



No. 10-014466- -00006-0000

Fecha: 2012-08-17 14:04:51 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 379 FASENACIONALI
Act. 523 RESPUESTA Folios: 32

1

Señores
DIRECCION DE NUEVAS CREACIONES
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
Bogotá D.C.,

Re.: Código 011 – 378 – 444
Expediente No. 10 – 14.466
Fase Nacional de Solicitud
de Patente PCT
SCHLUMBERGER TECHNOLOGY B.V.

En relación con el expediente de la referencia y dando cumplimiento a la última providencia recaída sobre este asunto por medio del presente escrito me permito manifestarles lo siguiente:

1. Acompaño una nueva versión de la descripción y las reivindicaciones debidamente revisadas y corregidas de conformidad con el contenido del concepto técnico mediante oficio No. 081142

Renunció al término faltante de traslado, y les solicito otorgar esta patente de invención.

De Ustedes Atentamente,


LUIS FELIPE CASTILLO GIBSONE
T.P. No. 68.995 del C.S.J.

MÉTODOS PARA CALIBRAR UN ANALIZADOR DE FLUIDO PARA USO EN UN POZO DE SONDEO

CAMPO DE LA EXPOSICIÓN

- 5 Esta exposición se relaciona generalmente con muestreo y análisis de fluidos de formación y, más particularmente, con métodos para calibrar un analizador de fluido para uso en un pozo de sondeo.

ANTECEDENTES

- El análisis de composición de fluido de fondo de pozo se usa
10 frecuentemente para proporcionar información en tiempo real acerca de la composición de fluidos de formación o depósito subterráneo. Esta información de tiempo real se puede usar ventajosamente para mejorar u optimizar la efectividad de herramientas de prueba de formación durante un proceso de muestreo en un pozo determinado (v. gr., el análisis de composición de fluido de fondo de pozo permite reducir y/u optimizar el número de
15 muestras capturado y llevado a la superficie para análisis adicional). Algunas herramientas de análisis de fluido de fondo de pozo tales como el Analizador de Fluido Vivo (LFA) y el Analizador de Fluido de Composición (CFA), ambos de los cuales están comercialmente disponibles de Schlumberger Technology Corporation, pueden medir espectros de absorción de fluidos de formación bajo condiciones de fondo de pozo. Cada
20 uno de estos analizadores de fluido conocidos proporciona diez canales, cada uno de los cuales corresponde a una longitud de onda diferente, que corresponden a un espectro medido que varía de longitudes de onda visibles a casi infrarrojas. La salida de cada uno de los canales representa una densidad óptica (es decir, el logaritmo de la relación de intensidad de luz incidente a intensidad de luz transmitida), en donde una densidad óptica
25 (OD) de cero corresponde a 100% de transmisión de luz y una OD de uno correspondiente a 10% de transmisión de luz. La salida de densidad óptica combinada de los canales proporciona información espectral que se puede usar para determinar la fracción de agua y composición de fluidos de formación.

- Para asegurar que un analizador de fluido proporcione fracción de agua e
30 información de composición para fluidos de formación razonablemente precisa, el analizador de fluido típicamente se somete a un procedimiento de calibración que evalúa

la desviación de línea de base o error de los canales de analizador de fluido a múltiples temperaturas. El procedimiento de calibración usualmente se lleva a cabo en la superficie (v. gr., en un laboratorio) y se realiza a temperaturas que pueden corresponder generalmente a temperaturas de herramienta de fondo de pozo. Adicionalmente, el
5 procedimiento de calibración puede involucrar el uso de aire, un aceite que tenga características ópticas bien conocidas, y/o agua. Sin embargo, el procedimiento de calibración conocido arriba mencionado puede no corregir los errores de medición que resultan de diferencias entre las condiciones bajo las cuales la calibración se realizó (típicamente un número limitado de puntos de dato de temperatura y/o una escala de
10 temperatura limitada) y las condiciones de fondo de pozo reales, o errores de medición relacionados con desviación de analizador de fluido o imprecisión que resulta de sensibilidad a la temperatura no repetible (v. gr., histéresis de desviación para diferentes ciclos de temperatura) de los canales de analizador de fluido.

COMPENDIO

15 Un método de ejemplo de generar datos de calibración para un analizador de fluido para uso en una herramienta de fondo de pozo implica hacer bajar unas herramienta de fondo de pozo que incluye un analizador de fluido a una ubicación en un pozo de sondeo, medir, a través del analizador de fluido, un valor característico de un fluido de calibración o un vacío mientras que el analizador de fluido está en la ubicación,
20 obtener un valor característico esperado para el fluido de calibración o el vacío en la ubicación, y comparar el valor característico medido al valor característico esperado para generar un valor de calibración para el analizador de fluido.

Otro método de ejemplo de calibrar un analizador de fluido para uso en una herramienta de fondo de pozo involucra hacer bajar una herramienta de fondo de pozo,
25 incluyendo un analizador de fluido, hacia un pozo de sondeo, medir, a través del analizador de fluido, una característica de un fluido de calibración o un vacío mientras que la herramienta de fondo de pozo está en el pozo de sondeo, y usar la característica medida y una característica esperada del fluido de calibración o el vacío para calibrar el analizador de fluido.

30 Todavía otro método para generar información de calibración para un analizador de fluido involucra medir una respuesta del analizador de fluido a un fluido de

calibración o un vacío en una ubicación en un pozo de sondeo, comparar la respuesta medida del analizador de fluido a una respuesta esperada al fluido de calibración o el vacío, y generar información de calibración basada en la comparación de la respuesta medida y la respuesta esperada.

5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 ilustra un sistema de sitio de pozo en el que métodos de calibración de analizador de fluido de ejemplo descritos en la presente se pueden emplear.

La Figura 2 ilustra una herramienta de línea de alambre de ejemplo que se puede usar para extraer y analizar muestras de fluido de formación de conformidad con los métodos de ejemplo descritos en la presente.

La Figura 3 ilustra una herramienta de muestreo de fluido de formación de ejemplo que se puede usar para implementar las herramientas de LWD de la Figura 1 y/o la herramienta de línea de alambre de la Figura 2.

La Figura 4 es una gráfica de flujo que ilustra un método de calibración de analizador de fluido conocido.

La Figura 5 es una gráfica que ilustra la salida de línea de base de un analizador de fluido en respuesta a aire a temperatura ambiente.

La Figura 6 es una gráfica que ilustra la salida del analizador de fluido asociado con el gráfica de la Figura 5 en respuesta a aceite J26 y agua.

La Figura 7 es una gráfica que ilustra la salida del analizador de fluido asociado con las gráficas de las Figuras 5 y 6 en respuesta a una escala de temperaturas ambientales.

La Figura 8 es una gráfica que ilustra la salida del analizador de fluido asociado con las gráficas de las Figuras 5-7 en respuesta a múltiples ciclos de temperatura.

La Figura 9 es una gráfica que ilustra la salida de un canal del analizador de fluido asociado con las gráficas de las Figuras 5-8 a través de una escala de temperaturas.

La Figura 10 es una gráfica de flujo de un método de calibración de analizador de fluido de ejemplo.

La Figura 11 es una gráfica que ilustra la información espectral esperada y medida para veinte canales de un analizador de fluido que se está calibrando.

La Figura 12 es una gráfica que ilustra la diferencia entre la información espectral medida y la esperada mostrada en la Figura 11.

5 La Figura 13 es una ilustración esquemática de una plataforma de procesador de ejemplo que se puede usar y/o programar para implementar cualquiera de todos los métodos y aparatos de ejemplo descritos en la presente.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Se muestran ciertos ejemplos en las figuras arriba identificadas y se describen con detalle abajo. Al describir estos ejemplos, los números de referencia semejantes o idénticos se pueden usar para identificar elementos comunes o similares. Las figuras no están necesariamente a escala y ciertas particularidades y ciertas vistas de las figuras pueden estar mostradas exageradas en escala o en esquemática para claridad y/o brevedad.

15 El análisis preciso de muestras de fluido de formación es un aspecto crucial de producir eficientemente una formación. En particular, la selección de una metodología de producción apropiada o mejor frecuentemente depende de los resultados de un análisis de fluido. Como resultado, la calibración apropiada de analizadores de fluido de fondo de pozo es crucial para asegurar que los resultados de análisis de fluido sean precisos y, finalmente, que fluidos de formación se produzcan en una manera más efectiva y eficiente.

Muchos métodos de calibración de analizador de fluido conocidos involucran caracterización de la respuesta de un analizador de fluido de un fluido conocido (v. gr., un aceite J26) en las condiciones superficiales (v. gr., en un laboratorio) y a una o más temperaturas, que pueden ser o no similares a las condiciones reales de temperatura de fondo de pozo. En contraste con estos métodos conocidos, los métodos de calibración de analizador de fluido de ejemplo descritos en la presente generan datos de calibración para un analizador de fluido bajando una herramienta de fondo de pozo, que incluye el analizador de fluido y una cantidad almacenada de fluido de calibración, hacia un pozo de sondeo. El fluido de calibración se puede almacenar en una o más líneas de flujo y/o un contenedor de muestra de la herramienta de fondo de pozo antes de bajar la herramienta

de fondo de pozo hacia el pozo de sondeo. Los fluidos de calibración apropiados incluyen, pero no están limitados a, un alcano, un aceite, agua, aire, nitrógeno, disulfuro de carbono y dióxido de carbono. En algunos ejemplos, el fluido de calibración usado puede ser substancialmente diferente en composición a un fluido de formación que se va a medir por el analizador de fluido. Por ejemplo, los fluidos de calibración tales como aceite hidráulico, agua, aire, nitrógeno, disulfuro de carbono, y dióxido de carbono son substancialmente diferentes en composición a muchos fluidos de formación que se van a medir por el analizador de fluido.

En una o más localizaciones en el pozo de sondeo, el fluido de calibración almacenado en la herramienta de fondo de pozo se bombea hacia o dispone de otra manera en o se entrega al analizador de fluido. El analizador de fluido luego mide un valor o valores característicos del fluido de calibración en la ubicación. Por ejemplo, los valores característicos medidos pueden ser información espectral obtenida a través de uno o más canales del analizador de fluido y usados para determinar, por ejemplo, uno o más valores de densidad óptica en una o más longitudes de onda. Los valores característicos medidos del fluido de calibración luego se comparan con los valores característicos esperados del fluido de calibración en la ubicación para generar valores de calibración para el analizador de fluido. Los valores característicos esperados se pueden basar en mediciones del fluido de calibración hechas en condiciones superficiales (v. gr., en un laboratorio). En particular, para obtener los valores característicos esperados, las mediciones del fluido de calibración hechas en condiciones superficiales se pueden corregir para un cambio en su densidad en la ubicación en el pozo de sondeo usando una medición de densidad en la ubicación en el pozo de sondeo o una densidad calculada en la ubicación. Cada uno de los valores de calibración puede corresponder a una diferencia entre una salida esperada de uno de los canales de analizador de fluido en respuesta al fluido de calibración en la salida real del canal en respuesta al fluido de calibración en la ubicación en el pozo de sondeo. De esta manera, los valores de calibración se pueden usar para corregir las salidas medidas de cada uno de los canales del analizador de fluido (v. gr., generar valores característicos corregidos) en la ubicación en el pozo de sondeo.

Los métodos de calibración de ejemplo descritos con mayor detalle abajo se pueden realizar en múltiples ubicaciones en el pozo de sondeo mientras que la

herramienta de fondo de pozo se detiene en una estación o, si se desea, mientras que la herramienta se está corriendo en el agujero (es decir, moviendo). Además, los métodos de calibración de ejemplo pueden usar un vacío dentro del analizador de fluido en lugar de o además de un fluido de calibración para generar valores de calibración para el analizador de fluido en una o más ubicaciones en un pozo de sondeo. Un vacío proporciona una densidad óptica de cero para todos los canales de analizador de fluido (v. gr., longitudes de onda) a todas las temperaturas y, de esta manera, los valores característicos esperados son todos cero independientemente de la ubicación del analizador de fluido en el pozo de sondeo.

Los métodos de calibración de analizador de fluido de ejemplo descritos en la presente se pueden realizar en una ubicación en un pozo de sondeo ya sea antes de o después del muestreo de un fluido de formación en esa ubicación. Como resultado, el analizador de fluido se calibra para compensar las condiciones reales de fondo de pozo (v. gr., temperatura, presión, etc.) en la ubicación así como otras características no ideales del analizador de fluido (v. gr., sin capacidad de repetición a través de ciclos de temperatura, ciclos de presión, etc.). Compensando las condiciones reales de fondo de pozo así como otras características no ideales del analizador de fluido, los métodos de calibración de ejemplo descritos en la presente proporciona una calibración significativamente más precisa que los métodos de calibración conocidos arriba anotados debido a que dichos métodos conocidos realizan calibración bajo condiciones arriba del pozo o superficiales, que no son necesariamente similares o idénticas a condiciones de fondo de pozo y que no compensan por otras características no ideales de analizadores de fluido tales como, sin capacidad de repetición del analizador de fluido a través de ciclos de temperatura y lo semejante.

Mientras que los métodos de ejemplo se describen en la presente con referencia a las llamadas operaciones de "muestreo-mientras-se-perfora", "registro-minetras-se-perfora", y/o "medición-mientras se perfora", los métodos de ejemplo, adicional o alternativamente, se pueden usar durante operaciones de muestro de línea de alambre. Además, estas operaciones mientras que se perfora no requieren que ese muestreo, registro y/o medición ocurran en realidad mientras que se perforación está ocurriendo activamente. Por ejemplo, como se realiza comúnmente en la industria, una

broca de perforación de una sarta de perforación perfora durante un período de tiempo, la perforación hace pausa, una o más mediciones de formación y/o muestras de fluido de formación se toman por uno o más dispositivos de muestreo, medición y/o registro de la sarta de perforación, y luego se reanuda la perforación. Estas actividades se refieren como muestreo, medición y/o registro mientras se perfora debido a que no requieren la remoción de la sarta de perforación del pozo de sondeo a fin de realizar mediciones de formación y/o para obtener muestras de fluido de formación.

La Figura 1 ilustra un sistema de perforación de sitio de pozo de ejemplo que se puede emplear en tierra y/o mar adentro y que puede emplear los métodos de calibración de analizador de fluido de ejemplo descritos en la presente. En el sistema de sitio de pozo de ejemplo de la Figura 1, una perforación se forma en una o más formaciones subsuperficiales mediante perforación giratoria y/o direccional.

Como se ilustra en la Figura 1, una sarta 12 de perforación está suspendida dentro de la perforación 11 y tiene un conjunto de fondo de agujero (BHA) 100 que tiene una broca 105 de perforación en su extremo inferior. Un sistema de superficie incluye una plataforma y conjunto 10 de grúa colocado sobre la perforación 11, el conjunto 10 incluye una mesa 16 giratoria, varilla 17 de arrastre, un gancho 18 y una manivela 19 giratoria. La sarta 12 de perforación se gira mediante la mesa 16 giratoria, activada por medios no mostrados, que acopla la varilla 17 de arrastre en el extremo superior de la sarta 12 de perforación. La sarta 12 de perforación de ejemplo se suspende del gancho 18, que está fijado a un bloque de movimiento (no mostrado) y a través de la varilla 17 de arrastre y la manivela 19 giratoria, que permite la rotación de la sarta 12 de perforación con relación al gancho 18. Adicional o alternativamente, un sistema de impulsión superior se podría usar.

En el ejemplo de la Figura 1, el sistema superficial incluye además fluido o lodo de perforación 26 almacenado en un pozo 27 formado en el sitio de pozo. Una bomba 29 entrega el fluido 26 de perforación al interior de la sarta 12 de perforación a través de un portillo en la manivela 19, ocasionando que el fluido de perforación fluya hacia abajo a través de la sarta 12 de perforación como se indica por la flecha 8 direccional. El fluido 26 de perforación sale de la sarta 12 de perforación a través de los portillos en la broca 105 de perforación, y luego circula hacia arriba a través de la región de corona anular entre el exterior de la sarta de perforación y la pared de la perforación,

como se indica por las flechas 9 direccionales. El fluido 26 de perforación lubrica la broca 105 de perforación, lleva cortes de formación a la superficie a medida que se regresa al pozo 27 para recirculación, y crea una capa de torta de lodo en las paredes de la perforación 11.

5 El BHA 100 de ejemplo de la Figura 1 incluye, entre otras cosas, cualquier número y/o tipo(s) de módulos de registro-mientras-se-perfora (LWD) (dos de los cuales están designados en los números de referencia 120 y 120A) y/o módulos de medición-mientras-se-perfora (MWD) (uno de los cuales está designado en el número de referencia 130), un sistema roto-dirigible y motor, y la barrena 105 de perforación de ejemplo.

10 Los módulos de LWD 120 y 120A de ejemplo de la Figura 1 están cada uno alojados en un tipo especial de collarín de perforación como es sabido en el ramo y cada uno contiene cualquier número de herramientas de registro y/o dispositivos de muestreo y análisis de fluido. Los módulos de LWD 120 y 120A de ejemplo incluyen capacidades para medir, procesar, y/o almacenar información, así como para comunicarse con equipo
15 superficial, tal como una computadora 160 de registro y control a través, por ejemplo, del módulo 130 de MWD.

Una manera de implementar un módulo de muestreo de fluido de formación de ejemplo para los módulos de LWD 120 y 120A, cualquiera o ambos de los cuales puede incluir un analizador de fluido para analizar muestras de fluido de formación, se
20 describe abajo en conexión con la Figura 3. Adicionalmente, los métodos de calibración de ejemplo descritos en la presente se pueden implementar controlando las operaciones de la sarta 12 de perforación, incluyendo los componentes del BHA 100, a través de la computadora 160 de registro y control. Por ejemplo, el proceso de calibración de ejemplo de la Figura 10 se puede implementar en conjunción con la computadora 160 de registro y
25 control para controlar uno o más de los módulos 120 y 120A de LWD y/o el módulo 130 de MWD para medir los valores espectrales v. gr., valores de OD) asociados con un fluido de calibración y/o un vacío en una o más ubicaciones en el pozo de sondeo o perforación 11 y usar los valores medidos asociados con el fluido de calibración y/o vacío para generar valores de calibración o información antes de o después de muestrear el fluido
30 de formación (v. gr., a través de uno o más de los módulos 120 y 120A de LWD). De esta manera, los valores de calibración o información se puede usar para calibrar el analizador

de fluido, que se puede usar en uno o más de los módulos 120 y 120A de LWD, bajo condiciones de fondo de pozo reales para eliminar errores de calibración debido, por ejemplo, a diferencias entre las condiciones de calibración de superficie y las condiciones de fondo de pozo reales (v. gr., temperaturas, presiones, etc.) así como otras

5 características no ideales del analizador de fluido tal como sin capacidad de repetición a través de ciclos de temperatura, etc.

Otras maneras de implementar un módulo de LWD de ejemplo se describen en la Patente de EUA No. 7,114,562, titulada "Aparato y Método para Adquirir Información Mientras Se Perfora" y expedida el 3 de octubre de 2006; y en la Patente de

10 EUA No. 7,324,819, titulada "Aparato y Método de Bombeo de Fluido a Fondo de Pozo", y expedida el 24 de octubre de 2006. La Patente de EUA No. 7,114,562, y la Patente de EDUA No. 7,124,819 se incorporan en la presente por referencia en su totalidad.

El módulo 130 de MWD de ejemplo de la Figura 1 también está alojado en un tipo especial de collarín de perforación y contiene uno o más dispositivos para medir

15 características de la sarta 12 de perforación y/o la broca 105 de perforación. La herramienta 130 de MWD de ejemplo incluye además un aparato (no mostrado) para generar energía eléctrica para uso por el sistema de fondo de pozo. Dispositivos de ejemplo para generar energía eléctrica incluyen, pero no están limitados a, un generador de turbina de lodo activado por el flujo del fluido de perforación, y un sistema de batería.

20 Los dispositivos de medición del ejemplo incluyen, pero no están limitados a, un dispositivo de medición de peso en broca, un dispositivo de medición de par de torsión, un dispositivo de medición de vibración, un dispositivo de medición de choque, un dispositivo de medición de deslizamiento de barra, un dispositivo de medición de dirección y un dispositivo de medición de inclinación.

La herramienta 200 de línea de alambre incluye un probador 214 de

25 formación que tiene un conjunto 216 de admisión de fluido selectivamente extensible y un miembro 218 de anclaje de herramienta selectivamente extensible, que están respectivamente dispuestos en lados opuestos del cuerpo 208. El conjunto 216 de admisión de fluido está configurado para sellar selectivamente o aislar porciones

30 seleccionadas de la pared del pozo 202 de sondeo para acoplar a fluido la formación F adyacente y atraer muestras de fluido de la formación F. El probador 214 de formación

también incluye un módulo 220 de análisis de fluido a través del cual fluyen las muestras de fluido obtenidas. El fluido a continuación se puede expulsar a través de un portillo (no mostrado) o se puede enviar a una o más cámaras 224 de recolección de fluido, que pueden recibir y retener el fluido de formación para prueba subsecuente en la superficie o una instalación de prueba.

En el ejemplo ilustrado, el sistema 206 de control eléctrico y adquisición de datos y/o el sistema 212 de control de fondo de pozo están configurados para controlar al conjunto 216 de admisión de fluido para atraer muestras de fluido de la formación F y para controlar el módulo 220 de análisis de fluido para medir las muestras de fluido. En algunas implementaciones de ejemplo, el módulo 220 de análisis de fluido puede estar configurado para analizar el dato de medición de las muestras de fluido como se describe en la presente. En otras implementaciones de ejemplo, el módulo 220 de análisis de fluido puede estar configurado para generar y almacenar los datos de medición y subsecuentemente comunicar el dato de medición a la superficie para análisis subsecuente en la superficie. Aún cuando el sistema 212 de control de fondo de pozo se muestra como estando implementado separado del probador 214 de formación, en algunas implementaciones de ejemplo, el sistema 212 de control de fondo de pozo puede estar implementado en el probador 214 de formación.

Como con el ejemplo de sarta de perforación mostrado en la Figura 1, el ejemplo de herramienta 200 de línea de alambre de la Figura 2 también se puede usar en conjunción con los métodos de calibración de analizador de fluido de ejemplo descritos en la presente. Por ejemplo, el probador 214 de formación se puede controlar mediante uno o ambos del sistema 212 de control de fondo de pozo y el sistema 206 de control eléctrico y adquisición de datos para medir los valores característicos de un fluido de calibración y/o un vacío en una ubicación en el pozo 202 de sondeo y luego comparar los valores característicos medidos con valores característicos esperados para generar información de calibración o valores que se van a usar para corregir mediciones de fluido de la formación F hechos por el probador 214 de formación. Las mediciones de calibración hechas de conformidad con los métodos de ejemplo de calibración de analizador de fluido descritos en la presente se pueden realizar en una o más ubicaciones dentro del pozo 202 de sondeo y se pueden hacer mientras que la herramienta 200 de línea de alambre está

12

en una estación (v. gr., estacionaria y/o temporalmente fija en lugar en una ubicación en el pozo de sondeo) y/o mientras que la herramienta 200 de línea de alambre se está corriendo en la perforación (es decir, moviéndose dentro del pozo de sondeo 202).

La Figura 3 ilustra una herramienta 300 de muestreo de formación de ejemplo que se puede usar para implementar el probador 214 de formación de la Figura 2 y/o los módulos 120 y 120A de LWD de la Figura 1. La herramienta 300 de muestreo de formación de ejemplo incluye un conjunto 302 de sonda para acoplar una superficie de un pozo de sondeo para atraer fluidos de una formación. En otras implementaciones de ejemplo, empacadores de horcajadas (no mostrados) se pueden usar adicional o
10 alternativamente para acoplar y aislar una porción de la superficie del pozo de sondeo para atraer fluidos desde una formación. La herramienta 300 de muestreo de formación se proporciona con una bomba 304 que se puede usar para atraer fluidos de una formación hacia la herramienta 300. La herramienta 300 de muestreo de formación también incluye uno o más sensores de fluido para medir el fluido de formación atraído hacia la
15 herramienta 300. Más específicamente, en el ejemplo ilustrado, la herramienta 300 de muestreo de formación se proporciona con un analizador 306 de fluido para medir una o más características del fluido de formación, fluido de calibración y/o un vacío como se describe con mayor detalle en conexión con la Figura 10 abajo. El analizador 306 de fluido se puede implementar usando, por ejemplo, un espectrómetro de absorción de
20 luz/fluorescencia que tiene una pluralidad de canales, cada uno de los cuales puede corresponder a una longitud de onda diferente. De esta manera, el analizador 306 de fluido se puede usar para medir información espectral para un fluido de calibración, un vacío, y/o un fluido de formación. Esta información espectral puede incluir valores característicos tales como valores de densidad óptica asociados con cada uno de los
25 canales. Desde luego, mientras que los ejemplos específicos descritos en la presente se relacionan con un analizador de fluido óptico, las enseñanzas de estos ejemplos pueden ser más generalmente aplicadas para uso con otros tipos de analizadores de fluido incluyendo, por ejemplo, un analizador de viscosidad de fluido, un analizador de resistividad de fluido, un dispositivo de resonancia magnética nuclear, etc.

30 La herramienta 300 también se proporciona con uno o más sensores 308 y 309 para medir presión, temperatura, densidad, viscosidad, y/o cualesquiera otras

propiedades del fluido. La herramienta 300 opcionalmente puede incluir uno o más contenedores o almacenas 310 y 311 de muestra de fluido, cada uno incluyendo una o más cámaras de muestra de fluido en las que el fluido de depósito recuperado durante las operaciones de muestreo se puede almacenar y llevar a la superficie para análisis adicional y/o confirmación de análisis de fondo de pozo. Alternativa o adicionalmente, de conformidad con los métodos de ejemplo de calibración de analizador de fluido descritos en la presente, el contenedor 310 de muestra de fluido y/o el contenedor 311 se puede llenar en la superficie con un fluido de calibración tal como un alcano (v. gr., n-heptano, n-octano, n-nonano, etc.), un aceite (v. gr., aceite hidráulico tal como aceite J26, aceite sintético, aceite combustible tal como diesel, aceites con colorante tales como combustible diesel con tinte), agua, nitrógeno, aire, disulfuro de carbono, dióxido de carbono, o cualquier otro fluido de calibración apropiado. Alternativa o adicionalmente, una o más porciones de una línea 312 de flujo, que acopla a fluido los contenedores 310 y 311 de muestra de fluido, la bomba 304, los sensores 308, y el analizador 309 de fluido a la sonda 302, se pueden llenar en la superficie con el fluido de calibración.

Independientemente de cómo se almacena el fluido de calibración en la herramienta 300 antes de ser bajada hacia un pozo de sondeo, los métodos de calibración de analizador de fluido de ejemplo descritos en la presente controlan los diversos dispositivos dentro de la herramienta 300 para entregar cuando menos algo del fluido de calibración al analizador 306 de fluido. En un ejemplo, un volumen de fluido 314 de calibración se puede almacenar en el contenedor 310 de muestra mientras que la herramienta 300 está en la superficie. Luego, cuando la herramienta se hace descender hacia un pozo de sondeo a una ubicación en la que se va a realizar una calibración del analizador 306 de fluido, una válvula 316 se cierra para bloquear la trayectoria de fluido entre la sonda 302 y la línea 312 de flujo, y se abren las válvulas 318 y 320. Abrir la válvula 318 permite que el fluido de pozo de sondeo (v. gr., fluido de perforación), que está a presión con relación al fluido 314 de calibración, entre a un portillo 322 y empiece a llenar una cámara 324 que está separada del fluido 314 de calibración mediante un pistón 326. A medida que aumenta el volumen de fluido 324 de pozo de sondeo a presión, el pistón 326 se desplaza hacia arriba para forzar cuando menos parte del fluido 314 de calibración a través de la válvula 320 y hacia la línea 312 de flujo. El fluido 314 de

calibración puede entonces fluir a través de la línea 312 de flujo hacia el analizador 306 de fluido para permitir la calibración del analizador 306 de fluido de conformidad, por ejemplo, con el método abajo descrito en conexión con la Figura 10.

En otro ejemplo, el fluido de calibración se puede almacenar en la línea 312 de flujo en la superficie. Después de que la línea 312 de flujo se llena con el fluido de calibración, las válvulas 316, 318 y 320 se cierran. Luego, la herramienta se coloca en la posición deseada en un pozo de sondeo y una calibración del analizador 306 de fluido se puede realizar usando el fluido almacenado en la línea de flujo. En todavía otro ejemplo, el fluido de calibración se puede almacenar en el contenedor 311 de muestra en la superficie y cuando se va a realizar una calibración del analizador 306 de fluido en una ubicación en un pozo de sondeo, se cierra una válvula 323 y la bomba 304 se opera en una dirección de muestreo de reversa para atraer cuando menos parte del fluido de calibración desde el contenedor 311 hacia el analizador 306 de fluido. En todavía otro ejemplo, la línea 312 de flujo y el analizador 306 de fluido se pueden evacuar para generar un vacío en el mismo y las válvulas 316, 320, 321, y 323 se pueden cerrar antes de que la herramienta 300 se baje hacia un pozo de sondeo. En este caso, una calibración (bajo condiciones de vacío) se puede realizar entonces en cualquier momento o profundidad. Desde luego, los métodos anteriores para almacenar y entregar fluido de calibración o un vacío al analizador 306 de fluido realizan una calibración del analizador 306 de fluido en la ubicación de pozo de sondeo se pueden usar separadamente o en cualquier combinación deseada.

Para almacenar, analizar y/o prueba de proceso y datos de medición (o cualesquiera otros datos adquiridos por la herramienta 300 de muestreo de formación), la herramienta 300 se proporciona con un sistema 327 de procesamiento, que generalmente puede estar implementado como se muestra en la Figura 13. En el ejemplo ilustrado, el sistema 327 de procesamiento puede incluir un procesador (v. gr., un CAPU y memoria de acceso aleatorio tal como se muestra en la Figura 13) para controlar operaciones de la herramienta 300 e implementa rutinas de medición (v. gr., para controlar que el analizador 306 de fluido realice mediciones de características de fluido de calibración o un vacío y para medir características del fluido de formación, etc.). Para almacenar instrucciones legibles por máquina (v. gr., código, software, tec.) que, cuando se ejecutan por el sistema

327 de procesamiento, ocasionan que el sistema 327 de procesamiento implemente procesos de medición o cualesquiera otros procesos, el sistema 327 de procesamiento se puede proporcionar con una memoria de lectura solamente programable electrónica (EPROM) o cualquier otro tipo de memoria (no mostrada). En el ejemplo ilustrado, el sistema 327 de procesamiento está configurado para recibir datos digitales de uno o más sensores (v. gr., el analizador 306 de fluido y los sensores 308 y 309) provistos en la herramienta 300.

Para analizar datos de medición tales como información espectral asociada con el fluido de calibración o vacío y/o fluido de formación y obtenido del analizador 306 de fluido, el sistema 327 de procesamiento está configurado para calibrar el analizador 306 de fluido de conformidad con los métodos de calibración de ejemplo descritos en la presente 8v. gr., el método de ejemplo de la Figura 10). En particular, el sistema 327 de procesamiento puede calcular valores característicos 8v. gr., valores de densidad óptica) de mediciones hechas por el analizador 306 de fluido de un fluido de calibración desde el contenedor 310 de muestra, el contenedor 311 de muestra, y/o la línea 312 de flujo. El sistema 327 de procesamiento también puede obtener valores característicos esperados para el fluido de calibración o el vacío retirando información característica esperada de una memoria 8v. gr., una o ambas de las memorias P115 y P120 de la Figura 13) y usando la información característica esperada en conjunción con condiciones de fondo de pozo reales, que se pueden medir por los sensores 308 y 309 u otros sensores, para generar los valores característicos esperados. Por ejemplo, el sistema 327 de procesamiento puede calcular o generar un valor de densidad óptica esperado para un fluido de calibración basado en una densidad óptica conocida para el fluido de calibración a presión superficial y usar un factor de corrección de densidad, que se puede basar en una ecuación de cálculo de densidad o una medición de densidad de fondo de pozo real, para generar una densidad óptica esperada para el fluido de calibración en la ubicación de fondo de pozo. El sistema 327 de procesamiento puede luego comparar los valores característicos medidos del fluido de calibración con los valores característicos esperados para generar valores de calibración o información que, a su vez, se puede usar mediante el sistema de procesamiento para corregir mediciones de fluido de formación hechas por el analizador 306 de fluido como se describe con mayor detalle abajo. Para comunicar

información cuando la herramienta 300 está en el fondo del pozo, el sistema 327 de procesamiento está acoplada de manera comunicativamente con un bus 328 de herramienta, que se puede acoplar de manera comunicativa a un sistema de superficie (v. gr., el sistema 160 de registro y control, el control eléctrico y el sistema 206 de adquisición de datos, etc.).

Adicionalmente, la herramienta 300 se puede configurar para permitir la limpieza del analizador 306 de fluido y/o los sensores 308 y 309 mientras que están en el fondo del pozo antes de realizar una calibración para mejorar adicionalmente la precisión de la calibración. Por ejemplo, uno o ambos de los contenedores 310 y 311 de muestra puede contener una solución de limpieza o fluido que se puede inyectar hacia la línea 312 de flujo para limpiar el analizador 306 de fluido y/o los sensores 308 y 309. En un ejemplo, un fluido de limpieza se puede almacenar en el contenedor 311 y atraer a través del analizador 306 de fluido y/o los sensores 308 y 309 a través de la bomba 304. Alternativa o adicionalmente, la cámara 310 de muestra se puede llenar inicialmente con un fluido limpiador e inyectar hacia la línea 312 de flujo para limpiar el analizador 306 de fluido y/o los sensores 308 y 309. Detalles adicionales respecto a la limpieza de los componentes de fondo de pozo, incluyendo líneas de flujo, sensores, etc., se pueden encontrar en la Publicación de Patente de EUA No. 2008/0093078, que se incorpora por referencia en la presente en su totalidad.

Aún cuando los componentes de la Figura 3 se muestran y describen arriba como estando acoplados de manera comunicativa y dispuestos en una configuración particular, los componentes de la herramienta 300 de muestreo de formación se pueden acoplar de manera comunicativa y/o disponer de manera diferente a la ilustrada en la Figura 3 sin abandonar el alcance de la presente exposición. Además, los métodos de calibración de ejemplo descritos en la presente no están limitados a un tipo de transporte particular, sino que en su lugar, se pueden implementar en conexión con diferentes tipos de transporte incluyendo, por ejemplo, tubería enrollada, línea de alambre, tubería de perforación con alambre, y/u otros medios de transporte conocidos en la industria.

Para facilitar un mejor entendimiento de las operaciones y ventajas de los métodos de calibración de analizador de fluido de ejemplo descritos en la presente, primero se proporciona una breve discusión de un método de calibración de analizador de

fluido conocido abajo en conjunción con las Figuras 4-7. La Figura 4 es una gráfica de flujo que ilustra un método 400 conocida para calibrar un analizador de fluido y para realizar un análisis de fluido de fondo de pozo con el analizador de fluido después de la calibración. En general, los métodos de calibración de analizador de fluido conocidos tales como el método 400 de ejemplo trabajan principalmente para corregir el desplazamiento de línea de base de canales de analizador de fluido entre alrededor de temperatura ambiente y una temperatura máxima esperada bajo la que el analizador de fluido se usará en un ambiente de fondo de pozo (v. gr., una temperatura de herramienta máxima).

Inicialmente, se realiza una calibración seca maestra (bloque 402). La calibración seca maestra (bloque 402) se realiza a temperatura ambiente con aire en el analizador de fluido a presión atmosférica. La calibración seca maestra (bloque 402) proporciona un valor de densidad óptica para cada canal del analizador de fluido que se está calibrando. Por ejemplo, la Figura 5 ilustra una gráfica de valores de densidad óptica para veinte canales de un analizador de fluido conocido. Estos valores de densidad óptica, que varían significativamente, se pueden almacenar y usar para establecer una línea de base para cada uno de los canales de analizador de fluido para mediciones subsecuentes de otros fluidos (v. gr., fluidos de formación).

Después de la calibración seca maestra (bloque 402), el método 400 de calibración conocido realiza una calibración de aceite/agua maestra (bloque 404). La calibración de aceite/agua maestra (bloque 404) mide la respuesta del analizador de fluido a agua y aceite hidráulico (v. gr., tipo J26) separadamente a temperatura ambiente y baja presión (v. gr., menos de 7.03 kg/cm^2 (100 libras por pulgada cuadrada). La Figura 6 ilustra una gráfica de valores de densidad óptica para los mismos veinte canales del analizador de fluido conocido asociado con la Figura 5. Los valores de densidad óptica de la Figura 6 se pueden usar para caracterizar la respuesta de un analizador de fluido a agua y aceite hidráulico. En particular, los valores medidos se pueden comparar con los valores esperados, y datos de calibración (v. gr., similar a aquel mostrado en la Figura 5) se pueden generar de los mismos.

El método 400 de calibración conocido luego realiza un proceso de calibración de temperatura (bloque 406) durante el que la respuesta del analizador de fluido que se está sometiendo a calibración a aire se mide a presión atmosférica para

temperaturas que varían de temperatura ambiente a una temperatura de ambiente de operación máxima esperada. Típicamente, un número limitado de puntos de temperatura se seleccionan que varían de alrededor de temperatura ambiente (v. gr., 25°C) a alrededor de 200°C, que representa una temperatura de operación máxima típica de una herramienta de muestreo de formación. La Figura 7 ilustra una gráfica de valores de densidad óptica a diferentes temperaturas para los mismos veinte canales del analizador de fluido asociado con las Figuras 5 y 6 anteriores. De esta manera, los valores de densidad óptica mostrados en la Figura 7 se pueden usar para cuantificar el efecto de temperatura en las salidas de línea de base de cada uno de los canales para permitir corrección de mediciones de fluido de formación a diversas temperaturas. En particular, los valores medidos se pueden comparar con los valores esperados, y los datos de calibración (v. gr., similar a aquel mostrado en la Figura 5) se pueden generar de los mismos para proporcionar valores de línea de base como una función de temperatura.

Después de las operaciones de calibración de analizador de fluido en los bloques 402, 404 y 406, la herramienta de muestreo de formación, incluyendo el analizador de fluido calibrado, se baja hacia un pozo de sondeo y el fluido se muestrea desde una formación en una ubicación en el pozo de sondeo (bloque 408). El fluido muestreado luego se analiza (bloque 410) para, por ejemplo, determinar las densidades ópticas del fluido de formación para cada uno de la pluralidad de canales del analizador de fluido. Las salidas crudas del analizador de fluido se corrigen usando valores obtenidos durante uno o más de la calibración seca maestra (bloque 404), la calibración de aceite/agua maestra (bloque 406), y la calibración de temperatura (bloque 408).

Mientras que el método 400 de calibración conocido de la Figura 4 es útil para eliminar ciertos tipos de errores de línea de base que ocurren típicamente en analizadores de fluido, este método 400 conocido no corrige otros tipos comunes de errores. Por ejemplo, la Figura 8 es una gráfica que ilustra la no capacidad de repetición de un canal de analizador de fluido a través de diferentes ciclos de temperatura. Dichos errores de no capacidad de repetición no se pueden corregir usando un método de calibración tal como aquel mostrado en la figura 4 debido a que las variaciones de ciclo a ciclo no son predecibles de manera exacta. Como otro ejemplo, la Figura 9 es una gráfica que ilustra la variación de línea de base de un canal de analizador de fluido a través de

19

temperatura, en donde las calibraciones maestras con aire, aceite y agua ya se han realizado y usado para llevar a los valores OD mostrados en la Figura 9. En la práctica, las temperaturas de fondo de pozo experimentadas por el analizador de fluido pueden no coincidir con ninguno de los puntos de calibración de temperatura asociados con la calibración de temperatura (v. gr., bloque 406 de la Figura 4). Como resultado, muchos métodos de calibración de analizador de fluido conocidos usan interpolación lineal para derivar valores de línea de base entre los puntos de calibración de temperatura que rodean las temperaturas de fondo de pozo reales experimentadas por el analizador de fluido. Sin embargo, dicho proceso supone que la respuesta de temperatura del canal de analizador de fluido es lineal o monzónica a través de la temperatura como se puede ver fácilmente en la Figura 9, frecuentemente no es una suposición precisa. Los tipos anteriores de errores de calibración pueden tener un efecto negativo significativo sobre las mediciones de muestra de fluido que, a su vez, pueden tener un efecto negativo significativo sobre la precisión de cualquier análisis de composición de fluido de formación usando el dato o información de calibración impreciso.

La Figura 10 es una gráfica de flujo que ilustra un proceso de de analizador de fluido de ejemplo o método 1000 que se puede usar para calibrar un analizador de fluido bajo condiciones de fondo de pozo reales, eliminando de esta manera, o eliminando substancialmente el efecto de errores, tales como aquellos arriba descritos, que las técnicas de calibración conocidas descritas en la presente no han sido capaces de dirigir. El método 1000 de ejemplo se puede implementar usando instrucciones legibles por máquina (v. gr., software, código, etc.) ejecutadas por un procesador, un controlador y/o cualquier otro dispositivo de procesamiento apropiado. Por ejemplo, el método 1000 de la Figura 10 puede estar moralizado en instrucciones codificadas almacenadas en un medio tangible tal como una memoria instantánea, una memoria de lectura solamente (ROM) y/o memoria de acceso aleatorio (RAM) asociada con el procesador (v. gr., el procesador P105 de ejemplo abajo discutido en conexión con la Figura 13). Alternativamente, el método 1000 de ejemplo de la Figura 10 se puede implementar usando cualquier combinación o de circuito(s). ASIUC(s), PLD(s), FPLD(s), lógica discreta, hardware, firmware, etc. Asimismo, el método de ejemplo de la Figura 10 se puede implementar manualmente o como cualquier combinación de cualquiera de las técnicas anteriores tales

como, por ejemplo, cualquier combinación de firmware, software, lógica discreta y/o hardware. Además, aún cuando las operaciones de ejemplo de la Figura 10 se han descrito con referencia a la gráfica de flujo de la Figura 10, muchos otros métodos para implementar las operaciones de la Figura 10 se pueden emplear. Por ejemplo, el orden de ejecución de los bloques se puede cambiar, y/o uno o más de los bloques descritos se pueden cambiar, eliminar, subdividir o combinar. Adicionalmente, cualquiera o todas las operaciones de ejemplo de la Figura 10 se pueden llevar a cabo secuencialmente y/o llevar a cabo en paralelo, por ejemplo, por hilos de procesamiento separados, procesadores, dispositivos, lógica discreta, circuitos, etc.

10 Volviendo con detalle a la Figura 10, se realiza una calibración seca maestra (bloque 1002) para obtener una línea de base de todos los canales ópticos, cada uno de los cuales corresponde a una longitud de onda diferente, del analizador de fluido que se está calibrando (v. gr., el analizador 306 de fluido de la Figura 3). La calibración seca maestra (bloque 1002) se realiza a condiciones de superficie 8v. gr., temperatura ambiente y presión atmosférica). El fluido de calibración luego se mide usando el analizador de fluido que se va a calibrar a las condiciones de superficie (bloque 1004). Típicamente, las condiciones de superficie para la medición de fluido de calibración en el bloque 1004 son temperatura ambiente y una presión relativamente baja tal como menos de 7.03 kg/cm² manométrica (100 psig). Adicionalmente, el fluido de calibración puede ser aceite J26, o cualquier otro fluido apropiado que tenga absorciones apropiadas en la escala visible a la cercana a infrarroja, o cualquier otra escala apropiada de longitudes de onda. Los fluidos de calibración de ejemplo incluyen alcanos, aceites hidráulicos, aceites sintéticos, aceites combustibles, aceites con colorantes, agua, nitrógeno, aire, disulfuro de carbono y dióxido de carbono. El fluido de calibración usado en el método 1000 de ejemplo se puede seleccionar para ser apropiado a las necesidades de una aplicación particular o tipo de muestra de fluido de formación esperado, condiciones de fondo de pozo, tc. Más específicamente, un fluido de calibración particular se puede seleccionar para enfatizar la calibración de ciertos canales ópticos o una escala particular de canales ópticos correspondiente a longitudes de onda o escalas de longitud de onda particulares.

25 Por ejemplo, alcanos y aceites tienen crestas de absorción principales a longitudes de onda en donde la mayoría de absorciones de hidrocarburo ocurren. Los aceites con tinte

30

proporcionan absorciones en la escala de longitud de onda visible y, de esta manera, son bien apropiados para caracterizar canales ópticos correspondientes a la escala de absorción de color de fluidos de depósito. Nitrógeno, aire y disulfuro de carbono no tienen substancialmente absorción en la escala visible y casi infrarroja y, de esta manera, sus espectros de absorción son conocidos y no relacionados con su densidad y, como resultado, estos fluidos son bien apropiados para identificar desplazamiento de línea de base para calibrar canales de analizador de fluido en la escala visible y cerca de infrarroja.

El fluido de calibración luego se almacena en la herramienta de fondo de pozo que llevará el analizador de fluido hacia el pozo de sondeo (bloque 1006). Por ejemplo, el fluido de calibración se puede almacenar en el contenedor 310 de muestra, el contenedor 311 de muestra y/o la línea 312 de flujo de la herramienta 300 de muestreo de formación. La herramienta de fondo de pozo, incluyendo el analizador de fluido, luego se baja hacia el pozo de sondeo (bloque 1008) en cualquier manera deseada. Por ejemplo, la herramienta de fondo de pozo puede ser una herramienta de LWD tal como se muestra en la Figura 1, una herramienta de línea de alambre tal como se muestra en la Figura 2, o se puede bajar usando cualquier otro transporte apropiado incluyendo tubería enrollada. La operación de descenso (bloque 1009) puede involucrar uno o más detenciones de estación y/o puede ser una operación de correr en perforación durante la cual el descenso es substancialmente continuo.

Independientemente de si la operación de descenso (bloque 1008) involucra detenciones de estación o una operación de correr en perforación, el analizador de fluido se usa para medir una característica del fluido de calibración en una ubicación en el pozo de sondeo (bloque 1010). La operación de medición (bloque 1010) involucra disponer cuando menos algo del fluido de calibración almacenado en el analizador de fluido y medir el espectro de absorción del fluido de calibración en las condiciones de fondo de pozo asociadas con la ubicación del pozo de sondeo. Por ejemplo, en el caso en donde la herramienta 300 de muestreo de formación se usa para realizar la operación de medición (bloque 1010), el fluido de calibración almacenado en la línea 312 de flujo y/o el contenedor 311 de muestra se puede entregar por la bomba 304 al analizador 306 de fluido cuando la herramienta 300 esta en la ubicación de pozo de sondeo en el que se va a realizar una calibración del analizador 306 de fluido. Alternativamente, el fluido de

calibración se puede entregar al analizador 306 de fluido desde el contenedor 310 de muestra a través de un desplazamiento del pistón 326 como se describe arriba en conexión con la Figura 3. En el caso en donde el fluido de calibración solamente está almacenado en la línea 312 de flujo, el fluido de calibración impide substancialmente que el lodo de perforación u otros fluidos o contaminantes entren a la línea 312 de flujo durante el descenso de la herramienta de fondo de pozo hacia el pozo de sondeo. Sin embargo, el volumen limitado de fluido almacenado en la línea 312 de flujo puede limitar el número de calibraciones que se pueden realizar. Además, una vez que la herramienta 300 de muestreo se ha usado para muestrear un fluido de formación, la línea 312 de flujo ya no contendrá ningún fluido de calibración y, de esta manera, las calibraciones después de una operación de muestreo de formación no son posibles a menos que otra fuente de fluido de calibración se proporcione (v. gr., el contenedor 10 de muestra). En el caso en donde el fluido de calibración está alternativa o adicionalmente almacenado en el contenedor 310 de muestra y/o el contenedor 311 de muestra, las calibraciones se pueden realizar en múltiples ubicaciones o profundidades en el pozo de sondeo antes de y/o después de las operaciones de muestreo de formación.

La operación de medición (bloque 1010) proporciona información espectral para el fluido de calibración. En particular, el analizador de fluido (v. gr., el analizador 306 de fluido) da salida a información óptica o dato asociado con una pluralidad de canales, cada uno de los cuales corresponde a una longitud de onda diferente. La información óptica puede ser valores de densidad óptica o información o dato asociado con cualquier otra característica óptica apropiada para analizar la composición de una muestra de fluido.

El proceso o método 1000 de ejemplo luego obtiene la característica esperada del fluido de calibración en la ubicación (bloque 1012). Por ejemplo, la densidad óptica esperada del fluido de calibración se puede obtener calculando una densidad óptica esperada para la longitud de onda particular o canal de analizador de fluido usando la ley de Beer-Lambert de conformidad con la Ecuación 1 abajo, en donde OD representa valores de densidad óptica, λ representa la longitud de onda asociada con el canal de analizador de fluido que se está calibrando, y p representa densidad del fluido de calibración (en condiciones de fondo de pozo y de superficie).

Ecuación 1 $OD_{esperada, \lambda} = OD_{superficie, \lambda} * p_{fondo\ de\ pozo} / p_{superficie}$

La densidad del fluido de calibración en condiciones de fondo de pozo $p_{fondo\ de\ pozo}$ se puede determinar usando una ecuación de cálculo de densidad convencional, que puede usar mediciones de temperatura y presión de fondo de pozo que se obtienen, por ejemplo, a través de sensores en la herramienta de fondo de pozo (v. gr., el sensor 308 de la Figura 3). Alternativamente, la densidad del fluido de calibración en condiciones de fondo de pozo se puede medir directamente a través de sensores en la herramienta de fondo de pozo en lugar de calcularse.

Alternativamente, la densidad óptica esperada $OD_{esperada, \lambda}$ se puede determinar a través de prueba basada en superficie (v. gr., en un laboratorio) antes de bajar la herramienta de fondo de pozo hacia el pozo de sondeo. Durante la prueba basada en superficie, el fluido de calibración se puede medir con el analizador de fluido que se va a bajar con la herramienta de fondo de pozo o un espectrómetro de laboratorio en el mismo o substancialmente las mismas condiciones a las que el analizador de fluido se expondrá cuando la una o más ubicaciones de calibración de fondo de pozo (es decir, en el pozo de sondeo). En casos en donde las condiciones de fondo de pozo reales no se conocen antes de bajar la herramienta de fondo de pozo hacia el pozo de sondeo, las mediciones de laboratorio (v. gr., valores de densidad óptica o información espectral) del fluido de calibración pueden incluir diversas temperaturas y presiones que proporcionan escalas que se extienden a través de las condiciones de fondo de pozo esperadas. Durante las operaciones de medición de fondo de pozo, las densidades ópticas del fluido de calibración medidas en el laboratorio se pueden usar junto con las temperaturas y presiones de fondo de pozo reales para obtener (v. gr., derivar o calcular a través de interpolación) la característica esperada (v. gr., densidades ópticas) en las ubicaciones en el pozo de sondeo en el que el analizador de fluido se está calibrando.

La característica medida obtenida en el bloque 1010 y la característica esperada obtenida en el bloque 1012 se comparan para generar un valor de calibración (bloque 1014). Más específicamente, la diferencia entre la información espectral medida asociada con la respuesta del analizador de fluido al fluido de calibración (v. gr., densidades ópticas medidas para cada uno de los canales de analizador de fluido en respuesta al fluido de calibración) y la información espectral esperada obtenida en el

bloque 1012 se determina en el bloque 1014. La Figura 11 es una gráfica que ilustra la información espectral medida y esperada (v. gr., valores de densidad óptica en respuesta al fluido de calibración) para veinte canales del analizador de fluido. La Figura 12 es una gráfica que ilustra la diferencia entre la información espectral medida y la esperada. Las

5 diferencias se pueden usar para generar información de calibración o valores para cada uno de los canales de analizador de fluido de conformidad con la Ecuación 2 abajo,, en donde $OD_{C_{b, \lambda}}$ es un valor de calibración de línea de base corregido para el canal de analizador de fluido correspondiente a la longitud de onda λ y condiciones de fondo de pozo, $OD_{línea\ de\ base, \lambda}$ es la OD de línea de base del mismo canal obtenida durante la

10 calibración seca maestra en el bloque 1002, y $OD_{medido, \lambda}$ es la OD del mismo canal medida bajo condiciones de fondo de pozo en el bloque 1010.

$$\text{Ecuación 2 } OD_{C_{b, \lambda}} = OD_{línea\ de\ base, \lambda} + OD_{esperada, \lambda} - OD_{medida, \lambda}$$

Una operación de muestreo de fluido de formación (bloque 1016) puede luego realizarse (v. gr., la herramienta 300 de muestreo de fluido de formación y el

15 analizador 306 de fluido se pueden usar para medir la información espectral asociada con la muestra de fluido de formación (bloque 1018). Por ejemplo, la información espectral tal como valores de densidad óptica para la muestra de fluido de formación a través de todos los canales del analizador 306 de fluido se puede obtener. La característica 8v. gr., valores de densidad óptica) para la muestra de fluido de formación puede entonces

20 determinarse usando los valores de calibración generados en el bloque 1014 de conformidad con la Ecuación 2. Después de la determinación de la característica de fluido de formación en el bloque 1020, una determinación de si una calibración y/o muestreo se van a realizar en otra ubicación en el pozo de sondeo (bloque 1022 se realiza. Si otra calibración y/o muestreo de ubicación se va a realizar, el proceso 1000 regresa el control

25 al bloque 1010, de otra manera el proceso 1000 termina.

Mientras que el proceso o método 1000 de ejemplo ilustra las operaciones de muestreo en los bloques 1016, 1018 y 1020 como siendo realizadas en una ubicación de pozo de sondeo después de que el analizador de fluido se ha calibrado en esa ubicación a través de las operaciones 1010, 1012 y 1014, el analizador de fluido

30 alternativamente se podría calibrar a través de las operaciones 1010, 1012 y 1014 después de que se recoge una muestra de fluido de formación.

Algo o todo el procesamiento necesitado para realizar las operaciones asociadas con el proceso o método 1000 de ejemplo se pueden llevar a cabo usando el sistema 327 de procesamiento. Por ejemplo, las computaciones asociadas con las Ecuaciones 1 y 2 anteriores se pueden realizar por el sistema 327 de procesamiento o cualquier otra unidad de procesamiento. Asimismo, por ejemplo, en el caso en donde las características esperadas (v. gr., densidades ópticas esperadas) se computan usando dato de laboratorio recogido del fluido de formación para diversas temperaturas y presiones, dicho dato se puede almacenar en una memoria del sistema 327 de procesamiento de datos. Adicional o alternativamente, parte o todo el procesamiento asociado con el proceso 1000 de ejemplo se puede realizar arriba del pozo usando un dispositivo de procesamiento superficial tal como el sistema 160 de registro y control, el sistema 206 de control eléctrico y adquisición de datos, etc.

El proceso o método 1000 de ejemplo se puede modificar o alterar en varias maneras. Por ejemplo, el analizador de fluido se puede calibrar usando un vacío más bien que un fluido de calibración. En ese caso, una bomba (v. gr., la bomba 304) se puede usar para generar un vacío dentro de un analizador de fluido (v. gr., el analizador 306 de fluido) y la respuesta del analizador de fluido (v. gr., densidades ópticas asociadas con cada uno de los canales de analizador de fluido) al vacío (v. gr., en el bloque 1010). Para generar un vacío en el analizador 306 de fluido, por ejemplo, cualquier fluido en la porción de la línea 312 de flujo que acople a fluido la bomba 304 al contenedor 311 de muestra, se expulsa hacia el pozo de sondeo abriendo la válvula 316, cerrando las válvulas 320, 321, y 323, y corriendo la bomba 304 en la dirección de muestreo de reversa para jalar un vacío en el analizador 306 de fluido. Después de que se logra el vacío, la válvula 316 se cierra y la bomba 304 se detiene.

En el caso en donde se usa un vacío, las densidades ópticas esperadas para los canales son cero a todas las temperaturas (v. gr., en el bloque 1012). La generación de valores de calibración para cada uno de los canales es similar a aquella arriba descrita en conexión con el bloque 1014. En cualquier caso, se puede usar un vacío para identificar desplazamiento de línea de base para el propósito de calibrar el analizador de fluido para longitudes de onda visibles y casi infrarrojas. Adicional o alternativamente, el proceso 1000 de ejemplo se puede modificar para eliminar la

rb

calibración seca maestra (bloque 1002) y solamente se realiza la calibración de fondo de pozo del analizador de fluido.

Todavía adicionalmente, diferentes tipos de datos de calibración se pueden combinar para generar datos de corrección o calibración de OD adicionales y/o diferentes.

- 5 Por ejemplo, los datos de calibración asociados con una calibración seca maestra (v. gr., como se muestra en la Figura 5) y calibraciones realizadas usando agua, aceite, o cualquier otro fluido (v. gr., como se muestra en la Figura 6) se pueden combinar para determinar información de sensibilidad (como una función de longitud de onda) a través de temperatura y/o presión para un analizador de fluido (v. gr., el analizador 306 de
- 10 fluido). Esta información de sensibilidad se podría usar además del dato de calibración de línea de base para mejorar adicionalmente la precisión de la calibración de un analizador de fluido. Más generalmente, diversos tipos de información de calibración (v. gr., línea de base, sensibilidad, etc.) se pueden combinar para proporcionar funciones de transformación (v. gr., afinar, multilínea, etc.) para cada canal o longitud de onda
- 15 asociada con un analizador de fluido.

La Figura 13 es un diagrama esquemático de una plataforma P100 de procesador de ejemplo que se puede usar y/o programar para implementar todo o una porción de cualquiera o todas las operaciones de ejemplo de la Figura 10. Por ejemplo, la plataforma P100 de procesador se puede implementar mediante uno o más procesadores

20 de propósito general, núcleos de procesador, microcontroladores, etc. La plataforma P100 de procesador de ejemplo, o una plataforma similar a la misma, se puede usar para implementar el sistema 160 de registro y control, el sistema 206 de control eléctrico y adquisición de datos, y/o el sistema 327 de procesamiento.

La plataforma P100 de procesador del ejemplo de la Figura 13 incluye

25 cuando menos un procesador P105 programable de propósito general. El procesador P105 ejecuta instrucciones P110 y/o P112 codificadas presentes en la memoria principal del procesador P105 (v. gr., con una RAM P115 y/o una ROM P120). El procesador P105 puede ser cualquier tipo de unidad de procesamiento, tal como un núcleo de procesador, un procesador y/o un microcontrolador. El procesador P105 puede ejecutar,

30 entre otras cosas, el proceso de ejemplo de la Figura 10 y/o para implementar los métodos y aparatos de ejemplo descritos en la presente.

El procesador P105 está en comunicación con la memoria principal (incluyendo una ROM P120 y/o la RAM P115) a través de un bus P125. La RAM P115 se puede implementar mediante memoria de acceso aleatorio dinámico (DRAM), memoria de acceso aleatorio dinámico síncrona (SDRAM), y/o cualquier otro tipo de dispositivo RAM, y ROM se puede implementar mediante memoria instantánea y/o cualquier otro tipo deseado de dispositivo de memoria. El acceso a la memoria P115 y la memoria P120 se pueden controlar mediante un controlador de memoria (no mostrado).

La plataforma P100 de procesador también incluye un circuito P130 de interfaz. El circuito P130 de interfaz se puede implementar mediante cualquier tipo de interfaz convencional, tal como una interfaz de memoria externa, portillo en serie, entrada/salida de propósito general, etc. Uno o más dispositivos P135 de entrada y uno o más dispositivos P140 de salida están conectados al circuito P130 de interfaz.

Los métodos de calibración de analizador de fluido de ejemplo descritos en la presente permiten que un analizador de fluido se calibre bajo condiciones de fondo de pozo reales en ubicaciones de pozo de sondeo asociadas con ubicaciones en las que el fluido de formación se va a muestrear y medir. Como resultado, los métodos de calibración de ejemplo proporcionan una mejora notoria en la precisión de calibración de analizador de fluido reduciendo o eliminando errores debidos a derivar valores de calibración de línea de base de relativamente pocos puntos de temperatura de calibración. Por ejemplo, los errores debidos a una suposición imprecisa de que la sensibilidad de temperatura de los canales de analizador de fluido es una función monotónica o lineal de temperatura se puede reducir substancialmente o eliminar usando los métodos de calibración de ejemplo descritos en la presente. Asimismo, por ejemplo, los errores de calibración debidos a la no capacidad de repetición de una línea de base de analizador de fluido a través de ciclos de temperatura se puede reducir substancialmente o eliminar, contribuyendo adicionalmente de esta manera a una mejora notoria en la precisión con la que la composición de un fluido de formación se puede determinar. Una determinación de composición de fluido de formación más precisa puede resultar en mejora significativa en la eficiencia con la que el fluido de formación se produce de la formación así como la cantidad del fluido extraído.

Aún cuando ciertos métodos, aparatos y artículos de ejemplo para fabricación se han descrito en la presente, el alcance de cubrimiento de esta patente no está limitado a los mismos. Por el contrario, esta patente cubre todos los métodos, aparatos y artículos de fabricación que quedan regularmente dentro del alcance de las

5 reivindicaciones anexas ya sea literalmente o bajo la doctrina de equivalentes.

REIVINDICACIONES

1.- Un método que comprende:

5 hacer bajar una herramienta de fondo de pozo, incluyendo un analizador de fluido, hacia un pozo de sondeo;

medir, a través del analizador de fluido, una característica de un fluido de calibración o un vacío mientras que la herramienta de fondo de pozo está en el pozo de sondeo; y

10 calibrar el analizador de fluido usando la característica medida y una característica esperada del fluido de calibración o el vacío.

2.- El método de conformidad con la reivindicación 1, en donde la calibración del analizador de fluido comprende generar un valor de calibración para el analizador de fluido basado en una comparación de la característica medida con la característica esperada.

15 3.- El método de conformidad con la reivindicación 2, que comprende además:

muestrear un fluido de formación mientras que el analizador de fluido está en el pozo de sondeo; y

20 usar el valor de calibración antes del muestreo del fluido de perforación o después de muestrear el fluido de formación.

4.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-3, en donde el fluido de calibración es en composición que un fluido de formación que se va a medir por el analizador de fluido.

25 5.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-4, en donde medir la característica del fluido de calibración o el vacío comprende medir información espectral.

6.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-5, en donde la característica medida y la característica esperada comprenden valores de densidad óptica.

7.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-6, en donde el fluido de calibración es uno de alcano, un aceite, agua, aire, nitrógeno, disulfuro de carbono y dióxido de carbono.

5 8.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-7, en donde medir la característica del fluido de calibración o el vacío comprende medir valores de densidad óptica en una pluralidad de longitudes de onda.

9.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-8, en donde la característica esperada se obtiene multiplicando un primer valor correspondiente a una característica del fluido de calibración en condiciones
10 de superficie por un segundo valor que representa un cambio en densidad del fluido de calibración en una ubicación en el pozo de sondeo en el que el paso de medición se realiza con relación a condiciones de superficie.

10.- El método de conformidad con la reivindicación 9, en donde el primer valor es un valor de densidad óptica.

15 11.- El método de conformidad con la reivindicación 9 o 10, en donde el segundo valor es una relación de un valor que representa la densidad del fluido de calibración en la ubicación y un valor que representa la densidad del fluido de calibración en condiciones de superficie.

20 12.- El método de conformidad con la reivindicación 11, en donde el valor que representa la densidad del fluido de calibración en la ubicación se obtiene usando una ecuación de cálculo de densidad o una medición de densidad hecha por la herramienta de fondo de pozo en la ubicación.

25 13.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-8, en donde la característica esperada se obtiene usando condiciones en una ubicación en el pozo de sondeo en el que del paso de medición se deriva la característica esperada de una medición del fluido de calibración hecho en la superficie.

14.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-13, que comprende además realizar una calibración de línea de base del analizador de fluido en la superficie antes de bajar la herramienta de fondo de pozo hacia el pozo de sondeo.

30 15.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-14, en donde medir la característica del fluido de calibración o el vacío comprende medir una

viscosidad, medir una resistividad, o realizar una medición de resonancia magnética nuclear.

16.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-8, en donde la característica esperada se basa en una respuesta conocida del fluido de calibración o el vacío a condiciones de fondo de pozo.

17.- El método de conformidad con una de las reivindicaciones 1-16, en donde calibrar el analizador de fluido usando la característica medida y la característica esperada del fluido de calibración o el vacío comprende ajustar un valor de línea de base del analizador de fluido basado en una diferencia entre la característica esperada y la característica medida.

15

20

25

30

RESUMEN DE LA INVENCION

Se describen métodos para calibrar un analizador de fluido para uso en un pozo de sondeo. Un método de ejemplo de generar dato de calibración para un analizador de fluido para uso en una herramienta de fondo de pozo involucra bajar una herramienta de fondo de pozo incluyendo un analizador de fluido a una ubicación en un pozo de sondeo, medir, a través del analizador de fluido, un valor característico de un fluido de calibración o un vacío mientras que el analizador de fluido está en la ubicación, obtener un valor característico esperado para el fluido de calibración o el vacío en la ubicación, y comparar el valor característico medido con el valor característico esperado para generar un valor de calibración para el fluido.