado, el método 300 continúa hasta determinar la pendiente de presión en el bloque 306. En algunos casos, el umbral predeterminado es un valor determinado a través de la aplicación práctica, de tal manera que es probable que una pendiente en exceso del umbral indique que el sistema de presión 5 sigue respondiendo, en gran parte, al cambio de temperatura del fluido en el sistema de presión 5. De forma similar, es probable que una pendiente por debajo del umbral indique que el sistema de presión 5 ya no responde, en su mayor parte, al cambio de temperatura del fluido en el sistema de presión 5.

Cuando la pendiente está por debajo del umbral predeterminado, el método 300 entra en un estado de aprobación en el bloque 308 y continúa hasta determinar la pendiente de presión, permaneciendo en el estado de aprobación siempre que la pendiente esté por debajo del umbral predeterminado. Si la pendiente excede el umbral predeterminado en el bloque 308, el método 300 continúa con la salida del estado de aprobación y regresando al bloque 306, donde la pendiente se determina de nuevo para identificar si cae por debajo del umbral predeterminado, lo que hace que el método 300 regrese al bloque de estado de aprobación 308.

Sin embargo, si la pendiente de presión permanece por debajo del umbral predeterminado en el bloque 308 durante al menos un periodo de tiempo predeterminado (por ejemplo, 5 minutos), el método 300 continúa con el bloque 310, donde se genera una indicación de aprobación, por ejemplo, para la visualización en el dispositivo de visualización 25 o para la transmisión a través de una red, tal como Internet 27, a otro dispositivo informático 28 u otro dispositivo de visualización.

En algunas formas de realización, el método 300 también incluye generar una indicación de fallo en el bloque 312 si los datos de presión recibidos del sensor de presión 20 indican que el valor de presión está fuera de un intervalo predeterminado (por ejemplo, la presión del sistema de presión 5 está por debajo de un valor de presión mínimo). Como alternativa, el método 300 puede incluir generar una indicación de fallo en el bloque 312 si la pendiente de datos de presión recibidos desde el sensor de presión 20 indica que la pendiente está fuera de un intervalo predeterminado.

De acuerdo con diversas formas de realización, la pendiente de los datos de presión recibidos desde el sensor de presión 20 se puede determinar (por ejemplo, mediante el procesador 15) durante un periodo de tiempo inferior al periodo de tiempo predeterminado para generar una indicación de aprobación. Por ejemplo, aunque el periodo de tiempo para generar una indicación de aprobación puede ser de 5 minutos, la pendiente se puede determinar durante un periodo de tiempo de un minuto, un periodo de 30 segundos, o un periodo de tiempo de menos de un segundo. Como se explica anteriormente, el ruido (por ejemplo, el ruido ambiental) se puede introducir en los datos de presión del sensor de presión 20. En ciertas formas de realización, por lo tanto, los datos de presión pueden experimentar procesos de suavización o normalización de datos para eliminar el ruido, tales como picos o transitorios de datos. Por ejemplo, se puede aplicar un promedio móvil, un ajuste de curva y otras técnicas de suavizado de datos a los datos de presión antes de determinar una pendiente de los datos de presión.

Volviendo ahora a la Figura 4, se muestra un método 400 para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión 5 de acuerdo con diversas formas de realización. El método 400 comienza en el bloque 402, donde el sistema de presión 5 puede estar presurizado, por ejemplo, mediante un dispositivo de bomba. Tras un evento de cierre 304, el método avanza al bloque 305 para esperar un periodo de tiempo de búfer antes de comenzar el análisis del sistema de presión 5. El periodo de búfer puede servir como un periodo de recopilación de datos inicial como se explica anteriormente. Cuando se completa el periodo de tiempo de búfer, el método 400 continúa hasta determinar una pendiente de datos de presión, que se basa en los datos de presión recibidos por el procesador 15 (por ejemplo, del sensor de presión 20). De acuerdo con diversas formas de realización, si la pendiente de presión es mayor que un umbral predeterminado, el método 400 continúa hasta determinar la pendiente en el bloque 406. En algunos casos, el umbral predeterminado es un valor determinado a través de la aplicación práctica, de tal manera que es probable que una pendiente en exceso del umbral indique que el sistema de presión 5 sigue

respondiendo, en gran parte, al cambio de temperatura del fluido en el sistema de presión 5. De forma similar, es probable que una pendiente por debajo del umbral indique que el sistema de presión 5 ya no responde, en su mayor parte, al cambio de temperatura del fluido en el sistema de presión 5.

- 5 Cuando la pendiente está por debajo del umbral predeterminado, el método 400 ingresa en un estado de aprobación en el bloque 408 y comienza a controlar el cambio de presión absoluta desde el momento en que se ingresa el estado de aprobación. El método 400 permanece en el estado de aprobación (bloque 408) siempre que el cambio de presión absoluta permanezca por debajo de un cambio máximo permitido en la presión. Si el cambio de presión absoluta desde el momento en que se ingresa al estado de aprobación supera el cambio máximo permitido en el
10 bloque 408, el método 400 continúa con la salida del estado de aprobación y regresando al bloque 406, donde se determina la pendiente para identificar si cae por debajo del umbral predeterminado, lo que hace que el método 400 regrese al bloque de estado de aprobación 408.

- 15 Sin embargo, si el cambio de presión absoluta permanece por debajo del cambio máximo permitido en la presión en el bloque 408 durante al menos un periodo de tiempo predeterminado (por ejemplo, 5 minutos), el método 400 continúa con el bloque 410, donde se genera una indicación de aprobación, por ejemplo, para la visualización en el dispositivo de visualización 25 o para la transmisión a través de una red, tal como Internet 27, a otro dispositivo informático 28.

- 20 En algunas formas de realización, el método 400 también incluye generar una indicación de fallo en el bloque 412 si los datos de presión recibidos del sensor de presión 20 indican que el valor de presión está fuera de un intervalo predeterminado (por ejemplo, la presión del sistema de presión 5 está por debajo de un valor de presión mínimo). Como alternativa, el método 400 puede incluir generar una indicación de fallo en el bloque 412 si la pendiente de los datos de presión recibidos desde el sensor de presión 20 indica que la pendiente está fuera de un intervalo
25 predeterminado.

- Como anteriormente, la pendiente de los datos de presión recibidos desde el sensor de presión 20 se puede determinar (por ejemplo, mediante el procesador 15) durante un periodo de tiempo inferior al periodo de tiempo predeterminado para generar una indicación de aprobación. Por ejemplo, aunque el periodo de tiempo para generar
30 una indicación de aprobación puede ser de 5 minutos, la pendiente se puede determinar durante un periodo de tiempo de un minuto, un periodo de 30 segundos, o un periodo de tiempo de menos de un segundo. Como se explica anteriormente, el ruido (por ejemplo, el ruido ambiental) se puede introducir en los datos de presión del sensor de presión 20. En ciertas formas de realización, por lo tanto, los datos de presión pueden experimentar procesos de suavización o normalización de datos para eliminar el ruido, tales como picos o transitorios de datos.
35 Por ejemplo, se puede aplicar un promedio móvil, un ajuste de curva y otras técnicas de suavizado de datos a los datos de presión antes de determinar una velocidad de cambio.

- La Figura 5 muestra un método 500 para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión 5, que combina aspectos de las Figuras 3 y 4. El método 500 es similar a los métodos 300 y 400 en los bloques 502-506.
40 Además, el método 500 también ingresa al estado de aprobación en el bloque 508 en respuesta a que la pendiente está por debajo de un umbral predeterminado. En el estado de aprobación (bloques 508 y 510), se controlan tanto la pendiente de presión como el cambio de presión absoluta a partir del momento en que se ingresa el estado de aprobación. El método 500 permanece en el estado de aprobación siempre que la pendiente esté por debajo del umbral predeterminado, un umbral que, en algunas formas de realización, puede cambiar con el tiempo para reducir
45 la pendiente permitida a medida que pasa el tiempo, y que el cambio de presión absoluta está por debajo de un cambio máximo permitido en la presión. Si la pendiente excede el umbral predeterminado (en el bloque 510) o el cambio de presión absoluta, desde el momento en que se ingresa el estado de aprobación, supera el cambio máximo permitido en la presión (en el bloque 508), el método 500 sale del estado de aprobación y regresa al bloque 506. Mientras que en el bloque 506, si la pendiente cae por debajo del umbral predeterminado, el método 500
50 regresa al estado de aprobación de los bloques 508 y 510.

- Sin embargo, si la pendiente permanece por debajo del umbral predeterminado en el bloque 510 y el cambio de presión absoluta desde el momento en que se ingresa el estado de aprobación permanece por debajo del cambio máximo permitido en la presión en el bloque 508 durante al menos un periodo de tiempo predeterminado (por
55 ejemplo, 5 minutos), el método 500 continúa con el bloque 512, donde se genera una indicación de aprobación, por ejemplo, para la visualización en el dispositivo de visualización 25 o para la transmisión a través de una red, tal como Internet 27, a otro dispositivo informático 28.

En algunas formas de realización, el método 500 también incluye generar una indicación de fallo en el bloque 514 si

los datos de presión recibidos del sensor de presión 20 indican que el valor de presión está fuera de un intervalo predeterminado (por ejemplo, la presión del sistema de presión 5 está por debajo de un valor de presión mínimo). Como alternativa, el método 500 puede incluir generar una indicación de fallo en el bloque 514 si la pendiente de los datos de presión recibidos desde el sensor de presión 20 indica que la pendiente está fuera de un intervalo predeterminado.

La Figura 6 muestra un método 600 para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión 5 de acuerdo con diversas formas de realización. El método 600 es similar a los métodos 300, 400 y 500 en los bloques 602-605. Cuando el periodo de tiempo de búfer se completa en el bloque 605, el método 600 continúa con el bloque 606 y determina una pendiente de datos de presión, así como determina una curvatura de los datos de presión (es decir, una segunda derivada de datos de presión o una derivada de la pendiente), ambos de los cuales se basan en los datos de presión recibidos por el procesador 15 (por ejemplo, del sensor de presión 20).

De acuerdo con diversas formas de realización, si la pendiente de presión está por encima de un umbral predeterminado y la curvatura indica una pendiente descendente, el método 600 continúa hasta determinar la pendiente de presión y la curvatura en el bloque 606. Si la curvatura indica que un valor absoluto de la pendiente está disminuyendo, es probable que la pendiente de presión esté mejorando y eventualmente estará por debajo del umbral predeterminado, y un análisis posterior puede dar como resultado una prueba de aprobación. Por otro lado, si la curvatura indica que un valor absoluto de la pendiente es constante o está aumentando, es probable que la pendiente no mejore significativamente y que la pendiente actual indique la presencia de una fuga. En algunos casos, en lugar de comparar la curvatura con indicaciones de pendiente creciente, constante o decreciente, la curvatura se puede comparar con un umbral predeterminado, que es un valor determinado a través de la aplicación práctica, de tal forma que es probable que una curvatura en exceso indique que la pendiente de presión no está mejorando significativamente y la pendiente actual indica una fuga. De manera similar, es probable que una curvatura por debajo del umbral indique que la pendiente, si bien no está por debajo del valor de aprobación máximo predeterminado, está mejorando, y un análisis adicional puede dar como resultado una prueba de aprobación. Si la pendiente no está por debajo del umbral predeterminado, el método 600 permanece en el bloque 606. Además, si la curvatura indica una pendiente constante o en aumento, el método 600 puede continuar con el bloque 612 generando una indicación de fallo o una indicación de que el fallo de la prueba es probable o inminente.

Cuando la pendiente está por debajo de un umbral predeterminado, el método 600 entra en un estado de aprobación en el bloque 608 y continúa hasta determinar la pendiente, permaneciendo en el estado de aprobación siempre que la pendiente esté por debajo del umbral predeterminado. Si la pendiente excede el umbral predeterminado en el bloque 608, el método 600 continúa con la salida del estado de aprobación y regresando al bloque 606, donde la curvatura y la pendiente se determinan de nuevo para identificar si la pendiente cae por debajo del umbral predeterminado, lo que hace que el método 600 regrese al bloque de estado de aprobación 608, o si la curvatura indica que la pendiente no está mejorando. Sin embargo, como anteriormente, si la pendiente permanece por debajo del umbral predeterminado en el bloque 608 durante al menos un periodo de tiempo predeterminado (por ejemplo, 5 minutos), el método 600 continúa con el bloque 610, donde se genera una indicación de aprobación, por ejemplo, para la visualización en el dispositivo de visualización 25 o para la transmisión a través de una red, tal como Internet 27, a otro dispositivo informático 28. Además, aunque no se ilustra por brevedad, el método 600 también puede pasar al estado de aprobación como se muestra en las Figuras 4 y 5.

De acuerdo con diversas formas de realización, la pendiente y la curvatura de los datos de presión recibidos desde el sensor de presión 20 se pueden determinar (por ejemplo, mediante el procesador 15) durante un periodo de tiempo inferior al periodo de tiempo predeterminado para generar una indicación de aprobación. Por ejemplo, aunque el periodo de tiempo para generar una indicación de aprobación puede ser de 5 minutos, la pendiente y la curvatura se pueden determinar durante un periodo de tiempo de un minuto, un periodo de 30 segundos, o un periodo de tiempo de menos de un segundo. Como se explica anteriormente, el ruido (por ejemplo, el ruido ambiental) se puede introducir en los datos de presión del sensor de presión 20. En ciertas formas de realización, por lo tanto, los datos de presión pueden experimentar procesos de suavización o normalización de datos para eliminar el ruido, tales como picos o transitorios de datos. Por ejemplo, se puede aplicar un promedio móvil, un ajuste de curva y otras técnicas de suavizado de datos a los datos de presión antes de determinar la pendiente o la curvatura.

En ciertas formas de realización, después de generar una indicación de aprobación, se puede aplicar un algoritmo de ajuste de curva a los datos de presión. Esta aplicación puede utilizar una diversidad de enfoques de ajuste de curva, tales como mínimos cuadrados, y una diversidad de tipos de curvas, tales como polinomios, exponenciales, elipses que incluyen combinaciones de curvas para llegar mejor a una forma matemática, tal como una fórmula o

ecuación, que describe el cambio de datos de presión y el valor en el tiempo. Los valores estadísticos de "bondad de ajuste", tal como las desviaciones estándar y "R cuadrado", pueden utilizarse para determinar si una función o ecuación describe adecuadamente los datos de presión en forma matemática. De acuerdo con diversas formas de realización, la forma matemática puede usarse como un reemplazo para los datos sin procesar como un punto de referencia para las pruebas comparativas, y es beneficiosa porque los datos suavizados pueden proporcionar un refuerzo en la eficiencia computacional sin comprometer la precisión cuando se comparan con los métodos y sistemas que usan datos sin procesar como punto de referencia.

Con referencia brevemente a la Figura 1, el procesador 15 está configurado para ejecutar instrucciones leídas desde un medio legible por ordenador, y puede ser un procesador de propósito general, un procesador de señales digitales, un microcontrolador, etc. Las arquitecturas de los procesadores generalmente incluyen unidades de ejecución (por ejemplo, punto fijo, punto flotante, integrante, etc.), almacenamiento (por ejemplo, registros, memoria, etc.), decodificación de instrucciones, periféricos (por ejemplo, controladores de interrupción, temporizadores, controladores de acceso directo a la memoria, etc.), sistemas de entrada/salida (por ejemplo, puertos serie, puertos paralelos, etc.) y diversos otros componentes y subsistemas. El programa/almacenamiento de datos 35 es un medio legible por ordenador acoplado y accesible al procesador 15. El almacenamiento 35 puede incluir una memoria de semiconductor volátil y/o no volátil (por ejemplo, memoria flash o memoria de acceso aleatorio estática o dinámica), u otros medios de almacenamiento apropiados ahora conocidos o desarrollados posteriormente. Diversos programas ejecutables por el procesador 15, y estructuras de datos manipulables por el procesador 15 pueden almacenarse en el almacenamiento 30. De acuerdo con diversas formas de realización, el programa o programas almacenados en el almacenamiento 30, cuando se ejecutan por el procesador 15, pueden hacer que el procesador 15 realice cualquiera de los métodos descritos en el presente documento.

El análisis anterior pretende ser ilustrativo de los principios y diversas formas de realización de la presente descripción. Una gran cantidad de variaciones y modificaciones serán evidentes para los expertos en la técnica una vez que la descripción anterior se aprecie completamente. Por ejemplo, mientras que las formas de realización se analizan en relación con los datos de presión de un dispositivo de prevención de reventón en una plataforma de perforación, se entiende que los ejemplos del sistema descrito actualmente y las formas de realización del método descrito actualmente de detección de fugas pueden aplicarse a sistemas de presión y sistemas de fluidos de otros tipos, como se describe y se analiza anteriormente. Se pretende que las siguientes reivindicaciones se interpreten para incluir todas estas variaciones y modificaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método (600) para determinar la presencia de una fuga en un sistema de presión (5A) que comprende un dispositivo de prevención de reventón (6A), comprendiendo el método:
5 recibir, por un procesador (15A), datos de presión de acuerdo como se transmiten por al menos un sensor de presión (20A, 20B) del sistema de presión después del cierre (604) del sistema de presión; y determinar (606), por el procesador, una pendiente de presión y una curvatura de presión basándose en los datos de presión;
10 **caracterizado por que:**
genera una indicación de fallo (612) como resultado de que la pendiente de presión que está por encima de un umbral predeterminado y la curvatura de presión indica que la pendiente es constante o aumenta en valor absoluto.
- 15 2. El método de la reivindicación 1, que comprende además generar una indicación de fallo (612) como resultado de la presión o pendiente que tiene un valor que está fuera de un rango predeterminado.
3. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, que comprende, además, después de generar una indicación de fallo (612), aplicar un algoritmo de ajuste de curva a los datos de presión para generar una forma
20 matemática que representa los datos de presión.
4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende, además:
25 entrar en un estado de aprobación (608) en respuesta a que la pendiente es menor que un umbral de pendiente predeterminado;
salir del estado de aprobación en respuesta a que la pendiente es mayor que el umbral de pendiente predeterminado; y
generar una indicación de aprobación (610) como resultado de permanecer en el estado de aprobación durante al menos un periodo de tiempo predeterminado.
30
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende, además:
35 entrar en un estado de aprobación (608) en respuesta a que la pendiente es menor que un umbral de pendiente predeterminado;
salir del estado de aprobación en respuesta a un cambio en la presión mientras que en el estado de aprobación es mayor que un cambio máximo permitido en la presión; y
generar una indicación de aprobación (610) como resultado de permanecer en el estado de aprobación durante al menos un periodo de tiempo predeterminado.
- 40 6. Un medio legible por ordenador no transitorio que contiene instrucciones que, cuando se ejecutan por un procesador, hacen que el procesador realice el método de la reivindicación 1.
7. El medio no transitorio legible por ordenador de la reivindicación 6, en el que las instrucciones, cuando se ejecutan, hacen que el procesador genere una indicación de fallo (612) como resultado de la presión o pendiente
45 que tiene un valor que está fuera de un rango predeterminado.
8. El medio no transitorio legible por ordenador de cualquiera de las reivindicaciones 6 y 7, en el que las instrucciones, cuando se ejecutan, hacen que el procesador, después de que el procesador genere una indicación de fallo (612), aplique un algoritmo de ajuste de curva a los datos de presión para generar una forma matemática
50 que representa los datos de presión.
9. El medio no transitorio legible por ordenador de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que las instrucciones, cuando se ejecutan, hacen que el procesador:
55 entre en un estado de aprobación (608) en respuesta a que la pendiente es menor que un umbral de pendiente predeterminado;
salga del estado de aprobación en respuesta a que la pendiente es mayor que el umbral de pendiente predeterminado; y
genere una indicación de aprobación (610) como resultado de permanecer en el estado de aprobación

durante al menos un periodo de tiempo predeterminado.

10. El medio no transitorio legible por ordenador de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que las instrucciones, cuando se ejecutan, hacen que el procesador:

5

entre en un estado de aprobación (608) en respuesta a que la pendiente es menor que un umbral de pendiente predeterminado;

salga del estado de aprobación en respuesta a un cambio en la presión mientras que en el estado de aprobación es mayor que un cambio máximo permitido en la presión; y

10

genere una indicación de aprobación (610) como resultado de permanecer en el estado de aprobación durante al menos un periodo de tiempo predeterminado.

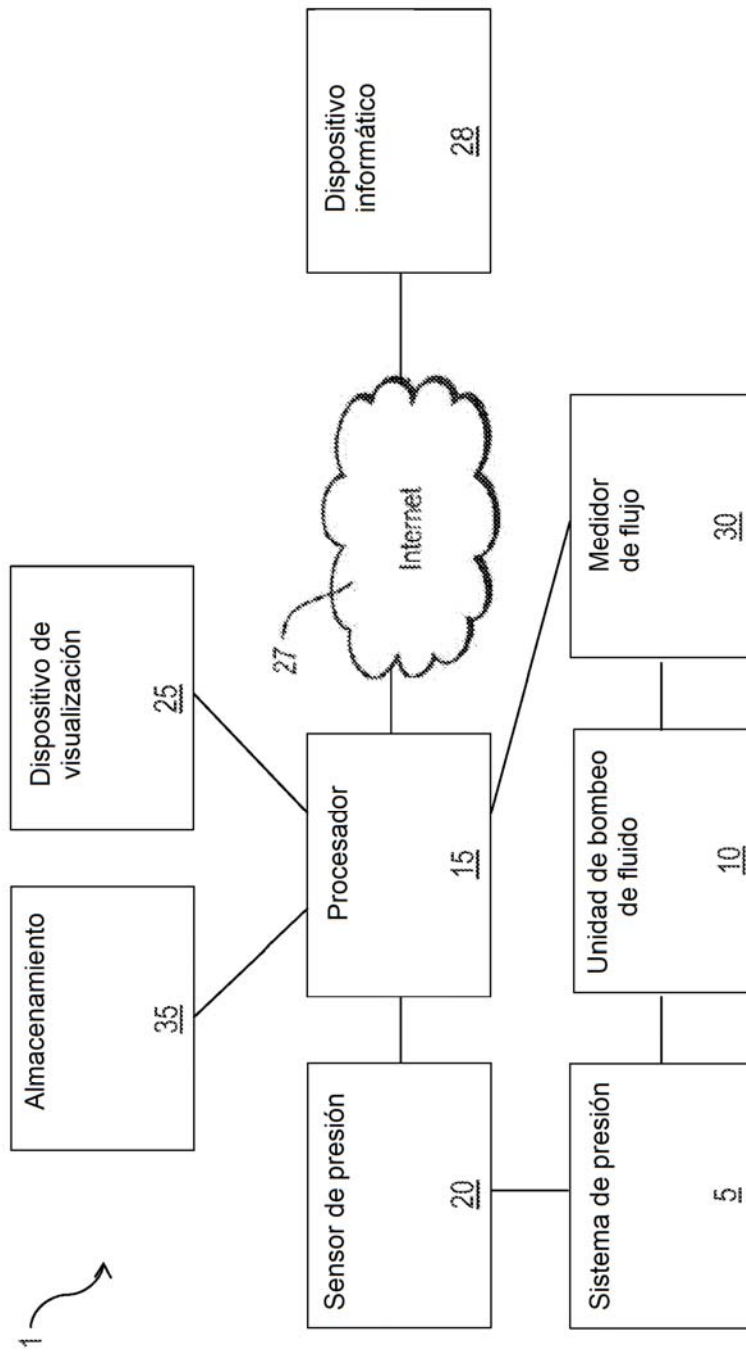
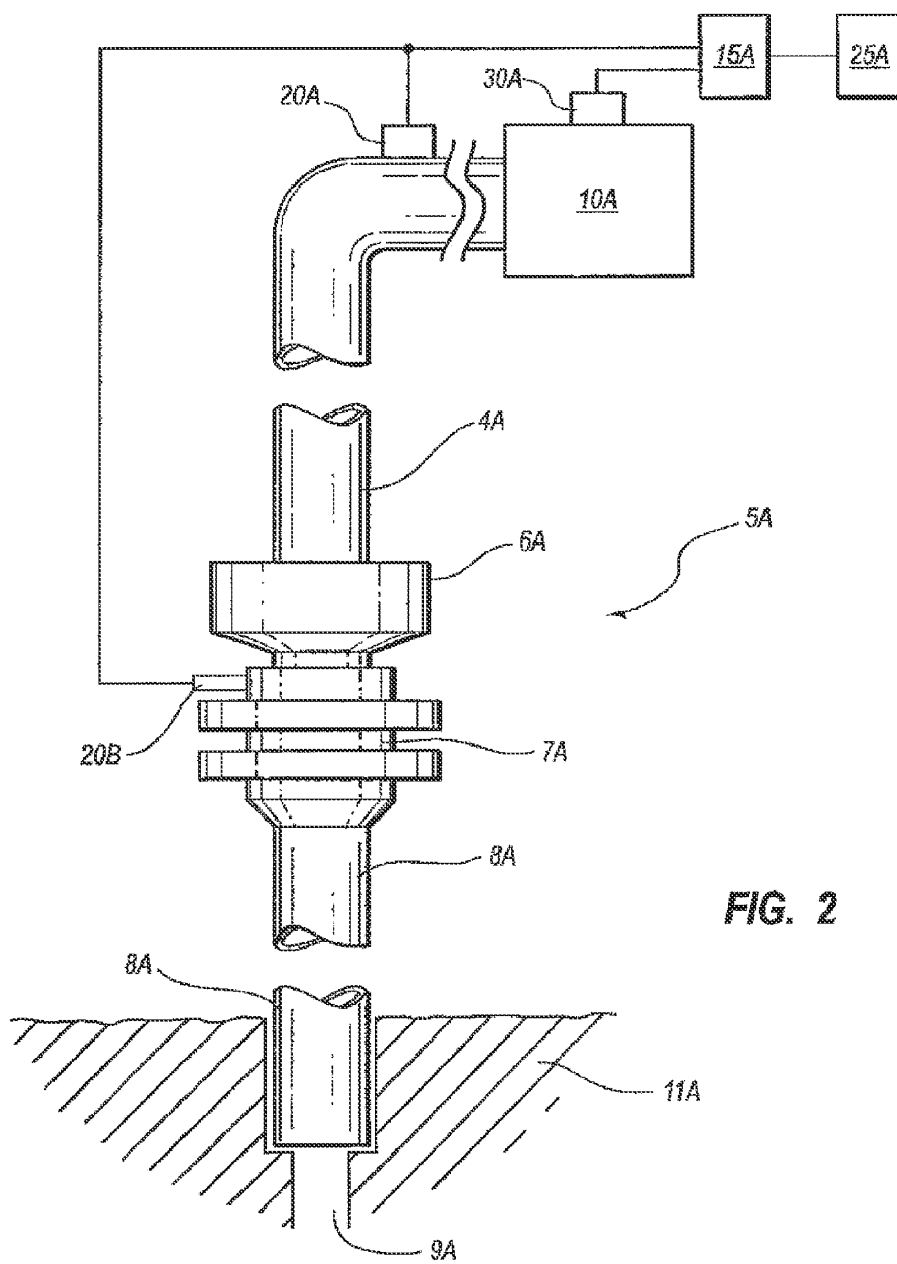


FIG. 1



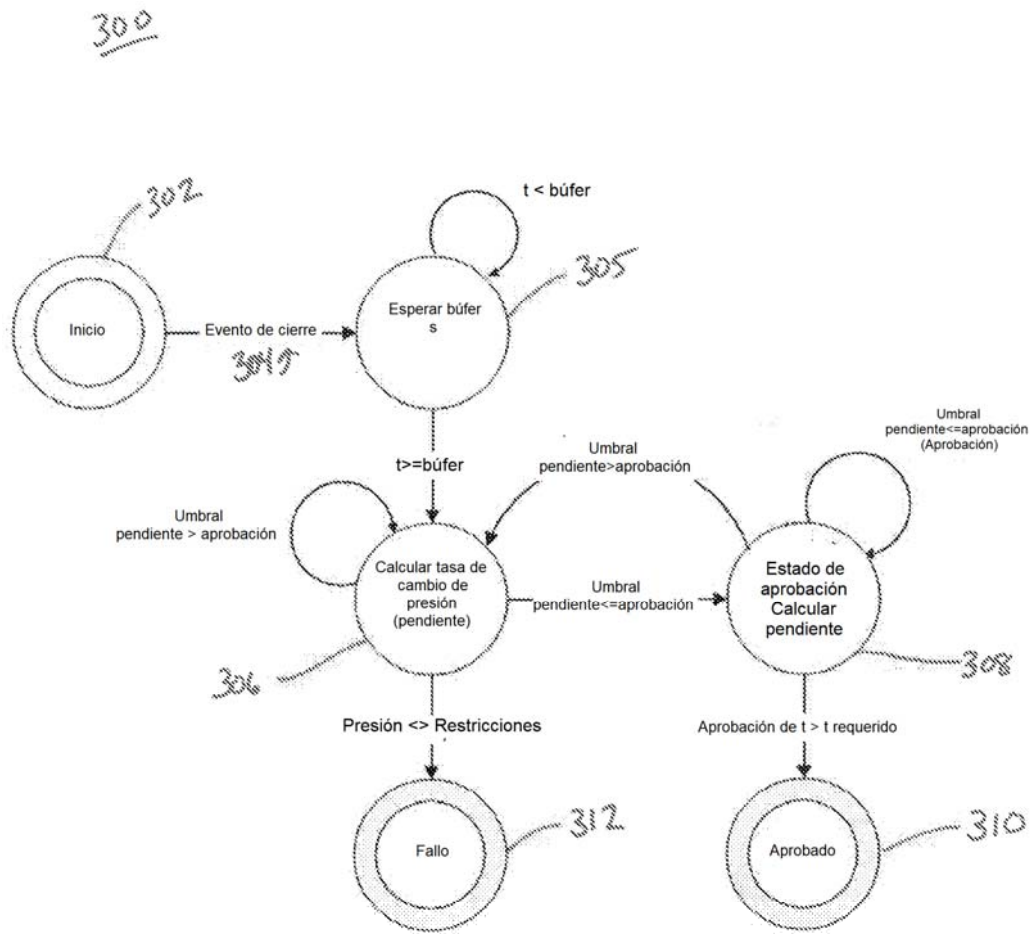


Fig. 3

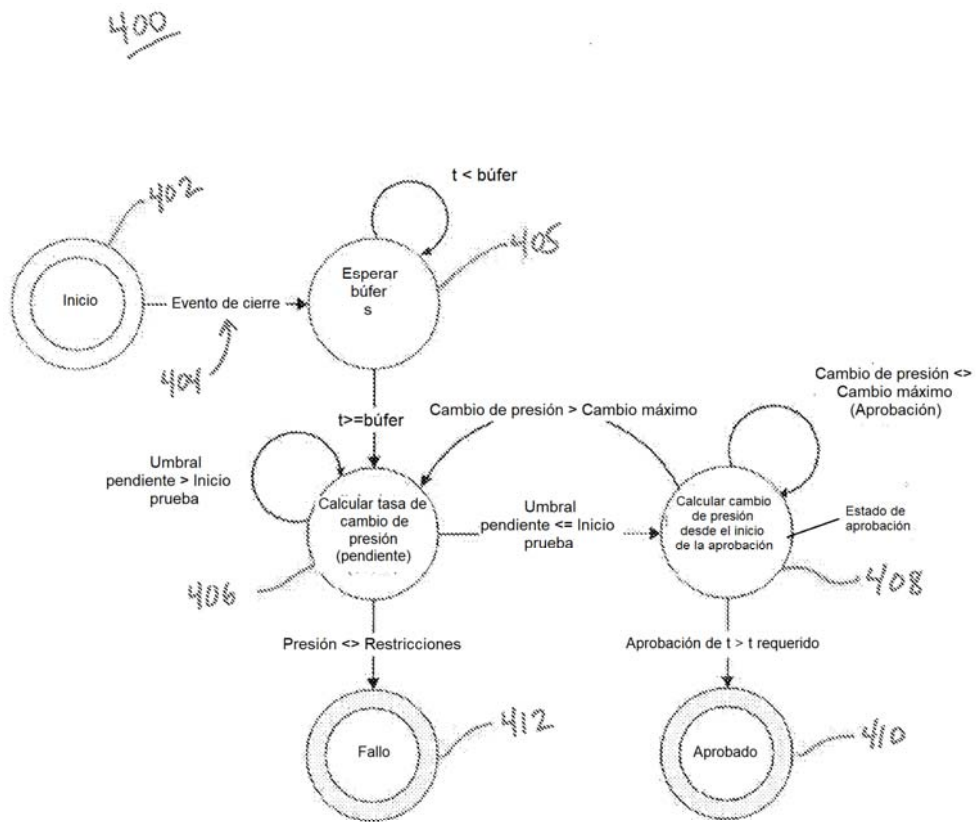


Fig. 4

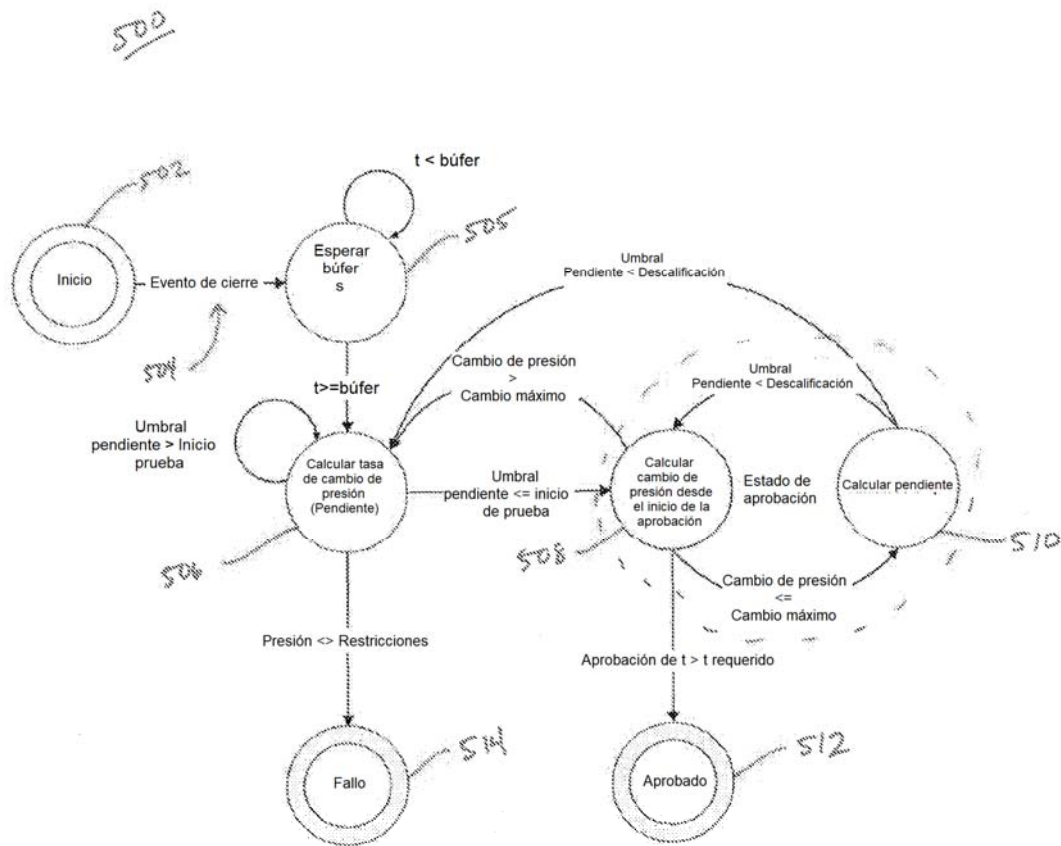


Fig. 5

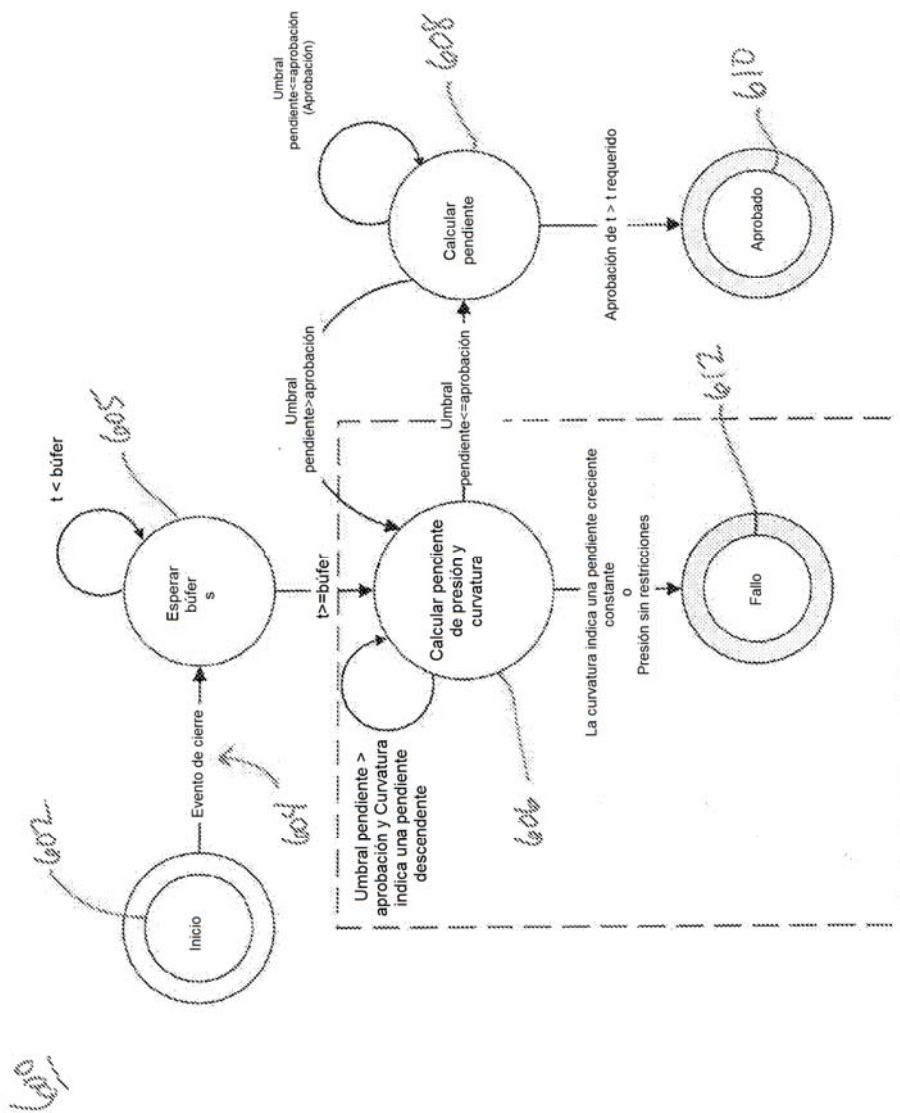


Fig. 6