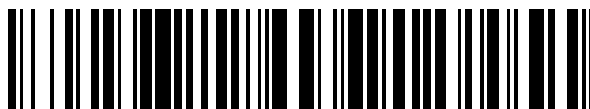


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 792 981**

51 Int. Cl.:

E21B 47/00 (2012.01)

E21B 47/04 (2012.01)

E21B 47/06 (2012.01)

E21B 49/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.11.2014** **PCT/AU2014/001063**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.05.2015** **WO15074101**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2014** **E 14864467 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020** **EP 3071789**

54 Título: **Métodos y aparato para diagráfia de pozo de sondeo**

30 Prioridad:

19.11.2013 AU 2013904475

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
12.11.2020

73 Titular/es:

MINEX CRC LTD (100.0%)
Kensington WA 6151, AU

72 Inventor/es:

WILKINSON, BRETT JAMES;
STEWART, GORDON HENDERSON;
DUPUIS, JEROME CHRISTIAN y
KEPIC, ANTON

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 792 981 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

Métodos y aparato para diagrafiá de pozo de sondeo

Campo de la invención

5 La presente invención hace referencia a métodos y a un aparato para la diagrafiá de pozos de sondeo, tal como para una prospección o exploración relacionada con formaciones del subsuelo.

Antecedentes de la invención

La diagrafiá de pozos de sondeo es el método para realizar mediciones y registrar información sobre formaciones de la geología del subsuelo y/o la profundidad y ángulos del pozo de sondeo desde la superficie.

10 Una diagrafiá se registra mediante la inspección visual de muestras de rocas procedentes de testigos de sondeo extraídos del pozo de sondeo y/o información geofísica obtenida mediante uno o más instrumentos que se hacen descender en el interior del pozo después de que dicho pozo se perfora, es decir, en un pozo abierto.

Habitualmente, el instrumento que registra la diagrafiá se hace descender hacia el interior del pozo utilizando un cabestrante. La diagrafiá se realiza en pozos de sondeo para la exploración en busca de minerales y gas, o durante prospecciones geotérmicas, medioambientales o geotécnicas de aguas subterráneas.

15 Se realiza una diagrafiá guiada por cable o diagrafiá con sistema "wire-line" en un pozo abierto para adquirir una imagen completa de las propiedades de la roca de las formaciones del subsuelo. Esta información ayuda a los operarios y geólogos de la perforación a tomar decisiones acerca de la dirección de la perforación, la presencia/ausencia y dirección del recurso que se busca, o de la producción minera.

20 Un instrumento wire-line se hace descender por el pozo hasta una profundidad elegida, de manera que las propiedades petro-físicas de las formaciones puedan ser capturadas y almacenadas en un dispositivo de memoria para su análisis posterior.

Puede activarse uno o más sensores asociados con dicho instrumento para medir niveles de radiación eléctrica, electromagnética, radiación gamma natural o información acústica para construir una serie de diagrafiás superpuestas.

25 Las herramientas de diagrafiá tradicionales se conectan mediante una conexión por cable que proporciona electricidad y también proporciona un conducto para capturar datos en tiempo real, o bien se alimentan datos en bruto del instrumento a un sistema de adquisición de datos para análisis posteriores.

30 Las diagrafiás se ejecutan en pozo abierto habitualmente antes de que un pozo sea revestido o entubado y son gestionadas por un equipo técnico costoso. Los costes de las prospecciones en pozo abierto son extremadamente elevados para el minero o explorador. Por lo tanto, únicamente pueden realizarse diagrafiás en unos pocos pozos, lo que limita la información disponible para un geólogo cuando ha de tomar decisiones sobre la perforación.

35 La técnica de "diagrafiá mientras se perfora" (LWD, del inglés "Logging while drilling"), ha sido pionera en la industria del petróleo y del gas. La diagrafiá LWD y también la diagrafiá de "medición mientras se perfora" (MWD, del inglés "measure while drilling"), habitualmente utilizan tecnología por pulsos de lodo para transmitir datos de la herramienta/instrumento del fondo de la perforación en el pozo de sondeo para una transmisión progresiva a la superficie para su análisis continuo.

40 Esta técnica proporciona la misma información que la diagrafiá por wire-line, sin embargo, en lugar de hacer descender el instrumento hacia el interior del pozo de sondeo en un cable conectado a un cabestrante, los sensores requeridos están embebidos en la sarta de perforación, y las mediciones se suministran al operario en la superficie en tiempo real para permitir que dichos operarios y geólogos de la perforación obtengan las diagrafiás además de información tal como dirección del pozo, el peso sobre la broca, etc.

45 Las velocidades de transmisión de datos son lentas (10 bits por segundo) y es necesario utilizar técnicas de compresión de datos y almacenamiento temporal para la memoria integrada de la herramienta. Las velocidades lentas de transferencia de datos, una tecnología compleja para pasar los datos de cualquier forma fiable a través de pulsos de lodo, y la necesidad de un costoso equipo técnico en el emplazamiento hace el uso de dicha tecnología de pulsos de lodo no deseable. Se ha llegado a la conclusión de que es deseable una metodología de recopilación de datos más eficiente.

Pueden utilizarse métodos geofísicos para examinar una mayor extensión de formaciones del subsuelo y pueden utilizarse en conjunto con la información geológica de testigos de sondeo para construir una mejor predicción geológica de las formaciones que rodean los pozos para la obtención de testigos.

5 Un instrumento de medición geofísica, denominado comúnmente como instrumento o sonda de diagrapía, se hace descender en el interior del pozo de sondeo para recoger datos relevantes. Una sonda es esencialmente un "elemento de medición" en forma de, por ejemplo, un instrumento electrónico para detectar uno o más parámetros o características.

10 Ya se utilizan instrumentos de diagrapía en operaciones en campos petrolíferos para obtener información sobre el pozo de sondeo. Este proceso se denomina "diagrapía". La diagrapía puede realizarse mediante "diagrapía wire-line" (guiada por cable), "diagrapía mientras se perfora" (LWD) y "diagrapía a través de la broca" después de que haya tenido lugar la perforación.

15 En la diagrapía wire-line, se hace descender un instrumento de diagrapía en el interior del pozo de sondeo después de que se haya extraído la sarta de perforación. El instrumento de diagrapía cuelga de, y está soportado por, la longitud de un cable o "wireline" (cable de perforación). Adicionalmente, el wireline facilita las conexiones eléctricas y de comunicaciones entre el instrumento de diagrapía y el equipo relacionado situado habitualmente a nivel del suelo.

En la LWD el conjunto de perforación real incluye instrumentos de detección que miden parámetros requeridos a medida que el pozo de sondeo se está perforando. Tales instrumentos de detección se encuentran, por tanto, sujetos al entorno hostil del fondo de la perforación y consecuentemente su operación se ve a menudo comprometida.

20 La diagrapía a través de la broca implica introducir un instrumento de diagrapía, por ejemplo una herramienta wireline, en el pozo de sondeo a través de una abertura central en la broca de perforación situada en el extremo del fondo de la perforación de la sarta de perforación. El instrumento de diagrapía se hace descender o se bombea al interior del pozo de sondeo a través del pasaje interior de la sarta de perforación. A continuación, se hace pasar el instrumento de diagrapía a través de la abertura en la broca de perforación, para permitir la diagrapía del pozo de sondeo por debajo de la broca de perforación. Además, el instrumento puede ser utilizado para realizar la diagrapía en la longitud del pozo de sondeo a medida que la sarta de perforación es extraída del pozo de sondeo. Este proceso se denomina a menudo diagrapía mientras se realiza la maniobra de subida/bajada (del inglés "logging while tripping").

30 El documento de patente de EE.UU. 8,443,915 describe diferentes sistemas de diagrapía a través de la broca utilizados para realizar diagrapía de pozos de sondeo perforados para extraer crudo petrolífero y/o gas natural. Tal como se muestra en las Figuras 1B y 1C de la patente de EE.UU. 8,443,915, un conjunto de fondo de pozo (BHA, del inglés "bottom hole assembly") incluye una broca de fresado, un motor de lodo, una herramienta de diagrapía, un centralizador, un colgador y un dispositivo de desconexión. Una vez que el pozo de sondeo haya sido perforado a la profundidad requerida, la broca de fresado se utiliza para cortar la punta de la broca de perforación para establecer la abertura para que la herramienta de diagrapía pase a través de la misma. El BHA se hace descender a través del diámetro interior de la sarta de perforación hasta que el colgador se asienta contra un adaptador de la broca de perforación.

40 El documento US 2011/185806 A1 describe un método y un sistema para el posicionamiento de un instrumento de medición de pozos de sondeo wireline, en el que puede determinarse la distancia vertical entre dos puntos (y de ahí la profundidad vertical del instrumento) utilizando la diferencia en las mediciones de presión hidrostática en esos dos puntos.

Aunque los instrumentos de diagrapía se utilizan en las operaciones de perforación de petróleo y gas, el uso de tales instrumentos no se ha traducido fácilmente en operaciones de toma de muestras de testigos de sondeo. Esto se debe a los costes asociados con proporcionar técnicos especialistas y equipos en los emplazamientos de toma de muestras para recopilar y registrar los datos geofísicos.

45 Se incluye la discusión de los antecedentes de la invención en el presente documento para explicar el contexto de la invención. Esto no ha de tomarse como una admisión de que cualquier material al que se hace referencia estaba publicado, era conocido o era parte del conocimiento general común en la fecha de prioridad de la presente solicitud.

50 Una o más formas de la presente invención busca proveer al menos un método y/o instrumento de diagrapía que permita la recogida de datos geofísicos como parte de un proceso de toma de muestras de testigos de sondeo, preferiblemente utilizando al menos parte del equipo de perforación asociado con la toma de muestras de testigos de sondeo.

Una o más formas de la presente invención han sido desarrolladas teniendo en cuenta los problemas del arte conocido mencionados anteriormente.

Se ha observado que es deseable desarrollar un aparato de diagraña geofísica y/o uno o más métodos de uso y/o despliegue del mismo, o para desarrollar un método de diagraña del fondo de la perforación que pueda ser utilizado o empleado por los operarios/el personal de perforación como parte de sus operaciones habituales, sin la necesidad de personal adicional especialista para diagraña geofísica.

- 5 Utilizar personal/operarios del equipo de perforación elimina la necesidad de personal especialista y evita interrumpir las operaciones de perforación o evita los retrasos a la hora de tener que esperar, de otro modo, a que llegue el personal especialista al emplazamiento después de la perforación. Las operaciones de diagrañas pueden ser realizadas de forma ventajosa por los operarios/personal de perforación, quienes requieren menos formación o especialización.
- 10 Una aproximación de este tipo a las operaciones de diagraña resulta deseable en cuanto que ayuda a reducir los costes significativos asociados con la exploración de las formaciones del subsuelo, y está dirigida también a reducir la barrera a la adopción de tecnología en un sector que es históricamente conservador ante nuevas tecnologías y métodos de trabajo.

Resumen de la invención

- 15 Teniendo en cuenta lo anterior, un aspecto de la presente invención proporciona un método que comprende:
 - a) desplegar un instrumento de diagraña en un pozo de sondeo perforado en una formación, dicho instrumento que incluye un sensor de presión y que está acoplado a una sarta de perforación que tiene una pluralidad de varillas de perforación de una longitud conocida;
 - 20 b) utilizar el sensor de presión para obtener un primer valor de presión a una profundidad conocida en el pozo de sondeo;
 - c) utilizar el sensor de presión para obtener al menos un valor de presión adicional posterior al primer valor de presión durante la extracción de la sarta de perforación y el instrumento de diagraña del pozo de sondeo, o hacer avanzar la sarta de perforación y el instrumento de diagraña en el pozo de sondeo, en donde la sarta de perforación se extrae del pozo de sondeo o se introduce en el pozo de sondeo en etapas para producir distintos cambios de presión detectables, en donde cada etapa corresponde a la retirada o la introducción de una respectiva varilla de perforación, con una longitud conocida, de la sarta de perforación;
 - 25 d) utilizar un procesador para recibir el primer valor de presión y el al menos un valor de presión adicional obtenido por el sensor de presión;
 - e) determinar, utilizando el procesador, una profundidad real del instrumento de diagraña dentro de la formación, utilizando:
 - 30 i. un cambio en la presión (Δp) entre el primer valor de presión y dicho valor o valores adicionales; o
 - ii. un cambio en la presión (Δp) entre dicho valor de presión adicional y otro dicho valor de presión adicional, o
 - 35 iii. una combinación de dos o más de i) o ii); en donde el cambio en la presión (Δp) corresponde a un cambio en una longitud de la sarta de perforación.

El instrumento de diagraña incluye uno o más sensores dispuestos y configurados para sobresalir hacia el interior del pozo de sondeo a distancia de una broca de perforación en un extremo distal de la sarta de perforación.

- 40 Dicho uno o más sensores, tal como uno o más sensores de presión y/o acelerómetro o acelerómetros, se alojan en una sonda. Una sonda es un instrumento que aloja uno o más sensores y se utiliza en el fondo de la perforación para recopilar datos.

La broca de perforación tiene una abertura a través de la cual el sensor o sensores de la sonda pueden hacerse avanzar. Uno o más valores de presión son detectados por el sensor o sensores distanciados de la broca de perforación.

- 45 Preferiblemente, el primer valor de presión puede ser utilizado como un valor de referencia en relación al cual se determina el valor o valores de presión adicionales. Por tanto, el cambio en la presión puede determinarse en relación al primer valor de presión como un valor de referencia.

El primer valor de presión puede correlacionarse con datos conocidos para una presión esperada a profundidades conocidas en un pozo de sondeo.

Alternativamente, el primer valor de presión puede ser utilizado como una referencia cruzada con la profundidad conocida.

- 5 El cambio en la presión se utiliza para calcular o determinar la profundidad real del instrumento de diagráfia en el pozo de sondeo. Una cantidad discreta del cambio en la presión o posterior valor de presión adicional puede compararse con un valor de presión previo (tal como un valor de presión adicional previo o el primer valor de presión), y puede utilizarse para determinar la profundidad real del instrumento de diagráfia dentro del pozo de sondeo.
- 10 Se ha de apreciar que puede determinarse la profundidad dentro del pozo de sondeo como la distancia a lo largo del pozo de sondeo o, alternativamente, una distancia vertical desde la superficie hasta un punto en el pozo de sondeo, tal como el extremo del pozo de sondeo o hasta el instrumento. Preferiblemente, para una o más formas de la presente invención la profundidad se relaciona con la distancia en el interior del pozo de sondeo desde la superficie o desde el principio del pozo.
- 15 A medida que el instrumento de diagráfia se extrae del pozo de sondeo, el cambio en la profundidad puede calcularse o determinarse a partir del cambio en la presión en relación al primer valor de presión de referencia, cambio que puede también ser comparado con la retirada de secciones de longitud conocida del entubado de la perforación, es decir, longitudes de entubado de 3 metros o 6 metros.
- 20 Se detectará una caída en la presión cada vez que se tome una lectura de presión durante la extracción del instrumento de diagráfia del pozo de sondeo. Por tanto, los valores de presión disminuirán a medida que se extrae el instrumento de diagráfia, y se detectará el posterior cambio en la presión (presión Δp inferior).
- Se detectará la presión y el cambio en la presión en el fluido presente en el pozo de sondeo. El fluido puede ser un líquido, tal como agua o lodo de sondeo, en un pozo de sondeo "húmedo" o puede ser uno o más gases, tal como aire, en un pozo de sondeo "seco".
- 25 Una o más realizaciones de la presente invención pueden también incluir detectar la aceleración. Por ejemplo, la sonda puede incluir o comunicarse con al menos un acelerómetro. Preferiblemente, el al menos un acelerómetro se encuentra alojado en el instrumento o sonda de diagráfia.
- 30 La aceleración (o desaceleración) puede utilizarse en conjunto con los primeros valores y/o valores adicionales de presión a la hora de detectar la profundidad del pozo de sondeo. Los valores de profundidad pueden correlacionarse con lecturas de radiación gamma procedentes de uno o más detectores de radiación gamma para crear una diagráfia de la firma de la radiación gamma de la formación del subsuelo. La firma registrada en la diagráfia puede ser utilizada para determinar la estructura, tal como estratos y/o tipo o tipos de roca/depósitos de la formación del subsuelo.
- 35 El instrumento de diagráfia puede tener integrado una fuente de alimentación, y puede operar de forma autónoma cuando se encuentra en el fondo de la perforación. Por tanto, el instrumento de diagráfia puede registrar valores de presión y/o aceleración durante la operación de extracción sin requerir datos de entrada adicionales por parte del operario en la superficie.
- 40 El instrumento de diagráfia puede registrar la presión y/o aceleración, y otros parámetros según se requiera, de forma continuada o discontinuada. Por ejemplo, el instrumento de diagráfia puede obtener o muestrear valores de presión a intervalos de tiempo predeterminados, tal como cada 2-5 segundos, o puede utilizar la detección de la aceleración o la carencia de aceleración como una señal para obtener un siguiente valor de presión.
- 45 Los valores de presión pueden obtenerse mediante el sensor de presión de forma continuada, y los valores de presión obtenidos de este modo pueden ser muestreados periódicamente. La electrónica dentro del instrumento de diagráfia puede utilizarse para muestrear los valores de presión obtenidos de forma continuada o para realizar un muestreo periódicamente a partir de los valores de presión registrados dentro de un procesador o memoria no volátil de la electrónica.
- El instrumento de diagráfia puede cesar de detectar la presión durante un periodo de tiempo hasta que la aceleración esté en o por encima de un valor umbral en particular. Se apreciará que la aceleración puede ser un valor negativo es decir una desaceleración.
- 50 Puede estar previsto un detector de radiación gamma dentro del equipo del fondo de la perforación, tal como en el instrumento de diagráfia, en la sonda y/o dentro de otra parte del equipo del fondo de la perforación, tal como un

instrumento de prospección electrónico, un elemento transportador, un dispositivo de orientación del testigo de sondeo.

Alternativamente, pueden obtenerse valores de presión para su uso con un instrumento electrónico del fondo de la perforación que no tiene o no utiliza un detector de radiación gamma.

- 5 Los valores de presión obtenidos durante el despliegue o la recuperación del instrumento del fondo de la perforación pueden correlacionarse con otros datos registrados asociados con la caracterización de la formación del subsuelo. Por ejemplo, el instrumento puede incluir un instrumento de prospección electrónico, un dispositivo de orientación del testigo y otro dispositivo de medición.

- 10 Preferiblemente, el detector de radiación gamma está previsto dentro de la sonda para sobresalir hacia el interior del pozo de sondeo cuando se hace avanzar a distancia de la broca de perforación. Esto significa que el detector de radiación gamma no se encuentra recubierto por el metal circundante tanto como está de otro modo cuando se encuentra dentro de la sarta de perforación. Por tanto, el detector de radiación gamma puede estar previsto como un detector menos sensible, más pequeño y/o con menos potencia del que se necesitaría de otro modo si permaneciera rodeado por las paredes de metal dentro de la sarta de perforación, que atenúan de otro modo seriamente la señal gamma exterior.

- 15 La abertura a través de la broca restringe el tamaño/la elección del detector de radiación gamma y limita el tamaño del elemento de cristal del detector para detectar la radiación gamma. Por lo tanto, puede emplearse un cristal de mayor tamaño o bien numerosos cristales si el detector de radiación gamma permanece dentro del tubo testigo debido a que hay más ancho/espacio dentro del tubo en comparación con la abertura más estrecha a través de la broca de perforación. Los cristales más grandes y numerosos de detección gamma ayudan a detectar una mayor densidad de radiación gamma. Esto puede ayudar a acelerar el registro de radiación gamma. Entre los cristales de detección de radiación gamma adecuados se pueden incluir, por ejemplo, yoduro de cesio y yoduro de sodio.

Los valores de radiación gamma (natural) detectados pueden asociarse con o correlacionarse con respectivos valores de presión o cambios en la presión dentro del pozo de sondeo.

- 25 La radiación gamma natural es el resultado de la desintegración radiactiva de radioisótopos de origen natural (p.ej., potasio, torio y uranio). La densidad de las formaciones del subsuelo puede también detectarse o determinarse, de tal manera como mediante correlación de los valores de la radiación gamma medida con la radiación gamma absorbida por la roca desde una fuente de radiación gamma portada por el instrumento de diagrfía.

- 30 Pueden utilizarse otras señales en combinación con señales gamma naturales para determinar los valores de densidad o estimaciones para roca/formación circundante. Por ejemplo, pueden utilizarse datos o valores de señales acústicas en conjunto con valores de radiación gamma para determinar la densidad de la formación circundante.

Podrá apreciarse que las señales de radiación gamma detectadas pueden utilizarse para proporcionar una indicación de la estructura de la formación circundante hasta aproximadamente 30cm de radio desde el instrumento o sonda de diagrfía u otro elemento de medición que porte el detector de radiación gamma.

- 35 Los rayos gamma emitidos desde la roca circundante son absorbidos por el detector, lo que tiene como resultado una señal que indica la cantidad de radiación gamma en el tiempo. Las diferentes formaciones litológicas presentan una abundancia variada de estos radioisótopos, y la diagrfía de la radiación gamma natural puede ser utilizada como un indicador litológico. Referenciar la radiación gamma medida con la profundidad en el pozo de sondeo ayuda a proporcionar una indicación de la formación del subsuelo (p.ej., tipos de estratos y formación/depósito y posición).

- 40 A medida que el instrumento de diagrfía se extrae hacia la parte superior del pozo de sondeo en etapas (produciendo de este modo distintos cambios de presión detectables), puede detectarse radiación gamma y los valores correlacionados con el respectivo cambio en la presión o el hecho de que haya ocurrido un cambio de presión. De esta manera, pueden correlacionarse la radiación gamma y la presión y asociarse con la profundidad.

- 45 La radiación gamma proporciona una indicación del tipo de depósitos o formación del subsuelo a través de los cuales ha pasado el detector de radiación gamma. Los cambios en la radiación gamma detectada pueden utilizarse para determinar o predecir los tipos de roca o depósitos presentes bajo la superficie, y los cambios en el tipo de estratos o de roca a medida que varían los valores.

- 50 El instrumento o sonda de diagrfía puede incluir una matriz de sensores para medir niveles de radiación eléctrica, electromagnética, gamma natural y/o información acústica. Puede producirse una serie de diagrfías que se relaciona con estos valores detectados para proporcionar conjuntos de datos superpuestos.

Puede estar previsto un detector de radiación gamma como parte del instrumento de diagraña. Preferiblemente, el detector de radiación gamma permanece dentro de la sarta de perforación cuando el sensor de presión se hace avanzar a distancia de la broca de perforación.

5 Preferiblemente, pueden obtenerse valores de radiación gamma cuando el instrumento de diagraña ha cesado el desplazamiento durante un periodo de tiempo durante la extracción o su avance en el pozo de sondeo.

10 Alternativamente, pueden obtenerse valores de radiación gamma cuando el instrumento de diagraña se está desplazando por un periodo de tiempo durante la extracción o su avance en el pozo de sondeo. Preferiblemente, la tasa de desplazamiento se conoce o se calcula, tal como por ejemplo entre 1m/min y 20m/min, y preferiblemente entre 2m/s y 12m/min, y más preferiblemente alrededor de 10m/min. Sin embargo, un desplazamiento más lento o más rápido puede aún utilizarse para registrar valores de radiación gamma utilizables.

Los valores de radiación gamma obtenidos pueden correlacionarse con los valores de presión para proporcionar un valor de radiación gamma asociado con las posiciones de profundidad dentro del pozo de sondeo.

15 [0063] Los valores de radiación gamma registrados en diagraña pueden correlacionarse con valores de profundidad registrados en diagraña obtenidos de los correspondientes valores de presión o cambio en la presión para crear un plano litológico de la estructura de la formación del subsuelo.

Breve descripción de los dibujos

Al menos una realización de la presente invención se describirá de aquí en adelante en referencia a los dibujos anexos, en los cuales:

20 La Figura 1 muestra un instrumento de diagraña desplegado dentro del portatestigos de sondeo con una sonda que sobresale a distancia de la broca de perforación del instrumento, de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 2 muestra una representación gráfica de la disposición general de los componentes dentro del instrumento de diagraña de acuerdo con una realización de la presente invención.

25 La Figura 3 muestra una representación gráfica del instrumento de diagraña desplegado en un pozo de sondeo con la sonda sobresaliendo a distancia de la broca de perforación, de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 4 muestra una gráfica de la presión versus el tiempo para un instrumento de diagraña que se ha hecho avanzar hacia el interior y posteriormente se ha extraído en etapas del pozo de sondeo, de acuerdo con una realización de la presente invención.

30 La Figura 5 muestra una gráfica que representa lecturas de radiación gamma con respecto a valores de aceleración de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción de una realización preferida

Una o más formas de la presente invención puede emplearse en las siguientes aplicaciones prácticas/el siguiente aparato de diagraña:

- 35
 - Diagraña wire-line de pozo abierto: con codificador de profundidad más detección de presión más profundidad del acelerómetro correlacionados.
 - Diagraña wire-line a través de la broca: con codificador de profundidad más detección de presión más profundidad del acelerómetro correlacionados.
- 40
 - Portatestigos de sondeo acoplado a través de la broca: similar a la diagraña wire-line de pozo abierto y a la diagraña wire-line a través de la broca anterior, pero también acoplado directamente al portatestigos de sondeo: con detección de presión más profundidad de acelerómetro correlacionadas.
 - Portatestigos de sondeo y/o elemento transportador con instrumentos.

45 Se podrá apreciar que las realizaciones de la presente invención no están limitadas a obtener valores de presión para correlacionarlos únicamente con valores de radiación gamma. Los valores de presión obtenidos pueden utilizarse en conjunto con otros datos recopilados. Por ejemplo, pueden desplegarse un instrumento de prospección

del fondo de la perforación, una herramienta de orientación del testigo o un elemento transportador y los valores de presión obtenidos durante el despliegue o la recuperación del fondo de la perforación. Alternativamente o adicionalmente, pueden obtenerse otros datos, como por ejemplo se pueden utilizar datos magnéticos, gravimétricos y de temperatura del fondo del pozo correlacionados o combinados con los datos de presión obtenidos para ayudar a la hora de determinar una o más características de la formación del subsuelo.

Al menos una realización de la presente invención se describirá de aquí en adelante en relación a una aplicación práctica de la realización a continuación de una operación de testificación (p.ej., toma de muestras de testigos de sondeo).

Durante operaciones habituales de testificación, la broca de perforación corta a través de la roca y el testigo es forzado a introducirse en el tubo testigo. La sarta de perforación se extrae nuevamente a continuación a la superficie y la roca es arrancada de la tierra. El testigo se lleva a la superficie para su análisis.

Después de que el testigo se retira del tubo en la superficie, se acopla un instrumento de diagráfia (dispositivo de medición geofísica) al tubo testigo vacío para su despliegue en el interior del pozo para detectar características de las propiedades de la roca alrededor del pozo de sondeo.

El instrumento de diagráfia se conecta al tubo testigo utilizando un acoplador mecánico. El instrumento de diagráfia se hace avanzar a continuación con el tubo testigo en el interior del pozo de sondeo para registrar datos geofísicos, p.ej., radiación gamma emitida desde la roca que rodea el pozo de sondeo y/o el ángulo del pozo de sondeo (orientación).

El tubo testigo se bombea habitualmente hasta situarlo en su lugar o se hace descender mediante un mecanismo wire-line (línea de cable) especial.

De manera ventajosa, el tubo testigo que fue utilizado para recuperar la muestra o muestras de testigos de sondeo también se utiliza para desplegar el instrumento de diagráfia en una posición en la que pueda detectar las propiedades de la formación del subsuelo en el pozo vacío. Por tanto, debido a que el instrumento de diagráfia se encuentra auto-contenido, es decir, auto-alimentado y opera de forma autónoma una vez que está desplegado, y el tubo testigo original se vuelve a desplegar, los operarios de la perforación pueden desplegar y recuperar el instrumento de diagráfia sin la necesidad de personal especialista o formación técnica. Esto proporciona unos ahorros operativos significativos, evitando retrasos al esperar la llegada de un equipo especialista. La diagráfia puede comenzar casi inmediatamente después de que la muestra de testigos de sondeo haya sido recuperada.

La sarta de perforación (y por lo tanto el instrumento de diagráfia) se extrae del pozo de sondeo y cada varilla de perforación se retira en la superficie. El sensor de presión dentro de la sonda del instrumento de diagráfia detecta la presión a medida que es extraído de una profundidad en el interior del pozo de sondeo. Los cambios en los valores de presión se utilizan para determinar un cambio en la profundidad.

Preferiblemente, el instrumento de diagráfia se conecta al tubo testigo a través de un adaptador, preferiblemente realizado de acero inoxidable para resistir la corrosión y proporcionar resistencia.

Cuando el fondo de la perforación se encuentra adyacente a la broca de perforación, la sonda con los sensores asociados con el instrumento de diagráfia se hace avanzar a través de una abertura en la broca de perforación para extenderse en el interior del pozo de sondeo a distancia de la broca de perforación. Por tanto, los sensores se encuentran a distancia del portatestigos de sondeo y la broca de perforación.

Los componentes electrónicos, de procesamiento, de la memoria y de alimentación de la batería pueden por lo tanto permanecer dentro del cuerpo del instrumento de diagráfia en el interior del portatestigos de sondeo, protegiendo de este modo los componentes del instrumento de diagráfia.

La detección, tal como la detección magnética y de radiación gamma por parte de los sensores, no se ve influenciada de forma perjudicial, o al menos se ve menos afectada, por el portatestigos de sondeo y la broca de perforación de acero cuando los sensores sobresalen distanciados de la broca de perforación en comparación con la totalidad del instrumento de diagráfia que permanece dentro del portatestigos de sondeo de acero. Sin embargo, podrá apreciarse que la presente invención no está limitada a hacer que los sensores sobresalgan distanciados de la broca de perforación.

El instrumento de diagráfia utilizado en una realización de la presente invención puede realizar una o más de las siguientes funciones:

- Cambio de modo, desactivación, activación, correlacionar datos con la presión de medición de la profundidad y preferiblemente también detectar movimiento (tal como aceleración/desaceleración) de forma automática.
- Almacenar los valores en una memoria no volátil.

5 Pueden emplearse algoritmos para descartar datos que no se requieren, ahorrando de este modo espacio vital en la memoria. El instrumento de diagraña puede también medir la orientación de la prospección y calcular la posición de la latitud y la longitud de los datos y el pozo de sondeo.

10 Las realizaciones de la presente invención proveen al operario de la perforación de datos extra (p.ej., información de las propiedades de la roca, radiación gamma), mientras que realiza únicamente una única operación (siendo ésta una prospección tradicional de estimación magnética / gravimétrica). Esto ahorra tiempo (y de ahí dinero) debido a que únicamente se requiere una pasada para adquirir todos los datos.

Se obtienen uno o más beneficios de las realizaciones de la presente invención en cuanto a que:

- Puede realizarse la diagraña y la prospección sin el riesgo de que el pozo de sondeo colapse, es decir que la sarta de perforación esté aún en su lugar,
- 15 • El operario u operarios pueden realizar el procedimiento de diagraña sin ningún equipo o formación técnica especialista o personal adicionales.
- El instrumento de diagraña es auto-alimentado y tiene una operación autónoma,
- 20 • No se necesita transmitir ninguna energía o señalización “por el cable” – no existe riesgo de rotura de cables de energía o comunicaciones, es decir el instrumento de diagraña puede ser desplegado en un cable de acero simple.
- El almacenamiento en memoria no volátil y también la transferencia de datos puede realizarse de forma inalámbrica en un dispositivo portátil de mano equipado para este fin que también controlará los modos de operación y prueba del instrumento en la superficie antes del despliegue y después de la retirada del instrumento de diagraña.
- 25 • Adquisición y correlación automática de la profundidad,
- Interfaz de contador de profundidad wire-line automática,
- Cálculo automático de la profundidad en cualquier momento debido a los datos de entrada de número de varillas, longitud del portatestigos y distancia sobre la superficie (stickup),
- 30 • Análisis de la aceleración para determinar cuándo comienza una varilla a ser extraída y posteriormente se para. Una “correlación” de la profundidad precisa – La interpolación de la profundidad puede calcularse a través del intervalo de tiempo entre las retiradas de la varilla (las retiradas de la varilla implican la eliminación del sistema de parada y arranque de la sarta de perforación, a medida que cada sección de varilla es desenroscada de la siguiente y a continuación la sarta de perforación extraída en otro tramo de longitud de varilla para que dicha varilla sea a continuación desenroscada, y así sucesivamente),
- 35 • La operación de prospección automática – durante el proceso de retirada/separación de varillas hay un periodo de “reposo”. Esto se puede utilizar como una indicación para iniciar automáticamente una prospección magnética/gravimétrica que va a tener lugar.

40 El instrumento 10 de diagraña representado en las Figuras 1 y 2 incluye un adaptador del tubo testigo o un collar 12 de asentamiento, una barra 14 espaciadora opcional cuando se requiere una prospección, y una sonda 16 que aloja unos sensores. La barra 14 espaciadora puede no ser requerida cuando un detector de radiación gamma se hace avanzar a través de la broca de perforación sin que se requiera una prospección. Aunque solamente se representa una única barra 14 espaciadora, pueden incluirse múltiples barras 14 espaciadoras. Preferiblemente, se emplean tres barras 14 espaciadoras.

45 El instrumento 10 de diagraña es una herramienta autónoma y como tal no requiere conexiones externas de datos o de cable de alimentación.

El instrumento 10 de diagrafía incluye al menos un detector 20 de radiación gamma, que preferiblemente permanece dispuesto dentro del portatestigos de sondeo cuando la parte de la sonda se despliega a distancia de la broca de perforación. El detector 20 de radiación gamma puede desplegarse en cualquier lugar en el alojamiento del instrumento. El detector 20 de radiación gamma puede desplegarse para que permanezca en el interior del tubo para obtener lecturas de densidad más elevada debido a que el detector 20 de radiación gamma puede ser de mayor tamaño ya que no necesita sobresalir a través de la abertura más pequeña a través de la broca de perforación.

El instrumento 20 de diagrafía tiene alimentación integrada procedente de las baterías 22.

Durante la operación habitual, un equipo de sondeo de testificación (sin el instrumento 10 de diagrafía acoplado) se utiliza para extraer una muestra de testigo de sondeo de una formación geológica. Una vez que la muestra de testigo de sondeo ha sido extraída, puede tener lugar la diagrafía del pozo para la obtención de testigos.

El instrumento 10 de diagrafía se despliega en el interior del pozo 180 de sondeo. Esto implica una serie de etapas que se logran fácilmente por parte del operario/personal de perforación, y por tanto no se requiere ningún personal especialista o técnicos de diagrafía altamente formados adicionales en el emplazamiento.

Un método para el despliegue del instrumento 10 de diagrafía incluye las etapas de ensamblar el instrumento 10 de diagrafía; conectar el instrumento 10 de diagrafía al tubo testigo del equipo de sondeo de testificación; desplegar el tubo testigo conectado y el instrumento 10 de diagrafía a través del portatestigos 140 de sondeo del equipo de testificación en el pozo 180 de sondeo.

Una etapa adicional puede incluir asentar el tubo testigo conectado y el instrumento 10 de diagrafía de manera que la parte inferior del instrumento 10 de diagrafía se sitúe por debajo de la broca 160 de perforación en el portatestigos 140 de sondeo.

La etapa de ensamblaje del instrumento 10 de diagrafía incluye conectar el adaptador 12 al tubo testigo, conectando la barra o barras 14 al adaptador 12 y conectando la sonda 16 a la barra 14 espaciadora.

El tubo 180 testigo conectado y el instrumento 10 de diagrafía se despliegan a través de la sarta de perforación en el interior del portatestigos 140 de sondeo utilizando un ensamblaje final.

La Figura 3 muestra el instrumento 10 de diagrafía desplegado en una sección del portatestigos 140 de sondeo dentro de un pozo 180 de sondeo.

Para realizar la diagrafía de una parte de la longitud o de la totalidad de la longitud del pozo para la obtención de testigos es necesario desplazar el instrumento 10 de diagrafía ya sea hacia dentro o hacia afuera del pozo de sondeo. Se podrá apreciar que una forma preferida de realizar un método de la presente invención es desplegar el instrumento 10 de diagrafía en el pozo de sondeo y extraerlo gradualmente mientras se toman lecturas de radiación gamma (y cualquier otra lectura de los sensores) periódicamente durante la extracción y a medida que cae la presión debido a la reducción de la distancia en el interior del pozo de sondeo.

Sin embargo, podrá apreciarse que el caso inverso puede realizarse dentro del alcance de la presente invención. Es decir, introducir el instrumento 10 de diagrafía en el pozo de sondeo y tomar lecturas de radiación gamma con el instrumento 10 de diagrafía periódicamente o de forma continua a medida que el instrumento 10 de diagrafía se hace avanzar en el interior del pozo de sondeo y, por lo tanto, a medida que la presión aumenta con la distancia hacia el interior del pozo de sondeo.

La Figura 4 muestra un gráfico de presión contra el tiempo. El instrumento 10 de diagrafía se introduce en el pozo de sondeo desde la entrada en la superficie a, o aproximadamente a 400 segundos. La presión aumenta gradualmente con la profundidad a medida que el instrumento 10 de diagrafía se hace avanzar en el interior del pozo de sondeo, hasta una presión máxima registrada (y por lo tanto una profundidad máxima para este ejemplo) que se correlaciona aproximadamente con 24 bar (lo que se correlaciona aproximadamente con 240m). Los valores de presión proporcionados en el eje "y" son valores de datos en bruto que requieren una calibración a unidades de presión específicas. Habitualmente, los valores de presión de trabajo son de 0 a 344,7 bar (0 a 5000 psi), con hasta aproximadamente 551,6 bar (8000 psi) como un máximo trabajable.

Se podrá apreciar que la presión dentro de un pozo de sondeo vertical para una distancia determinada variará en comparación con la presión en un pozo de sondeo que se desvía de la vertical para la misma distancia dentro del pozo de sondeo. Además, la presión será habitualmente más elevada para una distancia o profundidad determinada en un pozo de sondeo si el fluido que rodea el sensor de presión es más denso que el agua, por ejemplo, el lodo de perforación tiene una densidad mayor que el agua o el aire. Por tanto, el sensor de presión se calibraría antes del despliegue en el interior del pozo de sondeo.

- El instrumento 10 de diagráfia se extrae gradualmente del pozo de sondeo, siendo detectada la disminución de presión por el sensor o sensores de presión alojados en el instrumento 10 de diagráfia. La presión es periódicamente estática durante unos pocos segundos a medida que el sensor o sensores de radiación gamma toman lecturas mientras que el instrumento 10 de diagráfia está estático. El gradiente descendiente del gráfico muestra este hecho como etapas cortas periódicas en el gradiente descendiente de la presión hasta el tiempo máximo de aproximadamente 3150 segundos, después de lo cual la presión se vuelve estable, p.ej., en la superficie.
- Puede utilizarse uno o más acelerómetros dentro del instrumento 10 de diagráfia para detectar cambios en el desplazamiento del instrumento 10 de diagráfia y por lo tanto correlacionar ese desplazamiento (o ausencia del mismo) con respectivas lecturas de radiación gamma que se hayan recopilado.
- Tal como se muestra en la Figura 5, el periodo de tiempo utilizado es de 1 segundo a 3597 segundos (aproximadamente un periodo de una hora). Esto es únicamente un ejemplo, y otros periodos se contemplan dentro del alcance de la presente invención.
- El sensor de presión puede tomar lecturas de presión continuas (es decir, tal como cuando el sensor de presión es un dispositivo análogo). Esas lecturas de presión pueden muestrearse mediante la electrónica dentro del instrumento de diagráfia. El muestreo puede ser periódico, tal como cada pocos segundos o fracciones de segundo. Pueden realizarse muestreos de milisegundos. Preferiblemente el muestreo se realiza a una tasa de una muestra cada 0,5 segundos o menos. El muestreo a tasas por encima de 0,5 segundos también se contempla.
- Obtener valores de radiación gamma puede ser a una tasa de muestreo de cada pocos segundos, más preferiblemente aproximadamente cada segundo.
- La parte inicial del gráfico "A" muestra la presión elevándose/aumentando a medida que el instrumento 10 de diagráfia se despliega en el interior del pozo de sondeo. El aumento de presión es proporcional a la profundidad en el interior del pozo de sondeo.
- La disminución (sección "B") en la Figura 4 es la extracción del pozo del instrumento 10 de diagráfia hacia una profundidad más superficial (menor presión) y así sucesivamente. El gradiente del gráfico muestra la tasa de cambio de presión con el tiempo.
- Los gráficos en las Figuras 4 y 5 representan avances simulados de las varillas desde una profundidad estimada de aproximadamente 240m, de manera que se tira del instrumento 10 hacia arriba y se detiene durante un par de minutos, a continuación se tira del mismo y se detiene nuevamente, y así sucesivamente.
- La Figura 5 muestra radiación gamma natural detectada procedente de la formación rocosa circundante según, se detecta por el detector 20 de radiación gamma integrado, representada gráficamente contra la profundidad estimada derivada de los valores de presión obtenidos durante la retirada del instrumento 10 de diagráfia de regreso hacia arriba del pozo de sondeo. Todos los datos de presión y profundidad, y las señales gamma pueden ser almacenados en una memoria no volátil integrada dentro del instrumento 10 de diagráfia para la recuperación del instrumento 10 de diagráfia en la superficie.
- Los avances simulados son de aproximadamente 10m/minuto, lo que es igual a una velocidad habitual de diagráfia industrial de una medición de radiación gamma.
- Cuando el pozo de sondeo es un pozo seco (es decir, un pozo lleno de aire en lugar de un pozo húmedo, lleno de agua/lodo de perforación), puede emplearse un sensor de presión barométrico para detectar la presión del aire y los cambios en la presión del aire en el fondo de la perforación.

REIVINDICACIONES

1. Un método que comprende:

a) desplegar un instrumento de diagraña en un pozo de sondeo perforado en una formación, dicho instrumento que incluye un sensor de presión y que está acoplado a una sarta de perforación;

5 b) utilizar el sensor para obtener un primer valor de presión a una profundidad conocida en el pozo de sondeo;

c) utilizar el sensor de presión para obtener al menos un valor de presión adicional posterior al primer valor de presión durante la extracción de la sarta de perforación y el instrumento de diagraña del pozo de sondeo, o el avance de la sarta de perforación y el instrumento de diagraña en el pozo de sondeo;

10 d) utilizar un procesador para recibir el primer valor de presión y dicho al menos un valor de presión adicional obtenido por el sensor de presión;

e) determinar, utilizando el procesador, una profundidad real del instrumento de diagraña dentro de la formación, utilizando:

15 (i) un cambio en la presión (Δp) entre el primer valor de presión y dicho un valor o valores de presión adicionales; o

(ii) un cambio en la presión (Δp) entre dicho un valor de presión adicional y dicho otro valor de presión adicional; o

(iii) una combinación de (i) y (ii);

en donde el cambio en la presión (Δp) corresponda a un cambio en una longitud de la sarta de perforación;

20 caracterizado por que la sarta de perforación comprende una pluralidad de varillas de perforación de longitud conocida, en donde la sarta de perforación se extrae del pozo de sondeo o se introduce en el pozo de sondeo en etapas para producir distintos cambios de presión detectables, en donde cada etapa corresponde a la retirada o introducción de una respectiva varilla de perforación, de longitud conocida, de la sarta de perforación; y

25 caracterizado por que además el instrumento de diagraña comprende una sonda, en donde la sonda aloja el sensor de presión, en donde se encuentra dispuesta una broca de perforación en un extremo distal de la sarta de perforación, dicha broca de perforación que tiene una abertura a través de la cual la sonda puede hacerse avanzar, en donde la sonda se hace avanzar a distancia de la broca de perforación y en donde dicho uno o más valores de presión se detectan por el sensor o sensores distanciados del extremo distal de la broca de perforación.

30

2. El método según la reivindicación 1, en donde la presión y el cambio en la presión (Δp) se detectan en un fluido presente en el pozo de sondeo, siendo el fluido un líquido en un pozo de sondeo "húmedo" o gases entre los que se incluye el aire en un pozo de sondeo "seco".

35 3. El método según la reivindicación 1, en donde la sonda aloja al menos un acelerómetro y al menos un detector de datos geofísicos, donde el método además comprende:

utilizar el al menos un acelerómetro para detectar el desplazamiento del instrumento de diagraña, en donde el desplazamiento del sistema de diagraña se detecta utilizando datos de aceleración obtenidos a partir del al menos un acelerómetro alojado dentro de la sonda;

40 utilizar los datos de aceleración y el primer valor y/o valores adicionales de presión para determinar la profundidad real del instrumento de diagraña; y

correlacionar la profundidad real del instrumento de diagraña con datos geofísicos detectados.

4. El método según la reivindicación 3, en donde el al menos un detector de datos geofísicos comprende un detector de radiación gamma, y en donde los datos geofísicos detectados comprenden valores de radiación gamma detectados.

5. El método según la reivindicación 3, en donde el al menos un detector de datos geofísicos comprende un sensor magnético, y en donde los datos geofísicos detectados comprenden propiedades magnéticas detectadas de la formación.
- 5 6. El método según la reivindicación 3, en donde el instrumento de diagráfia opera de forma autónoma cuando se encuentra en el fondo de la perforación para registrar los valores de presión y/o aceleración durante la operación de extracción o de avance sin requerir datos de entrada de control adicionales del operador en la superficie, distintos del control de la extracción o el avance del instrumento de diagráfia.
7. El método según la reivindicación 6, en donde el instrumento de diagráfia muestrea valores de presión a intervalos de tiempo predeterminados.
- 10 8. El método según la reivindicación 7, que además comprende utilizar la detección de aceleración o la ausencia de aceleración como una señal para obtener dicho un siguiente valor de presión.
9. El método según la reivindicación 8, que además comprende cesar la detección de la presión durante un periodo de tiempo hasta que la aceleración esté en o por encima de un valor umbral.
- 15 10. El método según la reivindicación 4, en donde los valores de radiación gamma se obtienen de forma continua cuando el instrumento de diagráfia ha cesado su desplazamiento durante un periodo de tiempo durante la extracción o el avance en el pozo de sondeo.
11. El método según la reivindicación 4, en donde los valores de radiación gamma obtenidos se correlacionan con los valores de presión para proporcionar un valor de radiación gamma asociado con las posiciones de profundidad dentro del pozo de sondeo, y en donde el método además comprende correlacionar los valores de radiación gamma registrados en diagráfia con valores de profundidad obtenidos de los correspondientes valores de presión o cambio en la presión para crear un plano litológico de la estructura de la formación.
- 20 12. El método según la reivindicación 1, en donde el instrumento de diagráfia comprende una memoria que almacena datos registrados por el instrumento de diagráfia, y en donde el método además comprende:

recuperar el instrumento de diagráfia del pozo de sondeo; y

25 transmitir los datos registrados de la memoria del instrumento de diagráfia a un dispositivo portátil de mano,

en donde los datos registrados se transmiten de forma inalámbrica desde la memoria del instrumento de diagráfia al dispositivo portátil.

