

MÉTODOS PARA ELABORAR Y UTILIZAR UNA COMPOSICIÓN CEMENTOSA CON CEMENTO PORTLAND ULTRABAJO

CAMPO

[0001] Esta solicitud se refiere a la recuperación de recursos naturales de un pozo que penetra una formación subterránea y, más específicamente, esta solicitud se refiere a composiciones cementosas con cemento Portland ultrabajo.

ANTECEDENTES

[0002] La presente divulgación se refiere generalmente a métodos de mantenimiento de un pozo. Más específicamente, se refiere a métodos para tratar un pozo que penetra una formación subterránea, por ejemplo, durante una operación de cementación.

[0003] Los recursos naturales, tales como gas, petróleo y agua, que se encuentran en una formación subterránea normalmente se recuperan al perforar un pozo hasta la formación subterránea mientras se hace circular un fluido de perforación, también denominado lodo de perforación, en el pozo. Después de terminar la circulación del fluido de perforación, se introduce una sarta de tubería, por ejemplo, tubería de revestimiento, en el pozo. Luego, el fluido de perforación se hace circular normalmente hacia abajo a través del interior de la tubería y hacia arriba a través del anillo, que está ubicado entre el exterior de la tubería y las paredes del pozo. A continuación, suele realizarse la cementación primaria, mediante la cual una lechada de cemento se coloca en el anillo y se permite que fragüe en una masa dura (es decir, vaina) para de esta manera fijar la sarta de tubería a las paredes del pozo y sellar el anillo. También pueden realizarse operaciones de cementación secundaria posteriores. Un ejemplo de una operación de cementación secundaria es la cementación por compresión, en donde se emplea una lechada de cemento para taponar y sellar los pasos de flujo no deseados en la vaina de cemento y/o la tubería de revestimiento.

[0004] Si bien hasta ahora se han desarrollado lechadas de cemento, los desafíos permanecen con el uso exitoso de lechadas de cemento en operaciones de cementación subterránea. La fabricación de cemento es una industria que demanda mucha energía. Mucha de esta energía se produce mediante la quema de combustibles fósiles, tales como carbón, lo que contribuye a la producción de "gases de efecto invernadero". Uno de los gases de efecto invernadero más analizados es el dióxido de carbono (CO₂). El efecto que tienen ciertas actividades en el clima respecto de la cantidad total de gases de efecto invernadero producidos a menudo se describe como "huella de carbono". Por lo tanto, existe una necesidad persistente de una lechada de cemento que tenga una baja huella de carbono.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0005] Para una comprensión más completa de la presente divulgación y las ventajas de esta, ahora se hace referencia a la siguiente breve descripción, tomada en relación con los dibujos adjuntos y la descripción detallada, en donde números de referencia similares representan partes similares.

[0006] La Figura 1 es un diagrama de un analizador de cemento ultrasónico (UCA)

de las tres muestras de acuerdo con algunas formas de realización de la divulgación.

[0007] La Figura 2 ilustra un equipo de superficie que se puede usar en la colocación de una composición cementosa de acuerdo con algunas formas de realización de la divulgación.

[0008] La Figura 3 es una representación de la colocación de una composición cementosa en una formación subterránea de acuerdo con algunas formas de realización de la divulgación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0009] Debe entenderse desde el principio que, si bien más adelante se proporciona una implementación ilustrativa de una o más formas de realización, los sistemas y/o métodos divulgados pueden implementarse mediante el uso de cualquier cantidad de técnicas, ya sean actualmente conocidas o existentes. La divulgación no debe limitarse en modo alguno a las implementaciones, dibujos y técnicas ilustrativos que se ilustran más adelante, que incluyen los diseños e implementaciones de ejemplo ilustrados y descritos en la presente, sino que puede modificarse dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas junto con su alcance completo de equivalentes.

[0010] Debe entenderse que la expresión "formación subterránea" abarca tanto las áreas debajo de la tierra expuesta como las áreas debajo de la tierra cubiertas por agua, tales como el océano o agua dulce. En la presente divulgación, "superior" significa el pozo en la superficie (por ejemplo, en el cabezal de pozo que puede ubicarse en tierra seca o bajo el agua, por ejemplo, un cabezal de pozo submarino) y la dirección a lo largo de un pozo hacia la superficie del pozo se denomina "arriba"; "inferior" significa el extremo del pozo opuesto a la superficie y la dirección a lo largo del pozo que se aleja de la superficie del pozo se denomina "abajo". Por ejemplo, en un pozo horizontal, dos ubicaciones pueden estar al mismo nivel (es decir, profundidad dentro de una formación subterránea), la ubicación más cercana a la superficie del pozo (al comparar las extensiones a lo largo del pozo desde la superficie del pozo hasta las ubicaciones) se denomina "arriba" de la otra ubicación, la ubicación más alejada de la superficie del pozo (al comparar las extensiones a lo largo del pozo desde la superficie del pozo hasta las ubicaciones) se denomina "abajo" o "más abajo" de la otra ubicación.

[0011] En la presente se divulga un método de mantenimiento de un pozo que penetra una formación subterránea. En formas de realización, el método comprende colocar una composición cementosa en el pozo. La composición cementosa puede comprender una mezcla de cemento y agua. En formas de realización, la mezcla de cemento comprende cemento Portland y puzolana. El cemento Portland puede estar presente en una cantidad de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 25,0 % en peso en función del peso total de la mezcla de cemento. Alternativamente, el cemento Portland puede estar presente en una cantidad de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 24,0 % en peso, alternativamente de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 22,0 % en peso, alternativamente de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 20,0 % en peso, alternativamente de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso

a igual o menor de alrededor de 18,0 % en peso, alternativamente de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 16,0 % en peso o alternativamente de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 14,0 % en peso.

[0012] Los cementos Portland que son adecuados para su uso en la composición cementosa divulgada incluyen, entre otros, cementos de clase A, C, G, H, cementos de baja resistencia a los sulfatos, cementos de resistencia media a los sulfatos, cementos de alta resistencia a los sulfatos o combinaciones de estos. Los cementos de clase A, C, G y H se clasifican de acuerdo con la Especificación API 10. Los ejemplos adicionales de cementos Portland adecuados para su uso en la presente divulgación incluyen, entre otros, aquellos clasificados como ASTM tipo I, II, III, IV o V.

[0013] El cemento Portland puede ser reactivo y someterse a reacciones de hidratación para producir una masa endurecida. Los diversos óxidos, tales como óxidos de calcio, y los silicatos presentes en el cemento Portland pueden someterse a una reacción de reticulación inducida por agua para producir una pasta de cemento hidratada que luego puede fraguar para formar la masa endurecida. En formas de realización, el cemento Portland puede incluir 5 componentes de cemento principales. Los componentes de cemento pueden incluir silicato de dicalcio (C_2S), silicato de tricalcio (C_3S), aluminato de tricalcio (C_3A), aluminoferrita de tetracalcio (C_4AF) y yeso. Como entenderá una persona del oficio de nivel medio, cada uno de los componentes de cemento principales se puede hidratar a una velocidad diferente y puede formar diferentes fases sólidas cuando se hidratan. La velocidad de hidratación de cada componente de cemento en el cemento Portland puede depender de muchos factores, tales como la temperatura de la lechada de cemento.

[0014] En formas de realización, la composición cementosa comprende puzolana. La puzolana puede comprender ceniza volante, vidrio natural, vidrio volcánico, roca volcánica, ceniza de desechos agrícolas, ceniza de desechos, escoria molida, humo de sílice, tierra de diatomeas, metacaolín, zeolita, arcillas calcinadas, esquisto, pumicita, mata, polvo de horno de cemento, polvo de granito, arena de sílice, microesferas de vidrio, cenoesferas, un esquisto vitrificado, un subproducto puzolánico molido o combinaciones de estos. Las puzolanas naturales que se pueden usar como la puzolana se encuentran generalmente presentes en la superficie de la Tierra y fraguan y se endurecen en presencia de cal hidratada y agua. En formas de realización, la puzolana comprende cualquier tipo de subproductos puzolánicos molidos. Los ejemplos ilimitados de subproductos puzolánicos molidos incluyen polvo de hormigón reciclado, polvo de granito y polvo de desechos cerámicos.

[0015] La puzolana puede tener reacciones puzolánicas tras el contacto con el cemento Portland y el agua. La reacción puzolánica convierte un componente rico en sílice (por ejemplo, una puzolana) en un silicato de calcio con propiedades cementosas. Sin limitarse a la teoría, pequeñas cantidades (de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 25,0 % en peso, como se divulga en la presente) de cemento Portland pueden iniciar la reacción

puzolánica de la puzolana. Sin limitarse a la teoría, el cemento Portland puede proporcionar un entorno alcalino e iones de calcio para iniciar y mantener la reacción puzolánica.

[0016] En formas de realización, la puzolana está presente en la mezcla de cemento en una cantidad de alrededor de 75,0 % en peso a alrededor de 99,99 % en peso, en función del peso total de la mezcla de cemento, alternativamente de alrededor de 78,0 % en peso a alrededor de 99,99 % en peso, alternativamente de alrededor de 80,0 % en peso a alrededor de 99,99 % en peso, alternativamente de alrededor de 83,0 % en peso a alrededor de 99,99 % en peso o alternativamente de alrededor de 85,0 % en peso a alrededor de 99,99 % en peso.

[0017] En formas de realización, la mezcla de cemento comprende además otros materiales cementosos. El otro material cementoso puede comprender calcio, aluminio, silicio, oxígeno, hierro y/o azufre. El otro material cementoso puede comprender cemento de yeso, cemento de esquisto, cemento de ácido/base, cemento de fosfato, cemento de alto contenido de alúmina, cemento de escoria, cemento de sílice, cemento altamente alcalino, cemento de magnesio, otros materiales fraguables o combinaciones de estos. En formas de realización, "cemento de alto contenido de alúmina" se refiere a un cemento que tiene una concentración de alúmina en el rango de alrededor de 40 % en peso a alrededor de 80 % en peso del cemento de alto contenido de alúmina. En formas de realización, "cemento altamente alcalino" se refiere a un cemento que tiene una concentración de óxido de sodio en el rango de alrededor de 1,0 % en peso a alrededor de 2,0 % en peso del cemento altamente alcalino. El cemento de esquisto se refiere a un material cementoso complementario elaborado a partir de esquisto molido y quemado. El cemento de sílice se puede formar cuando el ácido fosfórico desplaza los iones de metal de un vidrio de alúmina-sílice, que contiene fluoruros y óxidos de metal.

[0018] La mezcla de cemento puede estar presente en la composición cementosa en una cantidad de alrededor de 0,001 % en peso a alrededor de 85,0 % en peso en función del peso total de la composición cementosa, alternativamente de alrededor de 0,01 % en peso a alrededor de 75,0 % en peso, alternativamente de alrededor de 1 % en peso a alrededor de 75,0 % en peso o alternativamente de alrededor de 5 % en peso a alrededor de 75,0 % en peso.

[0019] La composición cementosa puede comprender agua. Generalmente, el agua puede ser de cualquier fuente, siempre y cuando no contenga una cantidad de componentes que puedan tener un efecto indeseado en los otros componentes en la composición cementosa. Por ejemplo, el agua se puede seleccionar de un grupo que consiste esencialmente en agua dulce, agua superficial, agua subterránea, agua producida, agua de mar, agua salada, salmuera (por ejemplo, salmuera natural subterránea, salmuera formulada, etc.) y combinaciones de estas. Una salmuera formulada se puede producir al disolver una o más sales solubles en agua, una salmuera natural o agua de mar. Las sales solubles representativas incluyen sales de cloruro, bromuro, acetato y formiato de potasio, sodio, calcio, magnesio y zinc. El agua puede estar presente en la composición cementosa en una cantidad eficaz para proporcionar una lechada que tenga las propiedades

reológicas deseadas (por ejemplo, específicas del trabajo o mantenimiento). En formas de realización, el agua está presente en la composición cementosa en una cantidad de alrededor de 20 % en peso de la mezcla (bwob) a alrededor de 200 % bwob en función del peso total de la mezcla de cemento, alternativamente de alrededor de 40 % bwob a alrededor de 200 % bwob o alternativamente de alrededor de 60 % bwob a alrededor de 200 % bwob.

[0020] En formas de realización, la composición cementosa comprende además uno o más aditivos. El uno o más aditivos pueden comprender agentes densificantes, retardadores, aceleradores, activadores, aditivos de control de gas, aditivos ligeros, aditivos generadores de gas, aditivos que mejoran las propiedades mecánicas (por ejemplo, fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras de metal, fibras minerales, elastómeros poliméricos, látex, etc.), materiales de pérdida de circulación, aditivos de control de filtración, aditivos de control de pérdida de fluido, agentes antiespumantes, agentes espumantes, modificadores del tiempo de transición, dispersantes, aditivos tixotrópicos, agentes de suspensión o combinaciones de estos. Una persona del oficio de nivel medio, con el beneficio de esta divulgación, podría seleccionar uno o más aditivos adecuados para una aplicación particular.

[0021] En formas de realización, el uno o más aditivos están presentes en la composición cementosa en una cantidad de alrededor de 0,05 % bwob a alrededor de 50 % bwob en función del peso total de la mezcla de cemento, alternativamente de alrededor de 0,1 % bwob a alrededor de 50 % bwob o alternativamente de alrededor de 0,1 % bwob a alrededor de 45 % bwob.

[0022] En formas de realización, la composición cementosa tiene un tiempo de espesamiento. El tiempo de espesamiento en la presente se refiere al tiempo necesario para que la composición cementosa alcance 70 unidades de consistencia Bearden (Bc) luego de la preparación de la composición cementosa. A alrededor de 70 Bc, la composición cementosa se somete a una conversión de un estado fluido bombeable a un gel no bombeable. El tiempo de espesamiento puede ser un factor de diseño importante, ya que la composición cementosa se puede bombear miles de metros a través de un conducto y la colocación puede llevar horas. Para mantener la composición cementosa en un estado bombeable durante la cantidad de tiempo adecuada, se pueden agregar aditivos de cemento, tales como retardadores y aceleradores, para modular el tiempo de bombeo al acortar o extender el tiempo de espesamiento. Una medición de las unidades de consistencia Bearden (Bc) se puede considerar una prueba de tiempo de espesamiento que se realiza en un fluido en movimiento. En una prueba de tiempo de espesamiento, un aparato, incluso un consistómetro presurizado, puede aplicar temperatura y presión a una lechada (por ejemplo, una composición cementosa) mientras la lechada se agita con una paleta. Un brazo resistor y un potenciómetro acoplados a la paleta pueden proporcionar un resultado en unidades de consistencia Bearden.

[0023] En formas de realización, el tiempo de espesamiento de la composición cementosa aumenta a medida que aumenta la cantidad del cemento Portland en la composición cementosa. En otras palabras, además de proporcionar un entorno alcalino e iones de calcio para la reacción puzolánica, pequeñas cantidades (de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de

25,0 % en peso, como se divulga en la presente) de cemento Portland pueden retardar el tiempo de fraguado de la composición cementosa al mismo tiempo.

[0024] En formas de realización, la composición cementosa tiene un tiempo de espesamiento hasta alcanzar alrededor de 70 Bc en un rango de alrededor de 2,0 horas a alrededor de 20,0 horas a alrededor de 160 °F, alternativamente de alrededor de 3,0 horas a alrededor de 18,0 horas, alternativamente de alrededor de 4,0 horas a alrededor de 15,0 horas, alternativamente de alrededor de 5,0 horas a alrededor de 15,0 horas, cuando se mide de acuerdo con el estándar de prueba API-RP-10B-2.

[0025] La resistencia a la compresión es generalmente la capacidad de un material o estructura para resistir fuerzas de empuje dirigidas axialmente. La resistencia a la compresión de una composición cementosa puede medirse en un momento especificado (por ejemplo, 24 horas) después de mezclar una mezcla de cemento con agua, y la lechada de cemento resultante se mantiene a condiciones especificadas de temperatura y presión para formar un cemento endurecido y fraguado. Por ejemplo, la resistencia a la compresión puede medirse en un momento en el rango de alrededor de 24 a alrededor de 48 horas (o más) después de mezclar la lechada de cemento, y la lechada de cemento se mantiene a una temperatura de 100 °F a alrededor de 200 °F y presión atmosférica, tiempo durante el cual la lechada de cemento puede fraguar en una masa endurecida. La resistencia a la compresión puede medirse con un método destructivo o un método no destructivo. El método destructivo evalúa físicamente la resistencia de las muestras de fluido de tratamiento en diversos puntos en el tiempo al triturar las muestras en una máquina de prueba de compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de falla dividida por el área de sección transversal que resiste la carga y se informa en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi). Los métodos no destructivos pueden emplear un analizador de cemento ultrasónico (UCA). Un UCA puede estar disponible a través de Fann® Instrument Company, Houston, TX. La resistencia a la compresión puede determinarse de acuerdo con API RP 10B-2, *Recommended Practice for Testing Well Cements*, primera edición, julio de 2005.

[0026] En formas de realización, la composición cementosa tiene una resistencia a la compresión medida de acuerdo con el estándar de prueba API-RP-10B-2. La resistencia a la compresión puede estar en un rango de alrededor de 50,0 psi a alrededor de 10.000,0 psi a alrededor de 160 °F entre alrededor de 24 horas y alrededor de 48 horas en una prueba de UCA, alternativamente de alrededor de 100,0 psi a alrededor de 10.000,0 psi, alternativamente de alrededor de 200,0 psi a alrededor de 7500,0 psi, alternativamente de alrededor de 250,0 psi a alrededor de 5500,0 psi, alternativamente de alrededor de 300,0 psi a alrededor de 3500,0 psi, alternativamente de alrededor de 300,0 psi a alrededor de 2500,0 psi o alternativamente de alrededor de 300,0 psi a alrededor de 1500,0 psi. El tiempo es un período de 24 a 48 horas luego de mezclar la mezcla de cemento con agua.

[0027] En formas de realización, la composición cementosa tiene un tiempo hasta alcanzar 50 psi (345 kPa) de resistencia a la compresión (también denominada "tiempo hasta alcanzar 50 psi") medido en una prueba de analizador de cemento

ultrasónico (UCA) de acuerdo con el estándar de prueba API-RP-10B-2. El tiempo hasta alcanzar 50 psi en condiciones estáticas en un UCA se puede usar como una estimación del tiempo de fraguado inicial de una composición cementosa. El tiempo hasta alcanzar 50 psi puede ser el tiempo que tarda una lechada de cemento en pasar de un estado fluido bombeable a un estado sólido endurecido. En formas de realización, el tiempo hasta alcanzar 50 psi de resistencia a la compresión de la composición cementosa aumenta a medida que aumenta la cantidad del cemento Portland. Sin limitarse a la teoría, esto se debe a que pequeñas cantidades de cemento Portland, como se divulga en la presente, pueden retardar el tiempo de fraguado de la composición cementosa.

[0028] En formas de realización, la composición cementosa tiene un tiempo hasta alcanzar 50 psi de resistencia a la compresión en un rango de alrededor de 2,0 horas a alrededor de 20,0 horas a alrededor de 160 °F en una prueba de UCA, alternativamente de alrededor de 4,0 horas a alrededor de 20,0 horas, alternativamente de alrededor de 5,0 horas a alrededor de 20,0 horas, alternativamente de alrededor de 6,0 horas a alrededor de 20,0 horas, alternativamente de alrededor de 8,0 horas a alrededor de 20,0 horas o alternativamente de alrededor de 10,0 horas a alrededor de 20,0 horas, cuando se mide de acuerdo con el estándar de prueba API-RP-10B-2.

[0029] En formas de realización, las composiciones cementosas divulgadas en la presente se caracterizan ventajosamente por un comportamiento de tiempo de espesamiento binario x que, cuando es igual o menor de alrededor de 25 % en peso de cemento Portland, x aumenta con cantidades crecientes de cemento Portland. Sin embargo, cuando es mayor de 25 % en peso de cemento Portland, x disminuye con cantidades crecientes de cemento Portland. En tales formas de realización, la resistencia a la compresión de la composición cementosa se correlaciona directamente con la concentración de cemento Portland, de modo que las cantidades crecientes de cemento Portland dan como resultado un aumento de la resistencia a la compresión.

[0030] En términos gráficos, se esperaría que un gráfico de la relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de cemento Portland esté monótonamente en aumento con cantidades crecientes de cemento Portland, donde las concentraciones crecientes de cemento Portland dan como resultado un aumento de la resistencia a la compresión del cemento fraguado. En marcado contraste, un gráfico del tiempo de espesamiento de las composiciones divulgadas en la presente como una función de la cantidad de cemento Portland mostraría un aumento del tiempo de espesamiento con cantidades crecientes de cemento Portland hasta que la cantidad varíe de alrededor de 22 % en peso a alrededor de 28 % en peso, alternativamente de alrededor de 23 % en peso a alrededor de 27 % en peso o alternativamente en alrededor de 25 % en peso. Si fuera mayor de alrededor de 25 % en peso, se observaría un punto de inflexión en un gráfico del tiempo de espesamiento como una función del contenido de cemento Portland y el tiempo de espesamiento entonces aumentaría con cantidades crecientes de cemento Portland. Este es un resultado sorprendentemente inesperado, ya que las composiciones de cemento convencionales muestran un tiempo de espesamiento

monótonamente en aumento con un aumento de la cantidad de cemento Portland y, por lo tanto, estos materiales carecen de un punto de inflexión en un gráfico del tiempo de espesamiento como una función de la cantidad de cemento Portland.

[0031] La composición cementosa divulgada en la presente puede tener cualquier viscosidad adecuada. En formas de realización, la composición cementosa tiene una viscosidad en un rango de alrededor de 3,0 cp a alrededor de 2500,0 cp, alternativamente de alrededor de 5,0 cp a alrededor de 2500,0 cp, alternativamente de alrededor de 8,0 cp a alrededor de 1500,0 cp o alternativamente de alrededor de 10,0 cp a alrededor de 1500,0 cp, cuando se mide de acuerdo con el estándar de prueba API-RP-10B-2. Se puede usar un viscosímetro giratorio de tipo Couette (por ejemplo, Fann modelo 35) para la medición.

[0032] La composición cementosa divulgada en la presente puede tener cualquier densidad adecuada, incluso, entre otros, en un rango de alrededor de 4,0 lb/gal (ppg) a alrededor de 25,0 ppg, alternativamente de alrededor de 7,0 ppg a alrededor de 23,0 ppg, alternativamente de alrededor de 10,0 ppg a alrededor de 23,0 ppg, alternativamente de alrededor de 10,0 ppg a alrededor de 22,0 ppg o alternativamente de alrededor de 11,0 ppg a alrededor de 20,0 ppg.

[0033] En formas de realización, la composición cementosa tiene una huella de carbono igual o menor de alrededor de 150,0 kilogramos de CO₂ equivalente por barril de la composición cementosa (kg/bbl), alternativamente igual o menor de alrededor de 120,0 kg/bbl, alternativamente igual o menor de alrededor de 100,0 kg/bbl, alternativamente igual o menor de alrededor de 80,0 kg/bbl, alternativamente igual o menor de alrededor de 70,0 kg/bbl, alternativamente igual o menor de alrededor de 65,0 kg/bbl, alternativamente igual o menor de alrededor de 60,0 kg/bbl o alternativamente igual o menor de alrededor de 50,0 kg/bbl.

[0034] La huella de carbono, que se refiere a las emisiones de carbono a causa de un material, puede determinarse mediante un análisis de vida útil de principio a fin del material. De principio a fin incluye las emisiones relacionadas con las etapas de producción, transporte, almacenamiento, uso y eliminación de un material. Las emisiones totales asociadas con un material es la suma de las emisiones en cada fase. Las emisiones pueden expresarse como kilogramos de CO₂ equivalente por masa unitaria (o volumen) del material. Existen varios estándares para computar las emisiones de carbono de un material. Por ejemplo, la United States Environmental Protection Agency (EPA) publica estándares enumerados en el EPA's Waste Reduction Model (WARM) que permiten el cálculo de las emisiones de carbono de un material. Otra fuente de estándares es la metodología de cuantificación de gases de efecto invernadero de California Air Resources Board. La presente divulgación utiliza datos del Inventario de Carbón y Energía (ICE), versión 2.0, de G. Hammond y C. Jones, 2011 (consultado por última vez el 4 de octubre de 2021 en <http://carbonsolutions.com/Resources/ICE%20V2.0%20-%20Jan%202011.xls>) para calcular la huella de carbono para los materiales. La huella de carbono de una composición cementosa se calcula mediante el uso de la Ecuación (1) a continuación:

$$\text{Huella de carbono} = \sum_{k=1}^n (\text{huella de carbono})_k \cdot x_k \quad (1)$$

en donde la composición cementosa comprende componentes n , en donde $(\text{huella de carbono})_k$ es la huella de carbono de componentes k puros y x_k es la concentración del componente k en la composición cementosa.

[0035] En algunas formas de realización, la composición cementosa se utiliza a una temperatura en un rango de alrededor de 50 °F a alrededor de 400 °F, alternativamente de alrededor de 50 °F a alrededor de 375 °F, alternativamente de alrededor de 50 °F a alrededor de 350 °F, alternativamente de alrededor de 50 °F a alrededor de 325 °F o alternativamente de alrededor de 50 °F a alrededor de 300 °F.

[0036] Se puede preparar una composición cementosa del tipo divulgado en la presente mediante el uso de cualquier método adecuado. En formas de realización, el método comprende mezclar componentes (por ejemplo, cemento Portland, puzolana, agua) de la composición cementosa mediante el uso de un equipo de mezcla (por ejemplo, una mezcladora, un cabezal de mezcla de un sistema de alimentación de sólidos). Mezclar los componentes de la composición cementosa puede comprender una o más etapas. Por ejemplo, mezclar los componentes de la composición cementosa puede comprender mezclar en seco los componentes de la mezcla de cemento y los otros componentes sólidos opcionales (por ejemplo, un agente densificante) para formar una mezcla seca y mezclar la mezcla seca con agua y otros aditivos opcionales para formar una lechada bombeable (por ejemplo, un fluido homogéneo). Para la mezcla, se puede usar cualquier recipiente que sea compatible con los componentes y tenga espacio suficiente.

[0037] En formas de realización, la mezcla de los componentes de la composición cementosa se puede realizar sobre la marcha (por ejemplo, en tiempo real o en la ubicación) en un sitio de pozo. Por ejemplo, los componentes de la mezcla de cemento (por ejemplo, cemento Portland, puzolana) se pueden transportar al sitio de pozo y combinar (por ejemplo, mezclar) con agua ubicada cerca del sitio de pozo para formar la composición cementosa. El agua se puede transportar de una fuente al sitio de pozo o puede estar disponible en el sitio de pozo antes de la combinación. La mezcla de cemento se puede preparar en una ubicación remota del sitio de pozo y transportar a este y, de ser necesario, se puede almacenar en la ubicación. Cuando es conveniente preparar la composición cementosa en el sitio de pozo, los componentes de la mezcla de cemento junto con agua adicional y otros aditivos opcionales se pueden mezclar para formar una mezcla (por ejemplo, en un tambor para mezcladora, por ejemplo, montado en un remolque). Los aditivos se pueden agregar a la composición cementosa durante su preparación (por ejemplo, durante la mezcla) y/o sobre la marcha (por ejemplo, en tiempo real o en la ubicación) mediante la adición (por ejemplo, inyección) a la composición cementosa cuando se está bombeando en el pozo.

[0038] El método divulgado en la presente puede comprender además introducir la composición cementosa en una formación subterránea y permitir que al menos una porción de la composición cementosa fragüe. En formas de realización, para

introducir la composición cementosa en la formación subterránea se utiliza una o más bombas.

[0039] Una composición cementosa del tipo divulgado en la presente se puede usar como un fluido cementoso. Un fluido cementoso se refiere a un material que puede fraguar y se puede utilizar para sellar de manera permanente un espacio anular entre la tubería de revestimiento y una pared del pozo. Un fluido cementoso también se puede utilizar para sellar formaciones a fin de evitar la pérdida de fluido de perforación (por ejemplo, en operaciones de cementación por compresión) y para operaciones que van desde la colocación de tapones de desviación hasta el taponamiento y el abandono de un pozo. Generalmente, un fluido cementoso utilizado en el campo petrolífero es bombeable en el anillo relativamente estrecho a largas distancias. En la presente se divulga un método de mantenimiento de un pozo que penetra una formación subterránea. En formas de realización, el método comprende colocar una composición cementosa en el pozo.

[0040] En formas de realización, la composición cementosa se utiliza en un espacio de trabajo subterráneo, por ejemplo, en una tubería de cementación subterránea, tal como una tubería cloacal o una tubería de revestimiento de pozo. En formas de realización, la composición cementosa se emplea en la cementación primaria de un pozo para la recuperación de recursos naturales, tales como agua o hidrocarburos. La cementación primaria primero implica perforar un pozo hasta una profundidad deseada, de modo que el pozo penetre una formación subterránea mientras un fluido de perforación se hace circular a través del pozo. Luego de la perforación del pozo, al menos un conducto, tal como una tubería de revestimiento, se puede colocar en el pozo a la vez que se deja un espacio conocido como el anillo (es decir, espacio anular) entre la pared del conducto y la pared del pozo. El fluido de perforación luego se puede desplazar hacia abajo a través del conducto y hacia arriba a través del anillo una o más veces, por ejemplo, dos veces, para limpiar el orificio. La composición cementosa luego se puede transportar (por ejemplo, bombear) al fondo de pozo y hacia arriba a través del anillo, por lo que se desplaza el fluido de perforación desde el pozo. En formas de realización, la composición cementosa fragua en una masa dura, que forma una columna de cemento que aísla una porción adyacente de la formación subterránea y proporciona soporte al conducto adyacente.

[0041] En algunas otras formas de realización, la composición cementosa se emplea en una operación de cementación secundaria, tal como cementación por compresión, que se realiza luego de la operación de cementación primaria. En la cementación por compresión, la composición cementosa se puede forzar bajo presión hacia zonas permeables a través de las cuales el fluido puede migrar indeseablemente en el pozo. Los ejemplos de tales zonas permeables incluyen fisuras, grietas, fracturas, rayas, canales de flujo, huecos, rayas de alta permeabilidad, huecos anulares o combinaciones de estos. Las zonas permeables pueden estar presentes en la columna de cemento que reside en el anillo, una pared del conducto en el pozo, un microanillo entre la columna de cemento y la formación subterránea y/o un microanillo entre la columna de cemento y el conducto. La composición cementosa puede fraguar dentro de las zonas

permeables, por lo que se forma una masa dura para taponar esas zonas y evitar que el fluido se filtre a través de estas.

[0042] A continuación, se describirá una técnica de cementación primaria de ejemplo que utiliza una composición cementosa con referencia a las Figuras 2 y 3. La Figura 2 ilustra un equipo de superficie 200 que se puede usar en la colocación de una composición cementosa de acuerdo con ciertos ejemplos. Se observará que, si bien la Figura 2 representa en general una operación en tierra, las personas del oficio de nivel medio reconocerán fácilmente que los principios descritos en la presente son igualmente aplicables a operaciones submarinas que emplean torres de perforación y plataformas flotantes o situadas en el mar, sin apartarse del alcance de la divulgación. Como se ilustra en la Figura 2, el equipo de superficie 200 puede incluir una unidad de cementación 205, que puede incluir uno o más camiones mezcladores de cemento. La unidad de cementación 205 puede incluir un equipo de mezcla 210 y un equipo de bombeo 210 como será evidente para las personas del oficio de nivel medio. La unidad de cementación 205, o múltiples unidades de cementación 205, pueden bombear una composición cementosa 14 del tipo divulgado en la presente a través de una tubería de alimentación 220 y hasta un cabezal de cementación 225 que transporta la composición cementosa 14 al fondo de pozo. La composición cementosa 14 puede desplazar otros fluidos presentes en el pozo, tales como fluidos de perforación y fluidos espaciadores, que pueden salir del pozo a través de un anillo y fluir a través de la tubería 235 hasta el pozo de lodo 240.

[0043] Con respecto a la Figura 3, la composición cementosa 14 se puede colocar en una formación subterránea 20 de acuerdo con formas de realización de ejemplo. Como se ilustra, se puede perforar un pozo 22 en la formación subterránea 20. Si bien el pozo 22 se muestra como extendido generalmente de manera vertical en la formación subterránea 20, los principios descritos en la presente también se pueden aplicar a pozos que se extienden en un ángulo a través de la formación subterránea 20, tales como pozos horizontales e inclinados. Como se ilustra, el pozo 22 comprende paredes 24 del pozo 22. En la forma de realización ilustrada, se ha insertado una tubería de revestimiento de superficie 26 en el pozo 22. La tubería de revestimiento de superficie 26 se puede cementar a las paredes 24 del pozo 22 mediante una vaina de cemento 28. En la forma de realización ilustrada, uno o más conductos adicionales (por ejemplo, tubería de revestimiento intermedia, tubería de revestimiento de producción, tuberías de revestimiento cortas, etc.) mostrados aquí como la tubería de revestimiento 30 también se pueden disponer en el pozo 22. Como se ilustra, hay un anillo de pozo (es decir, espacio anular) 32 formado entre la tubería de revestimiento 30 y las paredes 24 del pozo 22 y/o la tubería de revestimiento de superficie 26. Se pueden unir uno o más centralizadores 34 a la tubería de revestimiento 30, por ejemplo, para centralizar la tubería de revestimiento 30 en el pozo 22 antes y durante la operación de cementación.

[0044] Aún con respecto a la Figura 3, la composición cementosa 14 se puede colocar (por ejemplo, bombear) en el interior de la tubería de revestimiento 30. Se puede permitir que la composición cementosa 14 fluya hacia abajo por el interior de la tubería de revestimiento 30 a través de la zapata de revestimiento 42 en la parte

inferior de la tubería de revestimiento 30 y hacia arriba alrededor de la tubería de revestimiento 30 en el anillo de pozo 32. Se puede permitir que la composición cementosa 14 fragüe en el anillo de pozo 32, por ejemplo, para formar una vaina de cemento que soporte y posicione la tubería de revestimiento 30 en el pozo 22. También se pueden utilizar otras técnicas para la introducción de la composición cementosa 14. A modo de ejemplo, se pueden usar técnicas de circulación inversa que incluyen la introducción de la composición cementosa 14 en la formación subterránea 20 por medio del anillo de pozo 32 en lugar de a través la tubería de revestimiento 30. En tales formas de realización, el método comprende hacer circular la composición cementosa 14 hacia abajo a través del anillo de pozo 32 y de vuelta hacia arriba a través del interior de la tubería de revestimiento 30.

[0045] En formas de realización, la composición cementosa 14 desplaza otros fluidos 36, tales como fluidos de perforación y/o fluidos espaciadores, que pueden estar presentes en el interior de la tubería de revestimiento 30 y/o el anillo de pozo 32. Al menos una porción de los fluidos 36 desplazados puede salir del anillo de pozo 32 a través de una línea de flujo y depositarse, por ejemplo, en uno o más pozos de retención (por ejemplo, un pozo de lodo 240 en la Figura 2). Se puede introducir un tapón inferior 44 en el pozo 22 antes de la composición cementosa 14, por ejemplo, para separar la composición cementosa 14 de los fluidos 36 que puedan estar dentro de la tubería de revestimiento 30 antes de la cementación. Después de que el tapón inferior 44 alcanza el collar de acoplamiento 46, se puede romper un diafragma u otro dispositivo adecuado para permitir que la composición cementosa 14 pase a través del tapón inferior 44. En la Figura 3, el tapón inferior 44 se muestra en el collar de acoplamiento 46. En la forma de realización ilustrada, se puede introducir un tapón superior 48 en el pozo 22 detrás de la composición cementosa 14. El tapón superior 48 puede separar la composición cementosa 14 de un fluido de desplazamiento 50 y también empujar la composición cementosa 14 a través del tapón inferior 44.

[0046] En formas de realización, el método divulgado en la presente comprende además hacer circular la composición cementosa hacia abajo a través de un conducto (por ejemplo, tubería de revestimiento) y de vuelta hacia arriba a través de un espacio anular (también denominado anillo o anillo de pozo) entre una pared exterior del conducto y una pared del pozo. En algunas otras formas de realización, el método divulgado en la presente comprende además hacer circular la composición cementosa hacia abajo a través de un espacio anular entre una pared exterior de un conducto y una pared del pozo y de vuelta hacia arriba a través del conducto. El método puede comprender además permitir que al menos una porción de la composición cementosa fragüe.

[0047] En la presente se divulga un método de mantenimiento de un pozo que penetra una formación subterránea. El método puede comprender colocar una composición cementosa del tipo divulgado en la presente en el pozo y permitir que al menos una porción de la composición cementosa fragüe. En la presente también se divulga un método de mantenimiento de un pozo con un conducto (por ejemplo, tubería de revestimiento, tubería de producción, tubular u otro medio de transporte mecánico, etc.) dispuesto allí para formar un espacio anular entre una pared del

pozo y una superficie exterior del conducto. En formas de realización, el método comprende colocar una composición cementosa del tipo divulgado en la presente en al menos una porción del espacio anular y permitir que al menos una porción de la composición cementosa fragüe.

[0048] En el método divulgado en la presente, la colocación de una composición cementosa en al menos una porción del espacio anular puede ser en diferentes direcciones. En algunas formas de realización, colocar la composición cementosa comprende hacer circular la composición cementosa hacia abajo a través del conducto y de vuelta hacia arriba a través del espacio anular. En algunas otras formas de realización, colocar la composición cementosa comprende hacer circular la composición cementosa hacia abajo a través del espacio anular y de vuelta hacia arriba a través del conducto. En formas de realización, el conducto comprende una tubería de revestimiento.

[0049] Se pueden obtener diversos beneficios al utilizar los métodos y las composiciones divulgados en la presente. Al incorporar en la composición cementosa una pequeña cantidad (de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 25,0 % en peso, como se divulga en la presente) de cemento Portland, se puede reducir la huella de carbono de la composición cementosa. La pequeña cantidad de cemento Portland puede iniciar la reacción puzolánica y, al mismo tiempo, retardar el tiempo de fraguado de la composición cementosa.

EJEMPLOS

[0050] Ya descritas las formas de realización en términos generales, los siguientes ejemplos se proporcionan como formas de realización particulares de la divulgación y para demostrar la práctica y las ventajas de esta. Se entiende que los ejemplos se proporcionan a modo de ilustración y no pretenden limitar la memoria descriptiva o las reivindicaciones de ninguna manera.

EJEMPLO 1

[0051] Se formularon tres composiciones de cemento con la misma carga de aditivos y concentraciones crecientes de cemento Portland: 4 % en volumen, 8 % en volumen y 12 % en volumen, respectivamente, en función del volumen total de la mezcla de cemento. Cada composición de cemento se preparó de acuerdo con las especificaciones API. La composición de las tres composiciones de cemento se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición de las composiciones de cemento				
Material	Unidades	Diseño de 4 % de Portland	Diseño de 8 % de Portland	Diseño de 12 % de Portland
Mezcla a granel				
Cemento Portland	% en volumen	4	8	12
Puzolana	% en volumen	96	92	88
Aditivos				
Aditivo de pérdida	% bwob	0,21	0,21	0,21

de fluido				
Retardador de cemento	% bwob	0,4	0,4	0,4
Auxiliar de suspensión	% bwob	0,08	0,08	0,08
Acelerador	% bwob	2,7	2,7	2,7
Agua	gal/saco	5,2	5,2	4,7
Densidad de lechada	ppg	13,2	13,2	13,2

[0052] Cada composición de cemento se cargó en un analizador de cemento ultrasónico (UCA) para medir el desarrollo de la resistencia a la compresión y en un consistómetro para medir el tiempo de espesamiento. Las condiciones de la prueba y los resultados se muestran en la Tabla 2 y la Figura 1.

Tabla 2: Resumen de las condiciones de la prueba y los resultados para las composiciones de cemento						
Composición de cemento	Densidad de lechada (ppg)	BHST (°F)	BHCT (°F)	Tiempo de espesamiento hasta 70 Bc (hh:mm)	UCA, tiempo hasta alcanzar 50 psi (h)	Resistencia a la compresión final (psi)
Diseño de 4 % de Portland	13,2	160	160	~2:00	5,67	201
Diseño de 8 % de Portland	13,2	160	160	3:05	9,55	826
Diseño de 12 % de Portland	13,2	160	160	6:44	17,21	1298

[0053] Como se muestra en la Tabla 2, tanto el tiempo de espesamiento como el tiempo hasta alcanzar 50 psi aumentan con la concentración creciente de cemento Portland, que es un resultado inesperado. La resistencia a la compresión final (UCS) aumenta a medida que aumenta la concentración de cemento Portland. Utilizar estas propiedades de las composiciones de cemento del tipo divulgado en la presente permitirá utilizar cemento Portland como la fuente alcalina para iniciar y sostener la reacción puzolánica (como se muestra a través de UCS) y como un agente de control de fraguado (como demostraron los resultados del tiempo de fraguado y el tiempo de espesamiento).

EJEMPLO 2

[0054] El cemento Portland es uno de los materiales con factor más alto de emisión de carbono con un valor de alrededor de 950 kg de CO₂/tonelada de material. Por lo tanto, al reducir el cemento Portland en una lechada de cemento se puede reducir la

huella de carbono de la lechada de cemento. Las composiciones cementosas del tipo divulgado en la presente han reducido las huellas de carbono en comparación con las lechadas de cemento convencionales, como se muestra en la Tabla 3 a continuación. La huella de carbono está en una unidad de CO₂ equivalente por barril de la composición cementosa (kg/bbl) calculada mediante el uso de la Ecuación (1) con datos del Inventario de Carbón y Energía (ICE), versión 2.0 (G. Hammond y C. Jones, 2011).

Tabla 3: Formulación de las composiciones de cemento						
Material	Unidades	Diseño de lechada convencional	Diseño de Portland reducido (convencional)	Diseño de 4 % de Portland	Diseño de 8 % de Portland	Diseño de 12 % de Portland
Mezcla a granel						
Cemento Portland	% en volumen (de la mezcla a granel)	100	45	4	8	12
Puzolana	% en volumen (de la mezcla a granel)	-	55	96	92	88
Aditivos						
Aditivo de pérdida de fluido	% bwob	0,30	0,30	0,21	0,21	0,21
Retardador de cemento	% bwob	0,25	0,25	0,4	0,4	0,4
Auxiliar de suspensión	% bwob	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08
Acelerador	% bwob	1,0	1,0	2,7	2,7	2,7
Agua	gal/saco			5,2	5,2	4,7
Densidad de lechada	ppg	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2
Huella de carbono						
	CO ₂ e[kg/bbl]	130,9	76,2	16,1	23,9	31,2

DIVULGACIÓN ADICIONAL

[0055] Lo siguiente se proporciona como divulgación adicional para las combinaciones de características y formas de realización de la presente divulgación.

[0056] Una primera forma de realización, que es un método de mantenimiento de un pozo que penetra una formación subterránea, que comprende: colocar una composición cementosa en el pozo, en donde la composición cementosa comprende una mezcla de cemento y agua, en donde la mezcla de cemento comprende cemento Portland y puzolana, en donde el cemento Portland está presente en una cantidad de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 25,0 % en peso en función del peso total de la mezcla de cemento.

[0057] Una segunda forma de realización, que es el método de acuerdo con la primera forma de realización, en donde la puzolana comprende ceniza volante, vidrio natural, vidrio volcánico, roca volcánica, ceniza de desechos agrícolas, ceniza de desechos, escoria molida, humo de sílice, tierra de diatomeas, metacaolín, zeolita, arcillas calcinadas, esquisto, pumicita, mata, polvo de horno de cemento, polvo de granito, arena de sílice, microesferas de vidrio, cenoesferas, un esquisto vitrificado, un subproducto puzolánico molido o combinaciones de estos.

[0058] Una tercera forma de realización, que es el método de acuerdo con la

primera o la segunda forma de realización, en donde la puzolana está presente en la mezcla de cemento en una cantidad de alrededor de 75,0 % en peso a alrededor de 99,99 % en peso, en función del peso total de la mezcla de cemento.

[0059] Una cuarta forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a tercera, en donde la mezcla de cemento comprende además cemento de yeso, cemento de esquisto, cemento de ácido/base, cemento de fosfato, cemento de alto contenido de alúmina, cemento de escoria, cemento de sílice, cemento altamente alcalino, cemento de magnesio, otros materiales fraguables o combinaciones de estos.

[0060] Una quinta forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a cuarta, en donde la mezcla de cemento está presente en la composición cementosa en una cantidad de alrededor de 0,001 % en peso a alrededor de 85,0 % en peso en función del peso total de la composición cementosa.

[0061] Una sexta forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a quinta, en donde el agua comprende agua dulce, agua superficial, agua subterránea, agua producida, agua salada, agua de mar, salmuera o combinaciones de estas.

[0062] Una séptima forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a sexta, en donde el agua está presente en la composición cementosa en una cantidad de alrededor de 20 % bwob a alrededor de 200 % bwob en función del peso total de la mezcla de cemento.

[0063] Una octava forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a séptima, en donde la composición cementosa comprende además uno o más aditivos.

[0064] Una novena forma de realización, que es el método de acuerdo con la octava forma de realización, en donde el uno o más aditivos comprenden agentes densificantes, retardadores, aceleradores, activadores, aditivos de control de gas, aditivos ligeros, aditivos generadores de gas, aditivos que mejoran las propiedades mecánicas, materiales de pérdida de circulación, aditivos de control de filtración, aditivos de control de pérdida de fluido, agentes antiespumantes, agentes espumantes, modificadores del tiempo de transición, dispersantes, aditivos tixotrópicos, agentes de suspensión o combinaciones de estos.

[0065] Una décima forma de realización, que es el método de acuerdo con la octava o la novena forma de realización, en donde el uno o más aditivos están presentes en la composición cementosa en una cantidad de alrededor de 0,05 % bwob a alrededor de 50 % bwob en función del peso total de la mezcla de cemento.

[0066] Una decimoprimera forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a décima, en donde un tiempo de espesamiento de la composición cementosa aumenta a medida que aumenta la cantidad del cemento Portland.

[0067] Una decimosegunda forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a decimoprimera, en donde la composición cementosa tiene un tiempo de espesamiento hasta alcanzar alrededor de 70 unidades de consistencia Bearden (Bc) en un rango de alrededor de 2,0

horas a alrededor de 20,0 horas a alrededor de 160 °F, cuando se mide de acuerdo con el estándar de prueba API-RP-10B-2.

[0068] Una decimotercera forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a decimosegunda, en donde un tiempo hasta alcanzar 50 psi de resistencia a la compresión de la composición cementosa aumenta a medida que aumenta la cantidad del cemento Portland, en donde el tiempo hasta alcanzar 50 psi de resistencia a la compresión se mide en una prueba de analizador de cemento ultrasónico (UCA) de acuerdo con el estándar de prueba API-RP-10B-2.

[0069] Una decimocuarta forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a decimotercera, en donde la composición cementosa tiene un tiempo hasta alcanzar 50 psi de resistencia a la compresión en un rango de alrededor de 2,0 horas a alrededor de 20,0 horas a alrededor de 160 °F en una prueba de UCA, cuando se mide de acuerdo con el estándar de prueba API-RP-10B-2.

[0070] Una decimoquinta forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a decimocuarta, en donde la composición cementosa tiene una resistencia a la compresión según UCA en un rango de alrededor de 50,0 psi a alrededor de 10.000,0 psi a alrededor de 160 °F entre alrededor de 24 horas y alrededor de 48 horas en una prueba de UCA, cuando se mide de acuerdo con el estándar de prueba API-RP-10B-2.

[0071] Una decimosexta forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a decimoquinta, en donde la composición cementosa tiene una viscosidad de alrededor de 3,0 cP a alrededor de 2500,0 cP.

[0072] Una decimoséptima forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a decimosexta, en donde la composición cementosa tiene una densidad de alrededor de 4,0 lb/gal a alrededor de 25,0 lb/gal.

[0073] Una decimoctava forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a decimoséptima, en donde la composición cementosa tiene una huella de carbono igual o menor de alrededor de 150,0 kilogramos de CO₂ equivalente por barril de la composición cementosa (kg/bbl).

[0074] Una decimonovena forma de realización, que es un método para preparar una composición cementosa, que comprende: mezclar componentes de la composición cementosa mediante el uso de un equipo de mezcla, en donde la composición cementosa comprende una mezcla de cemento y agua, en donde la mezcla de cemento comprende cemento Portland y puzolana, en donde el cemento Portland está presente en una cantidad de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 25,0 % en peso en función del peso total de la mezcla de cemento.

[0075] Una vigésima forma de realización, que es el método de acuerdo con la decimonovena forma de realización, que comprende además introducir la composición cementosa en una formación subterránea y permitir que al menos una

porción de la composición cementosa fragüe.

[0076] Una vigesimoprimera forma de realización, que es el método de acuerdo con la vigésima forma de realización, en donde para introducir la composición cementosa en la formación subterránea se utiliza una o más bombas.

[0077] Una vigesimosegunda forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a decimoctava, que comprende además hacer circular la composición cementosa hacia abajo a través de un conducto y de vuelta hacia arriba a través de un espacio anular entre una pared exterior del conducto y una pared del pozo.

[0078] Una vigesimotercera forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a decimoctava, que comprende además hacer circular la composición cementosa hacia abajo a través de un espacio anular entre una pared exterior de un conducto y una pared del pozo y de vuelta hacia arriba a través del conducto.

[0079] Una vigesimocuarta forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización primera a decimoctava, vigesimosegunda y vigesimotercera, que comprende además permitir que al menos una porción de la composición cementosa fragüe.

[0080] Una vigesimoquinta forma de realización, que es un método de mantenimiento de un pozo que penetra una formación subterránea, que comprende: colocar una composición cementosa en el pozo, en donde la composición cementosa comprende una mezcla de cemento y agua, en donde la mezcla de cemento comprende cemento Portland y puzolana, en donde el cemento Portland está presente en una cantidad de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 25,0 % en peso en función del peso total de la mezcla de cemento; y permitir que al menos una porción de la composición cementosa fragüe.

[0081] Una vigesimosexta forma de realización, que es un método de mantenimiento de un pozo con un conducto dispuesto en este para formar un espacio anular entre una pared del pozo y una superficie exterior del conducto, que comprende: colocar una composición cementosa en al menos una porción del espacio anular, en donde la composición cementosa comprende una mezcla de cemento y agua, en donde la mezcla de cemento comprende cemento Portland y puzolana, en donde el cemento Portland está presente en una cantidad de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 25,0 % en peso en función del peso total de la mezcla de cemento; y permitir que al menos una porción de la composición cementosa fragüe.

[0082] Una vigesimoséptima forma de realización, que es el método de acuerdo con la vigesimosexta forma de realización, en donde colocar la composición cementosa en al menos una porción del espacio anular comprende: hacer circular la composición cementosa hacia abajo a través del conducto y de vuelta hacia arriba a través del espacio anular.

[0083] Una vigesimooctava forma de realización, que es el método de acuerdo con la vigesimosexta forma de realización, en donde colocar la composición cementosa en al menos una porción del espacio anular comprende: hacer circular la composición

cementosa hacia abajo a través del espacio anular y de vuelta hacia arriba a través del conducto.

[0084] Una vigesimonovena forma de realización, que es el método de acuerdo con cualquiera de las formas de realización vigesimosexta a vigesimoctava, en donde el conducto comprende una tubería de revestimiento.

[0085] Una trigésima forma de realización, que es un método para reducir una huella de carbono de una operación de mantenimiento de pozo, que comprende: colocar una composición cementosa que comprende cemento Portland y puzolana en el pozo, en donde el cemento Portland está presente en una cantidad de igual o mayor de alrededor de 0,01 % en peso a igual o menor de alrededor de 25,0 % en peso en función del peso total de la mezcla de cemento y en donde la composición cementosa tiene una huella de carbono igual o menor de alrededor de 150,0 kilogramos de CO₂ equivalente por barril de la composición cementosa (kg/bbl).

[0086] Una trigésima primera forma de realización, que es el método de acuerdo con la trigésima forma de realización, en donde la composición cementosa tiene un tiempo de espesamiento hasta alcanzar alrededor de 70 unidades de consistencia Bearden (Bc) en un rango de alrededor de 2,0 horas a alrededor de 20,0 horas a alrededor de 160 °F, cuando se mide de acuerdo con el estándar de prueba API-RP-10B-2.

[0087] Una trigésima segunda forma de realización, que es el método de acuerdo con la trigésima forma de realización, en donde, cuando es igual o menor de alrededor de 25 % en peso de cemento Portland, la resistencia a la compresión y el tiempo de espesamiento aumentan con cantidades crecientes de cemento Portland y cuando es mayor de alrededor de 25 % en peso de cemento Portland, la resistencia a la compresión aumenta con cantidades crecientes de cemento Portland y el tiempo de espesamiento disminuye con cantidades crecientes de cemento Portland.

[0088] Una trigésima tercera forma de realización, que es el método de acuerdo con la primera forma de realización, en donde un gráfico de la resistencia a la compresión de la composición cementosa aumenta monótonamente como una función del cemento Portland en cantidades de cemento Portland que varían de alrededor de 1 % en peso a alrededor de 99 % en peso.

[0089] Una trigésima cuarta forma de realización, que es el método de acuerdo con la trigésima tercera forma de realización, en donde un gráfico del tiempo de espesamiento como una función del cemento Portland aumenta monótonamente a medida que aumenta la cantidad de cemento Portland en un rango de cemento Portland de igual o menor de alrededor de 25 % en peso y el tiempo de espesamiento disminuye a medida que aumentan las cantidades de cemento Portland a mayor de alrededor de 25 % en peso.

[0090] Si bien las formas de realización de la divulgación se han demostrado y descrito, las personas del oficio de nivel medio pueden realizar modificaciones a estas sin desviarse del espíritu y las enseñanzas de la divulgación. Las formas de realización descritas en la presente son solo de ejemplo y no se pretende que sean limitativas. Son posibles muchas variaciones y modificaciones de la divulgación divulgadas en la presente y están dentro del alcance de la divulgación. Cuando se

indican expresamente limitaciones o rangos numéricos, debe entenderse que tales limitaciones o rangos expresados incluyen limitaciones o rangos iterativos de magnitud semejante que están dentro de las limitaciones o rangos indicados expresamente (por ejemplo, de alrededor de 1 a alrededor de 10 incluye 2, 3, 4, etc.; mayor de 0,10 incluye 0,11, 0,12, 0,13, etc.). Por ejemplo, siempre que se divulgue un rango numérico con un límite inferior, R_L , y un límite superior, R_U , se divulga específicamente cualquier número incluido dentro del rango. En particular, se divulgan específicamente los siguientes números dentro del rango: $R = R_L + k * (R_U - R_L)$, en donde k es una variable en el rango de 1 por ciento a 100 por ciento con un incremento de 1 por ciento, es decir, k es 1 por ciento, 2 por ciento, 3 por ciento, 4 por ciento, 5 por ciento, ..., 50 por ciento, 51 por ciento, 52 por ciento, ..., 95 por ciento, 96 por ciento, 97 por ciento, 98 por ciento, 99 por ciento o 100 por ciento. Además, cualquier rango numérico definido por dos números R , como se definió anteriormente, también se divulga específicamente. Cuando una característica se describe como "opcional", se divulgan tanto las formas de realización con esta característica como las formas de realización sin esta característica. De manera similar, la presente divulgación contempla formas de realización en las que se requiere esta característica y formas de realización en las que esta característica se excluye específicamente. Se pretende que ambas alternativas se encuentren dentro del alcance de la reivindicación. Debe entenderse que el uso de términos más amplios como comprende, incluye, que tiene, etc. brinda apoyo a expresiones más limitadas como que consiste en, que consiste esencialmente en, comprendido sustancialmente por, etc.

[0091] En consecuencia, el alcance de la protección no está limitado por la descripción establecida anteriormente, sino que solo está limitado por las reivindicaciones a continuación, en donde tal alcance incluye todos los equivalentes del objeto de las reivindicaciones. Todas y cada una de las reivindicaciones se incorporan a la memoria descriptiva como una forma de realización de la presente divulgación. Por lo tanto, las reivindicaciones son una descripción adicional y son un agregado a las formas de realización de la presente divulgación.