

MÉTODO DE DISEÑO DE LECHADAS MEZCLABLES

ANTECEDENTES

[0001] En la cementación de pozos, como la construcción de pozos y la cementación secundaria, se utilizan comúnmente lechadas de cemento. Las lechadas de cemento se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones subterráneas. Por ejemplo, en la construcción de pozos subterráneos, una sarta de tuberías (por ejemplo, tuberías de revestimiento, tuberías cortas de revestimiento, tuberías expandibles, etc.) puede introducirse en un pozo y cementarse en su lugar. El proceso de cementación de la tubería en su lugar se conoce comúnmente como “cementación primaria”. En un método típico de cementación primaria, se puede bombear una lechada de cemento a un espacio anular entre las paredes del pozo y la superficie exterior de la sarta de tuberías dispuesta en este. La lechada de cemento puede fraguarse en el espacio anular, formando así un recubrimiento anular de cemento endurecido sustancialmente impermeable (es decir, un recubrimiento de cemento) que puede soportar y colocar la sarta de tubería en el pozo y puede unir la superficie exterior de la sarta de tubería a la formación subterránea. Entre otras cosas, el recubrimiento de cemento que rodea la sarta de tuberías funciona para evitar la migración de fluidos en el espacio anular, así como también, para proteger la sarta de tuberías de la corrosión. Las lechadas de cemento también se pueden usar en métodos de cementación secundaria, por ejemplo, para sellar grietas u orificios en sartas de tuberías o recubrimientos de cemento, para sellar zonas de formación o fracturas altamente permeables, para colocar un tapón de cemento y similares.

[0002] Un desafío particular en la cementación de pozos es el desarrollo de propiedades mecánicas satisfactorias en una lechada de cemento dentro de un período de tiempo razonable después de la colocación en la formación subterránea. A menudo, se prueban varias lechadas de cemento con diferentes aditivos para ver si cumplen con los requisitos de ingeniería de materiales para un pozo en particular. El proceso de selección de los componentes de la lechada de cemento generalmente se realiza mediante un enfoque de mejor conjetura mediante la utilización de lechadas anteriores y modificándolas hasta que se alcanza una solución satisfactoria. El proceso puede llevar mucho tiempo y la lechada resultante puede ser relativamente compleja. Además, los componentes de cemento disponibles en cualquier región particular pueden variar en lechada de los de otra región, lo que complica aún más el

proceso de selección de una lechada correcta.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0003] Estos dibujos ilustran ciertos aspectos de algunas de las formas de realización de la presente divulgación y no deben usarse para limitar o definir la divulgación.

[0004] La FIG. 1 es una ilustración esquemática de un sistema de ejemplo para la preparación e introducción de una lechada de cemento en un pozo.

[0005] La FIG. 2 es una ilustración esquemática de un equipo de superficie de ejemplo que se puede utilizar en la colocación de una lechada de cemento en un pozo.

[0006] La FIG. 3 es una ilustración esquemática de un ejemplo en donde se usa una lechada de cemento en una aplicación de cementación primaria.

[0007] La FIG. 4 es una ilustración esquemática que muestra la presencia de una pequeña perforación en una tubería de revestimiento y un recubrimiento de cemento en un pozo.

[0008] La FIG. 5 es una ilustración esquemática de un ejemplo en donde se usa una lechada de cemento en una aplicación de cementación secundaria.

[0009] La FIG. 6 es una ilustración esquemática de otro ejemplo en donde se usa una lechada de cemento en una aplicación de cementación secundaria.

[0010] La FIG. 7 es una ilustración esquemática de un ejemplo de un sistema de manejo de información.

[0011] La FIG. 8 ilustra detalles adicionales de un sistema de manejo de información.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0012] La presente divulgación puede referirse generalmente a métodos y sistemas de cementación. En el presente documento se proporcionan métodos para predecir la capacidad de mezcla de las lechadas de cemento. Una lechada de cemento típica puede incluir componentes cementosos sólidos tales como cemento Portland, cenizas volantes, puzolanas y similares, así como aditivos de cemento y agua, por ejemplo.

[0013] La necesidad de agua se define como la cantidad mínima de agua requerida para hidratar una cantidad de material sólido particulado. Por tanto, una lechada de cemento que incluye materiales sólidos particulados y agua tiene una cantidad mínima de agua por unidad de masa de los materiales sólidos particulados en la que los materiales sólidos particulados y el agua pueden mezclarse para formar la lechada de cemento. Como se usa en este documento, material sólido particulado o material particulado significa cualquier componente de una lechada de cemento que no sea agua. Cuando la cantidad mínima de agua está presente, la lechada de cemento puede denominarse “mezclable”. Además, dado que los componentes secos de la

lechada de cemento son generalmente más densos que el agua, una lechada de cemento mezclada con la cantidad mínima de agua por unidad de masa de componentes secos suele tener la densidad más alta a la que se puede preparar la lechada de cemento.

[0014] Se puede preparar una lechada de cemento con agua que exceda la necesidad de agua hasta el punto en que la lechada de cemento se vuelva inestable, también denominado límite superior de estabilidad. Una lechada de cemento puede volverse inestable cuando el agua está presente en una cantidad que excede las capacidades máximas de sorción de los componentes secos de la lechada de cemento. Las lechadas de cemento inestables se pueden caracterizar por la separación de fases del agua de la lechada de cemento a granel. El límite superior de estabilidad también puede ser la densidad estable mínima a la que se puede mezclar la lechada de cemento, ya que el agua es generalmente menos densa que los componentes secos de la lechada de cemento.

[0015] El término capacidad de mezcla o, alternativamente, mezclable, se refiere a la capacidad de los componentes que comprenden una lechada de cemento para mezclarse para formar la lechada de cemento y puede estar asociado con la necesidad mínima de agua de los componentes secos. El término estabilidad o, alternativamente, estable, se refiere a la capacidad de los componentes que comprenden la lechada de cemento de permanecer en una lechada una vez mezclados y puede estar asociado con el límite superior de estabilidad. El Instituto Americano del Petróleo (API) publica los estándares de las pautas de la industria para determinar si una lechada de cemento es mezclable y estable. Las directrices del API permiten a un experto en la técnica determinar si una lechada de cemento es mezclable y estable mediante la realización de pruebas de laboratorio estandarizadas en la lechada de cemento.

[0016] En algunas pruebas de capacidad de mezcla, el API recomienda especificaciones y prácticas para mezclar un volumen específico de lechada de cemento puro (es decir, una lechada sin aditivos de dispersión o extensión de agua) a ciertas velocidades durante determinados períodos de tiempo para determinar si una lechada es mezclable. A continuación, se pueden incorporar aditivos a la lechada de cemento y la lechada de cemento se puede volver a ensayar, por ejemplo. Algunos ensayos particulares de lechada de cemento para determinar la capacidad de mezcla se pueden encontrar en API RP 10B publicado el 1 de diciembre de 1997. Un experto en la técnica podría realizar una prueba de capacidad de mezcla en una lechada de

cemento y determinar si la lechada de cemento se puede mezclar de acuerdo con API RP 10B. En algunos ensayos de estabilidad, el API recomienda especificaciones y prácticas para mezclar un volumen específico de lechada de cemento puro (es decir, una lechada sin aditivos de dispersión o extensión de agua) a ciertas velocidades durante ciertos períodos de tiempo y luego colocar la lechada de cemento puro en un recipiente de volumen especificado. Se puede observar la lechada de cemento y se puede medir una medida de agua que se separa en fase. Algunas variantes de los ensayos de estabilidad pueden incluir realizar los ensayos a temperaturas elevadas o colocar el contenedor en ángulos específicos. A continuación, se pueden incorporar aditivos a la lechada de cemento y la lechada de cemento se puede volver a ensayar, por ejemplo. Algunos ensayos particulares de lechada de cemento para determinar la estabilidad se pueden encontrar en API RP 10B publicado el 1 de diciembre de 1997. Un experto en la técnica podría realizar un ensayo de capacidad de mezcla o una prueba de estabilidad en una lechada de cemento y determinar si la lechada de cemento es mezclable y estable de acuerdo con API RP 10B.

[0017] Una lechada de cemento preparada con muy poca o demasiada agua puede no fraguar para formar una masa endurecida con propiedades físicas satisfactorias. Si se coloca en un pozo subterráneo, dicho cemento puede fallar con el tiempo y provocar la formación de grietas o microanillos entre la tubería de revestimiento y el recubrimiento de cemento o entre el recubrimiento de cemento y la formación subterránea. Las grietas o microanillos pueden permitir la invasión de fluidos en estos, lo que puede requerir reparación. En casos extremos, el cemento puede fallar de manera que se pierda el control del pozo. En el caso de exceso de agua y separación de agua libre, la separación de fluidos puede ocurrir en la parte superior de la columna de cemento o en cavidades en pozos desviados (por ejemplo, horizontales). En el caso de pozos horizontales largos no convencionales, tales como, entre otros, longitudes que excedan los 1000 pies (304 m), tales lechadas de cemento pueden volverse inestables dando como resultado la separación de los componentes de la lechada de cemento, lo que resulta en una mezcla no homogénea caracterizada por agua libre y una distribución desigual del contenido particulado. La distribución desigual de las partículas puede provocar que las partículas se fragüen y, por lo tanto, se obstruya potencialmente la mayor parte o la totalidad de la sección transversal anular, lo que da como resultado una presión de bombeo excesiva en la superficie. Esto finalmente da como resultado que no se pueda completar la colocación de la lechada de cemento y, por lo tanto, se dejan grandes porciones del espacio anular objetivo sin un aislamiento

adecuado. Estas cavidades pueden contribuir a la fuga de gas anular y otros problemas de flujo anular. Además, grandes cantidades de agua libre en un pozo desviado pueden conducir a un canal de comunicación en el lado alto del pozo. Estos canales pueden causar entradas de gas o flujos cruzados indeseables hacia el pozo. Si se permite que estas condiciones persistan, puede producirse una acumulación de presión anular que resulte en una condición de funcionamiento que puede requerir intervención. Además, las cavidades en el recubrimiento de cemento pueden presentar un punto de mayor corrosión de la tubería de revestimiento que puede conducir a agujeros en la tubería de revestimiento, colapso de la tubería de revestimiento, pérdida de control del pozo y/o abandono del pozo.

[0018] Un parámetro de diseño para una lechada de cemento puede ser la densidad de la lechada. Es posible que se requiera una densidad de lechada correcta para garantizar que el control hidrostático se mantenga durante toda la operación de cementación. Un método común para ajustar la densidad de la lechada de cemento puede ser mezclar la lechada de cemento con relativamente más o relativamente menos agua. El aumento del contenido de agua de una lechada puede reducir la densidad de la lechada de cemento, mientras que la reducción del contenido de agua de una lechada de cemento puede aumentar la densidad de la lechada de cemento. Sin embargo, como se describió anteriormente, el contenido de agua puede determinar si la lechada de cemento es mezclable y si la lechada de cemento fraguará con las propiedades físicas requeridas.

[0019] Por estas y otras razones, la capacidad de mezcla de una lechada de cemento puede ser un problema al diseñar una lechada de cemento de pozo. Se pueden agregar aditivos de cemento como dispersantes, aditivos de agua libre y aditivos de suspensión a la lechada de cemento para aumentar el rango de capacidad de mezcla de la lechada de cemento. Los dispersantes pueden permitir que la lechada de cemento se pueda mezclar con relativamente menos agua, mientras que los aditivos de agua libre y los aditivos de suspensión pueden permitir que las lechadas de cemento se mezclen con relativamente más agua. Los aditivos de agua libre pueden incluir polímeros absorbentes de agua naturales o sintéticos que pueden absorber y/o captar agua. Sin embargo, estos aditivos pueden agregar complejidad a las lechadas de cemento y complejidades en la preparación de la lechada de cemento en la ubicación del pozo. Además, puede haber propiedades indeseables asociadas con algunos aditivos, como propiedades retardantes que evitan que el cemento fragüe y alcance una resistencia a la compresión óptima.

[0020] Los métodos convencionales para estimar si una lechada de cemento particular es mezclable pueden incluir un método de ensayo y error en un laboratorio utilizando los métodos publicados por el API, por ejemplo. Un método puede incluir mezclar una primera lechada de cemento y observar si la lechada es mezclable. Pueden prepararse varias lechadas más ajustando la lechada de la primera lechada de cemento para generar una pluralidad de lechadas con diferentes lechadas, cada una de las cuales se prueba para la capacidad de mezcla. El método de ensayo y error de prueba de capacidad de mezcla puede resultar en que se ensayen muchas lechadas antes de encontrar una lechada que se pueda mezclar. Además, el método de ensayo y error puede dar como resultado una lechada que se puede mezclar y tiene las propiedades mecánicas deseadas, pero puede contener grandes cantidades de aditivos que pueden aumentar la complejidad de la mezcla y aumentar la complejidad de la lechada. Puede haber varios grados de capacidad de mezcla tales como, por ejemplo, no mezclable, mezclable o parcialmente mezclable. Una lechada que no se puede mezclar puede ser una lechada en la que no hay suficiente agua presente para humedecer todos los componentes de la lechada. Una lechada mezclable puede ser una lechada donde no hay suficiente agua presente para humedecer todos los componentes de la lechada. Puede haber una lechada parcialmente mezclable donde solo se humedece una parte de los componentes de la lechada.

[0021] La capacidad de mezcla de una lechada de cemento puede ser una función de la necesidad de agua de cada componente de la lechada de cemento. La necesidad de agua de cada material puede definirse como la cantidad de agua de mezclado que es necesario añadir a un material sólido en polvo para formar una lechada de una consistencia determinada. La consistencia puede variar para una aplicación particular. Esta necesidad de agua de un material es una propiedad intrínseca y puede depender de varios factores, entre los que se incluyen el tamaño y la distribución de las partículas, la forma, la porosidad, la carga superficial y la gravedad específica del material. Esta necesidad de agua de un material puede distinguirse de la necesidad de agua de una lechada de cemento, que es puramente la cantidad de agua que se necesita mezclar con la unidad de masa de cemento para alcanzar una determinada densidad de lechada objetivo. La siguiente técnica de ejemplo para determinar la necesidad de agua mantiene la consistencia y cantidad de agua constantes mientras varía la cantidad de material sólido. Sin embargo, también pueden aplicarse técnicas que varíen la cantidad de agua, la consistencia y/o la cantidad de material sólido en cualquier combinación. La siguiente técnica también estima la consistencia

especificada en función del tamaño del vórtice en la superficie de la mezcla en el mezclador. La necesidad de agua para un componente de cemento en particular puede determinarse mediante un proceso que incluye a) preparar una batidora (por ejemplo, una batidora Waring®) con una cantidad específica de agua (por ejemplo, de unos 100 gramos a unos 500 gramos), b) agitar el agua a unas rpm especificadas de la batidora (por ejemplo, de 4.000 a 15.000 rpm), c) añadir el sólido en polvo que se está investigando al agua hasta que se obtenga una consistencia especificada, y d) calcular la necesidad de agua en función de la relación entre el agua y los sólidos necesarios para obtener la consistencia deseada. Un ejemplo específico para determinar las necesidades de agua puede incluir, entre otros pasos, 1) preparar una batidora (por ejemplo, una batidora Waring®) con una cantidad especificada de agua (por ejemplo, de unos 100 gramos a unos 500 gramos o unos 200 gramos en un ejemplo); 2) agitar el agua a unas rpm especificadas de la batidora (por ejemplo, de unas 4000 a unas 15.000 rpm o unas 12.000 rpm en un ejemplo); 3) añadir una cantidad especificada (por ejemplo, aproximadamente 1 gramo a aproximadamente 1000 gramos o aproximadamente 400 gramos en un ejemplo) del componente de cemento al agua; 4) observar la mezcla para determinar si se obtiene una consistencia especificada, por ejemplo, el componente de cemento puede considerarse completamente mojado y mezclado si el vórtice formado en la superficie de la mezcla en la batidora es de aproximadamente 0 pulgadas (0 mm) a aproximadamente 2 pulgadas (50 mm) o aproximadamente 0,004 pulgadas (0,1 mm) a aproximadamente 1 pulgada (25 mm); 5) si no se obtiene la consistencia deseada, añadir más componente de cemento hasta que se obtenga la consistencia deseada, por ejemplo, el vórtice formado en la batidora es aproximadamente del tamaño de una moneda de diez centavos; y 6) calcular la necesidad de agua en función de la proporción de agua y componente de cemento para obtener la consistencia deseada. En algunos ejemplos, la consistencia específica puede ser cuando un vórtice en la superficie de la mezcla en la batidora es del tamaño de una moneda de diez centavos estadounidenses o de aproximadamente 0,7 pulgadas (17,9 mm). La Tabla 1 ilustra un ejemplo de las necesidades de agua de algunas muestras expresadas en peso de agua requerida.

[0022] La necesidad de agua puede definirse para cualquier material presente en una lechada de cemento, tales como materiales que se disuelven, así como materiales que no se disuelven. Algunos materiales disolubles pueden solvatarse con agua o mediante reacción química con agua u otras especies químicas presentes en la lechada y después solvatarse. Algunos materiales disolubles comunes pueden incluir

materiales cementosos, aditivos para la pérdida de fluidos, polímeros, gomas y otros componentes de cemento que son bien conocidos en la técnica. Además, los materiales que no se disuelven, como las perlas de plástico, por ejemplo, también pueden presentar una necesidad de agua. La necesidad de agua puede ser una necesidad de agua positiva o una necesidad de agua negativa. En el caso de una necesidad positiva de agua, el material particular requiere que haya agua para hidratar. Un ejemplo de un material con una necesidad positiva de agua es el cemento Portland de clase H. El cemento Portland puro de clase H sin aditivos requiere la adición de agua para convertirse en una lechada de cemento capaz de fraguar para formar una masa endurecida. Los superplastificantes como los dispersantes de éter de policarboxilato pueden tener una necesidad de agua negativa en el sentido de que un dispersante de éter de policarboxilato puede reducir la necesidad de agua que requiere un cemento Portland de clase H para volverse mezclable.

Tabla 1

Nombre del material	Necesidad de agua (%)
Vidrio natural A	60
Vidrio natural B	58
Mezcla de puzolana	28
Vidrio natural C	59
Cal hidratada	131
Silicalita	136
Metacaolín	101
Portland de Clase H	44

[0023] La necesidad de agua en la Tabla 1 se enumera como la necesidad de agua como una masa de agua en comparación con la masa del material. Para el cemento Portland de Clase H, por ejemplo, 1 kg de cemento puede requerir 440 gramos de agua para ser mezclable según la definición de capacidad de mezcla previamente definida. Como se ilustra en la Tabla 1, la necesidad de agua puede variar entre materiales que tienen la misma identidad química. Por ejemplo, el vidrio natural A tiene una necesidad de agua del 60 % en peso, mientras que el vidrio natural B tiene una necesidad de agua del 58 % en peso. La diferencia en la necesidad de agua puede deberse a muchos factores, incluida la mineralogía y el origen del material. Para una determinada composición de cemento seco, la necesidad mínima de agua, o agua requerida para mojar todos los materiales particulados, puede calcularse mediante una combinación lineal de la fracción másica de cada componente y la necesidad de agua de cada componente en la composición de cemento seco por la Ecuación (1). La

composición de cemento seco, los materiales particulados y la mezcla seca pueden referirse a los componentes de una lechada de cemento distintos de los aditivos de cemento y el agua.

$$WR_{Blend} = \sum M_i WR_i \quad (1)$$

en donde WR_{Blend} es la necesidad mínima de agua expresada como masa de agua por unidad de masa de cemento seco requerida para hidratar todas las partículas de la mezcla seca. M_i es la fracción másica o masa del componente i en la composición de cemento y WR_i es la necesidad de agua del componente i en la composición de cemento. WR_{Blend} también se puede expresar en unidades de volumen al convertir la masa en volumen por la densidad del agua.

[0024] En algunos ejemplos, puede haber efectos sinérgicos entre los componentes de la composición de cemento cuando se mezclan en una lechada. Algunos efectos pueden reducir la necesidad de agua de la mezcla, mientras que algunos efectos pueden aumentar la necesidad de agua de la mezcla. Estos efectos de mezcla sinérgicos pueden expresarse mediante una ecuación no lineal como la Ecuación (2).

$$WR_{Blend} = \sum (M_i WR_i)^{B_i} \quad (2)$$

en donde WR_{Blend} es la masa total de agua requerida por unidad de masa de la composición de cemento seco, M_i es la fracción másica o masa del componente i en la composición de cemento, WR_i es la necesidad de agua del componente i en la composición de cemento y B_i es una constante del material para el componente i . La constante del material puede ser una propiedad medida que puede adquirirse mediante análisis de laboratorio. Por ejemplo, se pueden medir las necesidades de agua de materiales individuales y combinaciones de materiales. A continuación, se puede aplicar un esquema de ajuste de curvas, como el análisis multivariado o la regresión por pasos, para encontrar B_i . Como se describió anteriormente, se puede usar agua para ajustar la densidad de una lechada de cemento para cumplir con los requisitos de densidad para una aplicación de cementación en particular. Para una determinada composición y densidad de cemento, la cantidad requerida de agua para lograr la densidad se puede calcular fácilmente a partir de la Ecuación (3).

$$\rho \left(\frac{\text{masa}}{\text{vol}} \right) = \frac{(\text{masa de composición de cemento seco} + \text{masa de agua})}{(\text{volumen de composición de cemento seco} + \text{volumen de agua})} \quad (3)$$

en donde ρ_{slurry} es la densidad de la lechada, W_i masa del componente i en la composición de cemento, v_i es el volumen específico del componente i , ρ_{H_2O} es la densidad del agua y WR_{Slurry} es la masa de agua requerida por unidad de masa de la mezcla de cemento particulado para lograr una densidad de lechada objetivo.

[0025] Alternativamente, la Ecuación (3) se puede expresar en función de una unidad de masa de la mezcla de cemento seco de la siguiente manera:

$$\rho_{slurry} = \frac{1 + WR_{Slurry}}{\sum(1 + M_i v_i) + WR_{slurry}} \quad (4)$$

[0026] En la Ecuación 4, se conocen todas las variables excepto la necesidad de agua de la lechada (WR_{slurry}). En general, para tener una lechada de cemento que sea mezclable, la necesidad mínima de agua de la composición de cemento seco WR_{Blend} calculada por la Ecuación (1) o la Ecuación (2) debe ser menor que la necesidad de agua de la lechada WR_{slurry} calculada a partir de la Ecuación (3). Si no se cumple esta condición, no hay suficiente agua para humedecer las partículas en la lechada y es posible que la lechada no se pueda mezclar. Al igual que con WR_{Blend} , WR_{Slurry} se puede convertir fácilmente en volumen a través de la densidad del agua.

[0027] Como se describió anteriormente, una lechada de cemento preparada con un volumen de agua superior a la necesidad de volumen de agua de la mezcla seca de cemento en particular puede conducir a que se forme una capa de agua, a veces denominada agua libre o fluido libre, sobre la lechada de cemento. Una lechada de cemento en la que se forma una capa de agua libre puede denominarse lechada inestable. Aunque la formación de un fluido libre puede ser generalmente indeseable, cada sección de un pozo a cementar puede tener una cantidad aceptable de formación de fluido libre definida por la regulación, la economía o las especificaciones del cliente, por ejemplo. Por lo tanto, la necesidad máxima de agua (WR_{Max}) generalmente se proporciona como un parámetro de diseño que no necesariamente necesita calcularse para cementar la sección particular del pozo. Por ejemplo, en una tubería de revestimiento conductora o un cemento de tubería de revestimiento de superficie, se puede permitir una cantidad relativamente mayor de fluido libre en comparación con un cemento de tubería de revestimiento horizontal. En algunas aplicaciones, puede que no haya cantidad de agua libre. La necesidad máxima de agua puede ser del orden de aproximadamente 2,5 a aproximadamente 10 veces más que de WR_{Blend} en algunas aplicaciones.

[0028] La relación entre WR_{Slurry} , WR_{Blend} y WR_{Max} se ilustra en la Ecuación (5). WR_{Slurry} debe estar entre la necesidad mínima de agua, WR_{Blend} , y la necesidad máxima de agua, WR_{Max} , para formar una lechada que sea mezclable y estable.

$$WR_{Blend} < WR_{Slurry} < WR_{Max} \quad (5)$$

[0029] Para una composición de cemento seco WR_{Blend} y WR_{Max} dada, se pueden calcular una densidad de lechada estable mínima y una densidad de lechada estable

máxima a partir de la necesidad de agua de los materiales en la composición de cemento seco.

[0030] WR_{Blend} y WR_{Max} pueden calcularse en función de una unidad de masa de composición de cemento seco como en las Ecuaciones 6 y 7.

$$\rho_{min} = \frac{1 + \rho_{H_2O} WR_{Blend}}{\sum (1 * M_i v_i) + WR_{Blend}} \quad (6)$$

$$\rho_{max} = \frac{1 + \rho_{H_2O} WR_{Blend}}{\sum (1 * M_i v_i) + WR_{Max}} \quad (7)$$

[0031] Una vez que se calculan WR_{Slurry} , WR_{Blend} y WR_{Max} , WR_{Slurry} se puede comparar con WR_{Blend} y WR_{Max} y para ver si se puede incluir un dispersante, aditivo de suspensión o aditivo de agua libre en la composición de cemento para formar una lechada mezclable y/o estable. Si WR_{Slurry} es menor que WR_{Blend} , la lechada puede no ser mezclable y se puede incluir un dispersante en la lechada. Si WR_{Slurry} es mayor que WR_{Max} , la lechada puede ser mezclable pero una capa de agua libre puede separarse de la lechada. En formas de realización alternativas, si la lechada de WR_{Slurry} es menor que la de WR_{Blend} , la lechada de cemento puede ajustarse para incluir menos de un componente con una necesidad de agua relativamente mayor, reduciendo así la WR_{Blend} . Si WR_{Slurry} es mayor que WR_{Max} , la lechada de cemento puede ajustarse para incluir más de un componente con una necesidad de agua relativamente mayor, aumentando así WR_{Max} . En formas de realización alternativas, WR_{Slurry} se puede comparar con WR_{Blend} y WR_{Max} por diferencia fraccionaria, diferencia entre WR_{Slurry} , WR_{Blend} y WR_{Max} y/o diferencia absoluta.

[0032] Las lechadas de cemento pueden tener una densidad adecuada para una aplicación particular. Las lechadas de cemento pueden tener una densidad en el rango de aproximadamente 7 libras por galón ("ppg") (840 kg/m³) a aproximadamente 23 ppg (2760 kg/m³). En los ejemplos de espuma, las lechadas de cemento espumado pueden tener una densidad en el rango de aproximadamente 7 ppg a aproximadamente 15 ppg (o incluso menor).

[0033] El agua usada en las lechadas de cemento puede incluir, por ejemplo, agua dulce, agua salada (por ejemplo, agua que contiene una o más sales disueltas en ella), salmuera (por ejemplo, agua salada saturada producida a partir de formaciones subterráneas), agua de mar o combinaciones de estas. En general, el agua puede provenir de cualquier fuente, siempre que no contenga un exceso de compuestos que puedan afectar indeseablemente a otros componentes de la lechada de cemento. El agua se puede incluir en una cantidad suficiente para formar una lechada bombeable. El agua puede incluirse en las lechadas de cemento en el rango de aproximadamente

un 40 % a aproximadamente un 200 % en peso de la composición de cemento ("bwoc"). En algunos ejemplos, el agua puede incluirse en una cantidad en el rango de aproximadamente el 40 % a aproximadamente el 150 % de bwoc.

[0034] Se puede utilizar una variedad de cementos hidráulicos de acuerdo con la presente divulgación, incluidos, entre otros, los que comprenden calcio, aluminio, silicio, oxígeno, hierro y/o azufre, que fragua y endurece por reacción con agua. Los cementos hidráulicos adecuados pueden incluir cementos Portland, yeso y cementos con alto contenido de alúmina, entre otros. Los cementos Portland que son adecuados para su uso en la presente divulgación pueden clasificarse como cementos de Clases A, C, G y H de acuerdo con Instituto Americano del Petróleo, Especificación API para materiales y pruebas para cementos de pozos, Especificación API 10, Quinta Ed., 1 de julio de 1990. Además, en algunos ejemplos, los cementos Portland adecuados pueden clasificarse como ASTM Tipo I, II, III, I/II, III/V y V. Las lechadas de cemento que pueden considerarse "bajo Portland" pueden diseñarse mediante el uso de las técnicas descritas en este documento.

[0035] Cuando esté presente, el cemento hidráulico generalmente puede incluirse en las lechadas de cemento en una cantidad suficiente para proporcionar la resistencia a la compresión y/o densidad deseadas. El cemento hidráulico puede estar presente en las lechadas de cemento en cualquier concentración adecuada, incluso en una cantidad en el rango de aproximadamente 0 % a aproximadamente 99 % bwoc. El cemento hidráulico puede estar presente en una cantidad que incluye cualquiera de y/o que varía entre cualquiera de aproximadamente el 1 %, aproximadamente el 5 %, aproximadamente el 10 %, aproximadamente el 20 %, aproximadamente el 40 %, aproximadamente el 60 %, aproximadamente el 80 % o aproximadamente el 90 % de bwoc. El componente de cemento se puede considerar "bajo Portland" porque el cemento Portland (cuando se usa) puede estar presente en la lechada de cemento en una cantidad de aproximadamente 40 % o menos bwoc y, alternativamente, aproximadamente 10 % o menos. También se pueden diseñar lechadas de cemento que estén libres (o esencialmente libres) de cemento Portland.

[0036] Además del cemento Portland, se pueden usar componentes de cemento adicionales que pueden considerarse solubles en álcali. Un componente de cemento se considera soluble en álcali cuando es al menos parcialmente soluble en una solución acuosa de pH 7,0 o superior. Algunos de los componentes del cemento solubles en álcali pueden incluir un cemento de geopolimérico, que puede incluir una fuente de aluminosilicato, una fuente de silicato metálico y un activador. El cemento de

geopolímero puede reaccionar para formar un geopolímero. Un geopolímero es un polímero inorgánico que forma redes no cristalinas, unidas covalentemente y de largo alcance. Los geopolímeros pueden formarse mediante disolución química y posterior condensación de varios aluminosilicatos y silicatos para formar una red 3D o un polímero mineral tridimensional. El activador puede incluir, entre otras, sales de cloruro de hidróxidos metálicos tales como KCl, CaCl₂, NaCl, carbonatos tales como Na₂CO₃, silicatos tales como silicato de sodio, aluminatos tales como aluminato de sodio e hidróxido de amonio. La fuente de aluminosilicato puede incluir cualquier aluminosilicato adecuado. El aluminosilicato puede ser minerales que comprenden aluminio, silicio y oxígeno, además de contracciones. Hay potencialmente cientos de minerales adecuados que pueden ser una fuente de aluminosilicato ya que pueden incluir minerales de aluminosilicato. Cada fuente de aluminosilicato puede usarse potencialmente en un caso particular si se pueden conocer las propiedades específicas, tales como la composición. Algunos minerales como la andalucita, la cianita y la silimanita son fuentes de aluminosilicato de origen natural que tienen la misma composición, Al₂SiO₅, pero difieren en la estructura cristalina. Cada mineral andalucita, cianita o silimanita puede reaccionar más o menos rápidamente y en diferentes grados a la misma temperatura y presión debido a las diferentes estructuras cristalinas. Otras fuentes de aluminosilicato adecuadas pueden incluir, entre otras, arcillas calcinadas, arcillas parcialmente calcinadas, arcillas caoliníticas, arcillas lateríticas, arcillas ilitas, vidrios naturales, relaves de minas, escoria de alto horno y cenizas volantes de carbón. La fuente de silicato metálico puede incluir cualquier silicato metálico adecuado. Un silicato es un compuesto que contiene un compuesto de silicio aniónico. Algunos ejemplos de un silicato incluyen el anión ortosilicato también conocido como anión tetróxido de silicio, SiO₄⁴⁻ así como hexafluorosilicato [SiF₆]²⁻. Otros silicatos comunes incluyen silicatos cíclicos y monocatenarios que pueden tener la fórmula general [SiO_{2+n}]²ⁿ⁻ y silicatos formadores de láminas ([SiO_{2.5}])_n. Cada ejemplo de silicato puede tener uno o más cationes metálicos asociados con cada molécula de silicato. Algunas fuentes de silicato metálico adecuadas pueden incluir, entre otros, silicato de sodio, silicato de magnesio y silicato de potasio.

[0037] Cuando esté presente, el cemento geopolimérico generalmente se puede incluir en las lechadas de cemento en una cantidad suficiente para proporcionar la resistencia a la compresión y/o densidad deseadas. El cemento de geopolímero puede estar presente en las lechadas de cemento en cualquier concentración adecuada, incluida una cantidad en el rango de aproximadamente el 0 % a aproximadamente el

99 % de bwoc. El cemento de geopolímero puede estar presente en una cantidad que incluye y/o que varía entre cualquiera de aproximadamente el 1 %, aproximadamente el 5 %, aproximadamente el 10 %, aproximadamente el 20 %, aproximadamente el 40 %, aproximadamente el 60 %, aproximadamente el 80 % o aproximadamente el 90 % de bwoc. Los expertos en la técnica, con el beneficio de esta divulgación, podrán seleccionar una cantidad apropiada de cemento de geopolímero para una aplicación particular.

[0038] Los componentes de cemento adicionales que son solubles en álcalis pueden incluir una fuente de sílice. La fuente de sílice puede ser cualquier material adecuado que proporcione sílice a la lechada de cemento. Mediante la inclusión de la fuente de sílice, se puede utilizar un camino diferente para llegar a un producto similar al del cemento Portland. Se puede inducir una reacción puzolánica en la que el ácido silícico (H_4SiO_4) y la portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) reaccionen para formar un producto de cemento (silicato de calcio hidratado). Si otros compuestos, como el aluminato, están presentes en la fuente de sílice, puede ocurrir que reacciones adicionales formen productos de cemento adicionales, como los hidratos de aluminato de calcio. El hidróxido de calcio necesario para la reacción se puede proporcionar a partir de otros componentes del cemento, como el cemento Portland, o se puede agregar por separado a la lechada de cemento. Ejemplos de fuentes de sílice adecuadas pueden incluir cenizas volantes, escoria, humo de sílice, sílice cristalina, harina de sílice, polvo de horno de cemento ("CKD"), vidrios naturales, metacaolín, tierra de diatomeas, zeolita, pizarra y cenizas de desechos agrícolas (por ejemplo, ceniza de cáscara de arroz, ceniza de caña de azúcar, y ceniza de bagazo), entre otros. Algunos ejemplos específicos de la fuente de sílice se describirán con más detalle a continuación. Cuando esté presente, la fuente de sílice generalmente se puede incluir en las lechadas de cemento en una cantidad suficiente para proporcionar la resistencia a la compresión y/o densidad deseada. La fuente de sílice puede estar presente en las lechadas de cemento en cualquier concentración adecuada, incluso en una cantidad en el rango de aproximadamente el 0 % a aproximadamente el 99 % de bwoc. La fuente de sílice puede estar presente en una cantidad que incluye y/o varía entre cualquiera de aproximadamente el 1 %, aproximadamente el 5 %, aproximadamente el 10 %, aproximadamente el 20 %, aproximadamente el 40 %, aproximadamente el 60 %, aproximadamente el 80 % o aproximadamente el 90 % de bwoc. Los expertos en la técnica, con el beneficio de esta divulgación, podrán seleccionar una cantidad apropiada de fuente de sílice para una aplicación particular.

[0039] Un ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir cenizas volantes. Una variedad de cenizas volantes puede ser adecuadas, incluidas las cenizas volantes clasificadas como cenizas volantes de Clase C y Clase F según el Instituto Americano del Petróleo, Especificación API para materiales y pruebas para cementos de pozos, Especificación API 10, Quinta edición, 1 de julio de 1990. Las cenizas volantes de clase C incluyen sílice y cal, por lo que pueden fraguar para formar una masa endurecida al mezclarse con agua. Las cenizas volantes de Clase F generalmente no contienen una cantidad suficiente de cal para inducir una reacción cementosa, por lo tanto, es necesaria una fuente adicional de iones de calcio para una lechada de cemento de fraguado retardado que comprende cenizas volantes de Clase F. Cuando se utiliza, la cal se puede mezclar con cenizas volantes de Clase F en cualquier cantidad adecuada, incluso en una cantidad en el rango de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 100 % en peso de las cenizas volantes. En algunos casos, la cal puede ser cal hidratada. Los ejemplos adecuados de cenizas volantes incluyen, entre otros, aditivo de cemento POZMIX® A, disponible comercialmente de Halliburton Energy Services, Inc., Houston, Texas.

[0040] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir escoria. La escoria es generalmente un subproducto en la producción de varios metales a partir de sus minerales correspondientes. A modo de ejemplo, la producción de hierro fundido puede producir escoria como subproducto granulado de alto horno, comprendiendo la escoria generalmente las impurezas oxidadas que se encuentran en el mineral de hierro. La escoria generalmente no contiene suficiente material básico, por lo que se puede usar cemento de escoria que además puede incluir una base para producir una composición que se puede fraguar que puede reaccionar con el agua para fraguar y formar una masa endurecida. Los ejemplos de fuentes adecuadas de bases incluyen, entre otros, hidróxido de sodio, bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, cal y combinaciones de estos.

[0041] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir CKD. Polvo de horno de cemento o "CKD", como se usa el término en este documento, se refiere a una alimentación de horno parcialmente calcinada que se retira de la corriente de gas y se recoge, por ejemplo, en un colector de polvo durante la fabricación de cemento. Por lo general, se recolectan grandes cantidades de CKD en la producción de cemento que comúnmente se desecha como desperdicio. El CKD es otro componente que puede incluirse en ejemplos de lechadas de cemento.

[0042] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir vidrio natural.

Ciertos vidrios naturales pueden exhibir propiedades cementosas, ya que pueden fraguar y endurecer en presencia de cal hidratada y agua. El vidrio natural también se puede moler, por ejemplo. En general, el vidrio natural puede tener cualquier distribución de tamaño de partícula que se desee para una aplicación particular. En determinadas formas de realización, el vidrio natural puede tener un tamaño de partícula medio en un rango de aproximadamente 1 micra a aproximadamente 200 micrones. El tamaño de partícula medio corresponde a valores d_{50} medidos por analizadores de tamaño de partícula como los fabricados por Malvern Instruments, Worcestershire, Reino Unido. Un experto en la materia, con el beneficio de esta divulgación, debería poder seleccionar un tamaño de partícula para el vidrio natural adecuado para su uso en una aplicación elegida.

[0043] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir metacaolín. En general, el metacaolín es una puzolana blanca que se puede preparar al calentar arcilla de caolín, por ejemplo, a temperaturas en el rango de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 800 °C.

[0044] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir lutita. Entre otras cosas, la lutita incluida en las lechadas de cemento puede reaccionar con el exceso de cal para formar un material cementante adecuado, por ejemplo, silicato de calcio hidratado. Son adecuadas una variedad de lutitas, incluidas las que comprenden silicio, aluminio, calcio y/o magnesio. Un ejemplo de lutita adecuada incluye lutita vitrificada. En general, la lutita puede tener cualquier distribución de tamaño de partícula que se desee para una aplicación particular. En determinadas formas de realización, la lutita puede tener una distribución de tamaño de partícula en el rango de aproximadamente 37 micrómetros a aproximadamente 4750 micrómetros.

[0045] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir zeolita. Las zeolitas generalmente son minerales de aluminosilicato porosos que pueden ser un material natural o sintético. Las zeolitas sintéticas se basan en el mismo tipo de célula estructural que las zeolitas naturales y pueden incluir hidratos de aluminosilicato. Como se usa en este documento, el término “zeolita” se refiere a todas las formas naturales y sintéticas de zeolita. Los ejemplos de zeolitas pueden incluir, entre otros, mordenita, zsm-5, zeolita x, zeolita y, zeolita a, etc. Además, los ejemplos que comprenden zeolita pueden incluir zeolita en combinación con un catión como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc. Las zeolitas que comprenden cationes tales como sodio también pueden proporcionar fuentes de cationes adicionales a la lechada de cemento a medida que se disuelven las zeolitas.

[0046] Las lechadas de cemento pueden incluir además cal hidratada. Como se usa en este documento, se entenderá que el término “cal hidratada” significa hidróxido de calcio. En algunos ejemplos, la cal hidratada puede proporcionarse como cal viva (óxido de calcio) que se hidrata cuando se mezcla con agua para formar la cal hidratada. La cal hidratada puede incluirse en ejemplos de lechadas de cemento, por ejemplo, para formar una composición hidráulica con la fuente de sílice. La cal hidratada se puede incluir en cualquier concentración adecuada, que incluye, pero no se limita a una relación en peso de fuente de sílice a cal hidratada de aproximadamente 10:1 a aproximadamente 1:1 o una relación de aproximadamente 3:1 a aproximadamente 5:1. Cuando esté presente, la cal hidratada puede incluirse en las lechadas de cemento en una cantidad en el rango de aproximadamente un 10 % a aproximadamente un 100 % en peso de la fuente de sílice, por ejemplo. La cal hidratada puede estar presente en una cantidad que varía entre y/o entre aproximadamente el 10 %, aproximadamente el 20 %, aproximadamente el 40 %, aproximadamente el 60 %, aproximadamente el 80 % o aproximadamente el 100 % en peso de la fuente de sílice. Un experto en la técnica, con el beneficio de esta divulgación, reconocería la cantidad apropiada de cal hidratada a incluir para una aplicación elegida.

[0047] Las lechadas de cemento también pueden incluir una fuente de calcio distinta de la cal hidratada, que puede usarse además o en lugar de la cal hidratada. En general, puede ser necesario calcio y un pH alto, por ejemplo, un pH de 7,0 o mayor, para que se produzcan determinadas reacciones cementosas. Una ventaja potencial de la cal hidratada puede ser que los iones de calcio y los iones de hidróxido se suministran en la misma molécula. En otro ejemplo, la fuente de calcio puede ser $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ o CaCl_2 , suministrándose el hidróxido de NaOH o KOH, por ejemplo. La fuente alternativa de calcio y la fuente de hidróxido pueden incluirse en una lechada de cemento de la misma forma que la cal hidratada. Por ejemplo, la fuente de calcio y la fuente de hidróxido pueden incluirse en cualquier cantidad adecuada, que incluye, entre otras, una relación en peso de fuente de sílice a cal hidratada de aproximadamente 10:1 a aproximadamente 1:1 o una relación de aproximadamente 3:1 hasta aproximadamente 5:1. Cuando esté presente, la fuente alternativa de calcio y la fuente de hidróxido pueden incluirse en las lechadas de cemento en una cantidad en el rango de aproximadamente 10 % a aproximadamente 100 % en peso de la fuente de sílice, por ejemplo. La fuente alternativa de calcio y la fuente de hidróxido pueden estar presentes en una cantidad que varía entre cualquiera de y/o que incluye

cualquiera de aproximadamente el 10 %, aproximadamente el 20 %, aproximadamente el 40 %, aproximadamente el 60 %, aproximadamente el 80 % o aproximadamente el 100 % en peso de la fuente de sílice. Un experto en la técnica, con el beneficio de esta divulgación, reconocería la cantidad apropiada de fuente de calcio y fuente de hidróxido alternativas a incluir para una aplicación elegida.

[0048] También se pueden incluir en las lechadas de cemento otros aditivos adecuados para su uso en operaciones de cementación, según sea necesario para una aplicación particular. Ejemplos de tales aditivos incluyen, entre otros: agentes de ponderación, activadores, 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 fluidos, agentes antiespumantes, agentes espumantes, dispersantes, aditivos tixotrópicos y combinaciones de estos. Un experto en la técnica, con el beneficio de esta divulgación, podría seleccionar un aditivo apropiado para una aplicación particular.

[0049] Los métodos de ejemplo de uso de las lechadas de cemento se describirán ahora con más detalle con referencia a las FIG. 1-5. Cualquiera de los ejemplos anteriores de lechadas de cemento puede aplicarse en el contexto de las FIG. 1-5. Refiriéndonos ahora a la FIG. 1, se describirá la preparación de una lechada de cemento de acuerdo con los ejemplos. La FIG. 1 ilustra un sistema 300 para la preparación de una lechada de cemento y la posterior introducción de la lechada de cemento a un pozo de acuerdo con ciertos ejemplos. Como se muestra, la lechada de cemento puede mezclarse en el equipo de mezcla 305, tal como un mezclador de chorro, un mezclador de recirculación o un mezclador por lotes, por ejemplo, y luego bombearse mediante el equipo de bombeo 310 al pozo. En algunos ejemplos, el equipo de mezcla 305 y el equipo de bombeo 310 pueden disponerse en uno o más camiones de cemento. Si se va a utilizar una lechada de cemento, se puede preformular un cemento seco a granel y prepararlo en una planta de cemento a granel, por ejemplo. Se puede mezclar una lechada de cemento al peinar el cemento seco a granel en el equipo de mezclado 305 o en otro equipo de mezclado. Los aditivos líquidos se pueden mezclar con la lechada de cemento en el equipo de mezcla 305. El equipo de bombeo 310 puede bombear la lechada de cemento al pozo.

[0050] Ahora se describirá un ejemplo de técnica de cementación primaria que utiliza una lechada de cemento con referencia a las FIG. 2 y 3. La FIG. 2 ilustra el equipo de superficie 400 que puede usarse en la colocación de una lechada de cemento de acuerdo con ciertos ejemplos. Cabe señalar que, aunque la FIG. 2 representa

generalmente una operación en tierra, los expertos en la técnica reconocerán fácilmente que los principios descritos en este documento son igualmente aplicables a operaciones submarinas que emplean plataformas y plataformas flotantes o con base en el mar, sin apartarse del alcance de la divulgación. Como se ilustra en la FIG. 2, el equipo de superficie 400 puede incluir una unidad de cementación 405, que puede incluir uno o más camiones de cemento. La unidad de cementación 405 puede incluir un equipo de mezclado 410 y un equipo de bombeo 415 (por ejemplo, la FIG. 2). La unidad de cementación 405, o múltiples unidades de cementación 405, pueden bombear una lechada de cemento 430 a través de un tubo de alimentación 430 y hasta un cabezal de cementación 425 que transporta la lechada de cemento 420 al fondo del pozo. La lechada de cemento 420 puede desplazar otros fluidos presentes en el pozo, como los fluidos de perforación y los fluidos espaciadores, que pueden salir del pozo a través de un anillo y fluir a través de la tubería 435 hasta la presa de lodo 440.

[0051] La FIG. 3 representa generalmente la colocación de la lechada de cemento 420 en una formación subterránea 500 de acuerdo con ejemplos ilustrativos. Como se ilustra, se puede perforar un pozo 505 en la formación subterránea 500. Si bien se muestra el pozo 505 extendiéndose en general verticalmente hacia la formación subterránea 500, los principios descritos en este documento también son aplicables a los pozos que se extienden en un ángulo a través de la formación subterránea 500, tal como como pozos horizontales e inclinados. Como se ilustra, el pozo 505 incluye paredes 506. En el ejemplo ilustrado, se ha insertado una tubería de revestimiento de superficie 508 en el pozo 505. La tubería de revestimiento de superficie 508 puede cementarse en el pozo 505 mediante un recubrimiento de cemento 510. En ejemplos alternativos, la tubería de revestimiento de superficie 508 se puede asegurar en el pozo 505 mediante una resina endurecida o un recubrimiento compuesto de resina-cemento endurecida en lugar del recubrimiento de cemento 510. En el ejemplo ilustrado, uno o más conductos adicionales (por ejemplo, tubería de revestimiento intermedio, tubería de revestimiento de producción, tuberías cortas de revestimiento, etc.), mostrado aquí como tubería de revestimiento 512 también puede estar dispuesto en el pozo 505. Como se ilustra, hay un anillo de pozo 514 formado entre la tubería de revestimiento 512 y las paredes 506 del pozo 505 y/o la tubería de revestimiento de superficie 508. Uno o más centralizadores 516 se puede unir a la tubería de revestimiento 512, por ejemplo, para centralizar la tubería de revestimiento 512 en el pozo 505 antes y durante la operación de cementación.

[0052] Continuando con la referencia a la FIG. 3, se puede bombear un primer fluido espaciador 518 hacia abajo por el interior de la tubería de revestimiento 512. Se puede permitir que el primer fluido espaciador 518 fluya hacia abajo por el interior de la tubería de revestimiento 512 a través de la zapata de la tubería de revestimiento 520 en la parte inferior de la tubería de revestimiento 512 y hacia arriba alrededor de la tubería de revestimiento 512 en el anillo del pozo 514. Después de que el primer fluido espaciador 518 se haya bombeado al interior de la tubería de revestimiento 512, la lechada de cemento 420 se puede bombear al interior de la tubería de revestimiento 512. De una manera similar al bombeo del primer fluido espaciador 518, la lechada de cemento 420 se puede permitir que fluya hacia abajo por el interior de la tubería de revestimiento 512 a través de la zapata de la tubería de revestimiento 520 en la parte inferior de la tubería de revestimiento 512 y hacia arriba alrededor de la tubería de revestimiento 512 hacia el anillo del pozo 514. Después de que la lechada de cemento 420 se haya bombeado a la tubería de revestimiento 512, un El segundo fluido espaciador 522 puede bombearse a la tubería de revestimiento 512 y dejarse fluir por el interior de la tubería de revestimiento 512. El primer fluido espaciador 518 y el segundo fluido espaciador 522 pueden usarse para separar la lechada de cemento 420 de los fluidos introducidos en el pozo 505 ya sea por delante o detrás de la lechada de cemento 420. Una vez que la lechada de cemento 420 se haya colocado en la posición deseada en el anillo del pozo 514, se puede permitir que la lechada de cemento 420 fragüe en el anillo del pozo 514, por ejemplo, para formar un recubrimiento de resina endurecida que soporta y posiciona la tubería de revestimiento 512 en el pozo 505. Alternativamente, se puede usar uno o ningún fluido espaciador, y la lechada de cemento 420 puede no necesitar separarse de otros fluidos introducidos previa o posteriormente en el pozo 505. Aunque no se ilustra, también se pueden utilizar otras técnicas para la introducción de la lechada de cemento 420. A modo de ejemplo, se pueden utilizar técnicas de circulación inversa que incluyen la introducción de la lechada de cemento 420 en la formación subterránea 500 a través del anillo del pozo 514 en lugar de a través de la tubería de revestimiento 512. Estas técnicas también pueden utilizar un primer fluido espaciador 518 y un segundo fluido espaciador 522, o pueden utilizar uno o ninguno de los fluidos espaciadores. A medida que se introduce, la lechada de cemento 420 puede desplazar el primer fluido espaciador 518. Al menos una parte del primer fluido espaciador 518 puede salir del anillo 514 del pozo a través de una línea de flujo 435 y depositarse, por ejemplo, en una o más presas de lodo 440, como se muestra en la FIG. 2.

[0053] Las FIG. 4-6 ilustran métodos de cementación secundaria o correctiva. Pasando ahora a la FIG. 4, se muestra una sección transversal parcial de un pozo de producción convencional 505 que tiene una tubería de revestimiento primaria cementada 512. El recubrimiento de cemento 510 alrededor de la tubería de revestimiento 512 puede tener defectos potencialmente causados por una variedad de problemas, como el curado inadecuado del recubrimiento de cemento 510 mientras se estaba formando. Alternativamente, la cementación primaria puede haber tenido éxito, pero debido a temperaturas y presiones adversas dentro de la formación subterránea 500, la tubería de revestimiento 512 y/o el recubrimiento de cemento 510 que rodea a la tubería de revestimiento 512 pueden formar grietas u otros tipos de pequeñas perforaciones 600. Las pequeñas perforaciones 600 pueden ser problemáticas ya que pueden facilitar la introducción de fluidos indeseables en la tubería de revestimiento 512. Como se muestra en la FIG. 4, se ha formado una pequeña perforación 600 en el recubrimiento de cemento 510 y la tubería de revestimiento 512, permitiendo potencialmente la introducción de fluidos indeseables en el interior de la tubería de revestimiento 512.

[0054] Con referencia ahora a la FIG. 5, una pequeña perforación 600 puede rellenarse o taponarse con una lechada de cemento 420 o un compuesto de resina-cemento. Un tapón 602 (el tapón 602 puede ser cualquier tipo de tapón, por ejemplo, tapón puente, etc.) puede colocarse inicialmente adyacente y debajo de la pequeña perforación 600, para formar una barrera para evitar que la lechada de cemento 420 fluya hacia abajo del pozo 505 y, por lo tanto, permita que la lechada de cemento 420 de la presente divulgación llene las pequeñas perforaciones 600 en la tubería de revestimiento 512 y el recubrimiento de cemento 510. Como se muestra en la FIG. 5, la tubería 605 (por ejemplo, tubería flexible, tubería de perforación, etc.) se puede bajar al pozo 505. Se puede bombear un primer fluido espaciador 518 al pozo 505 a través de la tubería 605 y dejar que fluya por el interior de la tubería 605 y en la sección bloqueada del pozo 505 creada por el tapón 602. Una parte del primer fluido espaciador 518 puede fluir a través de la pequeña perforación 600 mientras que otra parte puede residir en el anillo 514. Después de bombear el primer fluido espaciador 518 a través de la tubería 605, la lechada de cemento 420 puede bombearse a través de la tubería 605. La lechada de cemento 420 puede bombearse por el interior de la tubería 605 y hacia la sección bloqueada del pozo 505 creada por el tapón 602. Una porción de la lechada de cemento 420 entonces puede fluir a través de la pequeña perforación 600 mientras que otra porción puede residir en el anillo 514. Se puede

permitir que la lechada de cemento 420 fragüe en la pequeña perforación 600 y en una porción del anillo del pozo 514, por ejemplo, para formar una masa endurecida que selle la pequeña perforación 600 para evitar la migración de fluidos indeseables al interior de la tubería de revestimiento 512. Después de que la lechada de cemento 420 se haya bombeado al tubo 605, se puede bombear un segundo fluido espaciador 522 al interior del tubo 605 y dejarlo fluir por el interior de la tubería 605 hasta la sección bloqueada del pozo 505 creada por el tapón 602 y hacia arriba alrededor de la tubería 605 en el anillo del pozo 514. Alternativamente, se puede usar uno o ningún fluido espaciador, y la lechada de cemento 420 puede no ser necesaria para separarse de otros fluidos introducidos previamente o posteriormente en el pozo 505. A continuación, se puede retirar la tubería 605. El tapón 602 también se puede quitar. En ejemplos alternativos, el tapón 602 puede permanecer en el pozo 505 y perforarse. Después de retirar la tubería 605, la parte de la lechada de cemento endurecido 420 que queda en el pozo 505 (es decir, la parte que no está en la pequeña perforación 600) puede perforarse a través de ella.

[0055] La FIG. 6 describe otro ejemplo de llenado de una pequeña perforación 600 con una lechada de cemento 420. Un tapón 602 (el tapón 602 puede ser cualquier tipo de tapón, por ejemplo, un tapón puente, etc.) puede colocarse inicialmente adyacente y por debajo de la pequeña perforación 600, para formar una barrera que puede permitir el bombeo presurizado de una lechada de cemento 420 de la presente divulgación para llenar cualquier pequeña perforación 600 en la tubería de revestimiento 512 y el recubrimiento de cemento 510. Como se muestra en la FIG. 6, la tubería 605 (por ejemplo, tubería flexible, tubería de perforación, etc.) se puede bajar al pozo 505. La tubería 605 se puede unir a un retenedor 604 o se puede insertar en un retenedor 604 ya colocado en el pozo 505. El retenedor 604 puede permitir el bombeo presurizado de la lechada de cemento 420 en cualquier pequeña perforación 600. El retenedor 604 debe colocarse adyacente a las pequeñas perforaciones 600 y por encima de ellas para ser llenado con la lechada de cemento 420. El retenedor 604 puede ser cualquier tipo de retenedor, por ejemplo, un retenedor de cemento. Después de colocar el tapón 602, la tubería 605 y el retenedor 604, se puede bombear un primer fluido espaciador 518 en el pozo 505 a través de la tubería 605 y dejar que fluya por el interior de la tubería 605 y en la sección bloqueada del pozo 505 creada por el tapón 602. Una parte del primer fluido espaciador 518 puede fluir a través de la pequeña perforación 600. Después de bombear el primer fluido espaciador 518 a través del tubo 605, la lechada de cemento 420 puede bombearse a través del tubo

605. La lechada de cemento 420 puede bombearse por el interior de la tubería 605 y dentro de la sección bloqueada del pozo 505 creada por el tapón 602. Una parte de la lechada de cemento 420 puede fluir a través de la pequeña perforación 600 mientras que otra parte puede residir en el espacio formado entre el tapón 602 y el retenedor 604. Se puede permitir que la lechada de cemento 420 se asiente en la pequeña perforación 600 y en el espacio formado entre el tapón 602 y el retenedor 604. La lechada de cemento 420 puede entonces endurecerse para formar una masa endurecida que selle la pequeña perforación 600 para evitar la migración de fluidos indeseables al interior de la tubería de revestimiento 512. Después de que la lechada de cemento 420 se haya bombeado al tubo 605, se puede bombear un segundo fluido espaciador 522 al interior del tubo 605 y dejar que fluya hacia abajo por el interior de la tubería 605 en la sección bloqueada del pozo 505 creada por el tapón 602 y en el espacio formado entre el tapón 602 y el retenedor 604. Alternativamente, se puede usar uno o ningún fluido espaciador, y la lechada de cemento 420 puede no ser necesaria para separarse de otros fluidos introducidos previamente o posteriormente en el pozo 505. A continuación, se puede retirar el tubo 605. El tapón 602 también se puede quitar. En ejemplos alternativos, el tapón 602 puede permanecer en el pozo 505 y perforarse. El retenedor 604 también se puede quitar. A la inversa, en ejemplos alternativos, el retenedor 604 puede perforarse. Después de retirar la tubería 605, la parte de la lechada de cemento endurecido 420 que queda en el pozo 505 (es decir, la parte que no está en la pequeña perforación 600) puede perforarse a través de ella.

[0056] La FIG. 7 ilustra en general un ejemplo de un sistema de manejo de información 700 que puede incluir cualquier instrumento o conjunto de instrumento que pueden funcionar para calcular, estimar, clasificar, procesar, transmitir, recibir, recuperar, originar, cambiar, almacenar, mostrar, manifestar, detectar, registrar, reproducir, manejar o utilizar cualquier forma de información, inteligencia o datos con fines comerciales, científicos, de control u otros. Por ejemplo, un sistema de manejo de información 700 puede ser una computadora personal, un dispositivo de almacenamiento en red o cualquier otro dispositivo adecuado y puede variar en tamaño, forma, rendimiento, funcionalidad y precio. En los ejemplos, el sistema de manejo de información 700 puede denominarse supercomputadora o supercomputadora de gráficos.

[0057] Como se ilustra, el sistema de manejo de información 700 puede incluir una o más unidades centrales de procesamiento (CPU) o procesadores 702. El sistema de manejo de información 700 también puede incluir una memoria de acceso aleatorio

(RAM) 704 a la que pueden acceder los procesadores 702. Debe tenerse en cuenta que el sistema de manejo de información 700 puede incluir además lógica de *hardware* o *software*, ROM y/o cualquier otro tipo de memoria no volátil. El sistema de manejo de información 700 puede incluir uno o más módulos de gráficos 706 que pueden acceder a la RAM 704. Los módulos de gráficos 706 pueden ejecutar las funciones realizadas por un módulo de procesamiento gráfico (no ilustrado), mediante *hardware* (como procesadores gráficos especializados) o una combinación de *hardware* y *software*. Un dispositivo de entrada de usuario 708 puede permitir que un usuario controle e ingrese información al sistema de manejo de información 700. Los componentes adicionales del sistema de manejo de información 700 pueden incluir una o más unidades de disco, dispositivos de salida 712, tales como una pantalla de video, y uno o más puertos de red para la comunicación con dispositivos externos, así como un dispositivo de entrada de usuario 708 (por ejemplo, teclado, ratón, etc.). El sistema de manejo de información 700 también puede incluir uno o más buses que pueden funcionar para transmitir comunicaciones entre los diversos componentes de *hardware*.

[0058] Alternativamente, los sistemas y métodos de la presente divulgación pueden implementarse, al menos en parte, con medios legibles por computadora no transitorios. Los medios legibles por computadora no transitorios pueden incluir cualquier instrumento o grupo de instrumentos que puedan retener datos y/o instrucciones durante un período de tiempo. Los medios legibles por computadora no transitorios pueden incluir, por ejemplo, medios de almacenamiento 710 como un dispositivo de almacenamiento de acceso directo (por ejemplo, una unidad de disco duro o una unidad de disquete), un dispositivo de almacenamiento de acceso secuencial (por ejemplo, una unidad de disco de cinta), disco compacto, CD-ROM, DVD, RAM, ROM, memoria de sólo lectura programable y borrrable eléctricamente (EEPROM) y/o memoria flash; así como medios de comunicación, tales como cables, fibras ópticas, microondas, ondas de radio y otros portadores electromagnéticos y/u ópticos; y/o cualquier combinación de los anteriores.

[0059] La Figura 8 ilustra detalles adicionales del sistema de manejo de información 700. Por ejemplo, el sistema de manejo de información 700 puede incluir uno o más procesadores, tal como el procesador 800. El procesador 800 puede estar conectado a un bus de comunicación 802. Se describen varias formas de realización de *software* en términos de este sistema informático ejemplar. Después de leer esta descripción, resultará evidente para un experto en la técnica pertinente cómo implementar las

formas de realización de ejemplo utilizando otros sistemas informáticos y/o arquitecturas informáticas.

[0060] El sistema de manejo de información 700 también puede incluir una memoria principal 804, preferentemente una memoria de acceso aleatorio (RAM), y también puede incluir una memoria secundaria 806. La memoria secundaria 806 puede incluir, por ejemplo, una unidad de disco duro 808 y/o una unidad de almacenamiento extraíble 810, que representa una unidad de disquete, una unidad de cinta magnética, una unidad de disco óptico, etc. La unidad de almacenamiento extraíble 810 puede leer y/o escribir en una unidad de almacenamiento extraíble 812 de cualquier manera adecuada. La unidad de almacenamiento extraíble 812, representa un disquete, cinta magnética, disco óptico, etc., que se lee y escribe en la unidad de almacenamiento extraíble 810. Como se apreciará, la unidad de almacenamiento extraíble 812 incluye un medio de almacenamiento utilizable por computadora que tiene almacenado en él un *software* informático y/o datos.

[0061] En formas de realización alternativas, la memoria secundaria 806 puede incluir otras operaciones para permitir que se carguen programas informáticos u otras instrucciones en el sistema de manejo de información 700. Por ejemplo, una unidad de almacenamiento extraíble 814 y una interfaz 816. Ejemplos de esto pueden incluir un cartucho de programa e interfaz de cartucho (como la que se encuentra en los dispositivos de videojuegos), un chip de memoria extraíble (como una EPROM o PROM) y un zócalo asociado, y otras unidades de almacenamiento extraíbles 814 e interfaces 816 que pueden permitir la transferencia de *software* y datos desde la unidad de almacenamiento extraíble 814 hasta el sistema de manejo de información 700.

[0062] En los ejemplos, el sistema de manejo de información 700 también puede incluir una interfaz de comunicaciones 818. La interfaz de comunicaciones 818 puede permitir la transferencia de *software* y datos entre el sistema de manejo de información 700 y dispositivos externos. Los ejemplos de interfaz de comunicaciones 818 pueden incluir un módem, una interfaz de red (como una tarjeta Ethernet), un puerto de comunicaciones, una ranura y tarjeta PCMCIA, etc. El *software* y los datos transferidos a través de la interfaz de comunicaciones 818 tienen la forma de señales 820 que pueden ser señales electrónicas, electromagnéticas, ópticas u otras que puedan ser recibidas por la interfaz de comunicaciones 818. Las señales 820 pueden proporcionarse a la interfaz de comunicaciones a través de un canal 822. El canal 822 transporta las señales 820 y puede implementarse mediante el uso de un alambre o

cable, fibra óptica, un teléfono de línea, un enlace de teléfono celular, un enlace de RF y/o cualquier otro canal de comunicación adecuado. Por ejemplo, el sistema de manejo de información 700 incluye al menos una memoria 804 que puede funcionar para almacenar instrucciones ejecutables por computadora, al menos una interfaz de comunicaciones 802, 818 para acceder a la al menos una memoria 804; y al menos un procesador 800 configurado para acceder a la al menos una memoria 804 a través de la al menos una interfaz de comunicaciones 802, 818 y ejecutar instrucciones ejecutables por computadora.

[0063] En este documento, las expresiones “medio de programa informático” y “medio utilizable por computadora” se utilizan para referirse generalmente a medios como la unidad de almacenamiento extraíble 812, un disco duro instalado en la unidad de disco duro 808 y las señales 820. Estos productos de programa informático pueden proporcionar *software* al sistema informático 700.

[0064] Los programas informáticos (también denominados lógica de control informático) pueden almacenarse en la memoria principal 804 y/o en la memoria secundaria 806. Los programas informáticos también pueden recibirse a través de la interfaz de comunicaciones 818. Dichos programas informáticos, cuando se ejecutan, permiten que el sistema de manejo de información 700 realice las características de las formas de realización de ejemplo que se describen en el presente documento. En particular, los programas informáticos, cuando se ejecutan, permiten al procesador 800 realizar las características de las formas de realización de ejemplo. Por consiguiente, tales programas informáticos representan controladores del sistema de manejo de información 700.

[0065] En ejemplos con implementación de *software*, el *software* puede almacenarse en un producto de programa informático y cargarse en el sistema de manejo de información 700 mediante el uso de la unidad de almacenamiento extraíble 810, la unidad de disco duro 808 o la interfaz de comunicaciones 818. La lógica de control (*software*), cuando se ejecuta mediante el procesador 800, hace que el procesador 800 realice las funciones de las formas de realización de ejemplo como se describe en este documento.

[0066] En ejemplos con implementación de *hardware*, los componentes de *hardware* tales como circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC). La implementación de dicha máquina de estado de *hardware* para realizar las funciones descritas en el presente documento será evidente para los expertos en la técnica o técnicas pertinentes. Cabe señalar que la divulgación puede implementarse al menos

parcialmente tanto en *hardware* como en *software*.

[0067] Los métodos descritos en este documento pueden llevarse a cabo, al menos en parte, mediante el uso de un sistema informático que incluye un medio accesible por computadora, el medio accesible por computadora contiene un programa informático que hace que un procesador ejecute instrucciones que llevan a cabo al menos algunos de los pasos del método descritos en este documento. En general, un medio accesible por computadora puede incluir cualquier medio de almacenamiento o medio de memoria tangible o no transitorio, como medios electrónicos, magnéticos u ópticos, por ejemplo, disco o CD/DVD-ROM acoplado a la computadora. Los términos “tangible” y “no transitorio”, como se usan en este documento, están destinados a describir un medio de almacenamiento legible por computadora (o “memoria”) que excluye la propagación de señales electromagnéticas, pero no tienen la intención de limitar el tipo de dispositivo de almacenamiento legible por computadora físico que está abarcado por la frase medio legible por computadora o memoria. Por ejemplo, los términos “medio no transitorio legible por computadora” o “memoria tangible” pretenden abarcar tipos de dispositivos de almacenamiento que no necesariamente almacenan información de forma permanente, que incluyen, por ejemplo, la memoria de acceso aleatorio (RAM), la memoria flash u otros tipos de memoria volátil. Las instrucciones de programa y los datos almacenados en un medio de almacenamiento tangible accesible por computadora en forma no transitoria pueden transmitirse además por medios o señales de transmisión tales como señales eléctricas, electromagnéticas o digitales, que pueden transportarse a través de un medio de comunicación tal como una red y/o un enlace inalámbrico.

[0068] Por consiguiente, esta divulgación describe sistemas, composiciones y métodos relacionados con el proceso de diseño de la lechada. Sin limitación, los sistemas, composiciones y métodos pueden caracterizarse además por una o más de las siguientes declaraciones:

[0069] Declaración 1. Un método para determinar la capacidad de mezcla de la lechada que comprende: proporcionar una mezcla seca que comprende uno o más materiales particulados; calcular una necesidad mínima de agua de la mezcla seca; calcular una necesidad de agua de una lechada que tiene una densidad de lechada objetivo y que comprende la mezcla seca; determinar si la lechada es mezclable en función de la necesidad de agua de la lechada y la necesidad mínima de agua; y preparar la lechada si la lechada es mezclable.

[0070] Declaración 2. El método de acuerdo con la declaración 1, que comprende

además al menos uno de medir una necesidad de agua para el material o los materiales particulados y proporcionar una necesidad de agua para el material o los materiales particulados.

[0071] Declaración 3. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-2, en donde el paso de calcular la necesidad mínima de agua de la composición comprende calcular una necesidad de agua mediante una combinación lineal de necesidad de agua del material o los materiales particulados o una combinación no lineal de necesidad de agua del material o los materiales particulados.

[0072] Declaración 4. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-3, en donde el paso de calcular la necesidad mínima de agua de la composición comprende calcular una combinación lineal con la siguiente fórmula: $WR_{Blend} = \sum M_i WR_i$, donde WR_{blend} es la necesidad mínima de agua, M_i es la fracción másica o masa del material particulado i de la composición, y WR_i es la necesidad de agua del material particulado i de la composición.

[0073] Declaración 5. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-4, en donde el paso de calcular la necesidad mínima de agua de la composición comprende calcular una combinación no lineal con la siguiente fórmula: $WR_{Blend} = \sum (M_i WR_i)^{B_i}$, en donde WR_{blend} es la necesidad mínima de agua, M_i es la fracción másica o masa del material particulado i de la composición, y WR_i es la necesidad de agua del material particulado i de la composición, y B_i es una constante del material para el material particulado i de la composición.

[0074] Declaración 6. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1 a 5, en donde el paso de calcular la necesidad de agua de la lechada se realiza con la siguiente fórmula: $\rho_{slurry} = \frac{1 + WR_{slurry}}{\sum (1 + M_i v_i) + WR_{slurry}}$, donde ρ_{Slurry} es la densidad objetivo de

la lechada, M_i es la fracción másica del material particulado i en la composición, v_i es un volumen específico de material particulado i en la composición y WR_{Slurry} es la necesidad de agua de la lechada de cemento.

[0075] Declaración 7. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-6: que además incluye realizar al menos uno de ajustar una fracción másica de al menos uno de los materiales particulados de la composición, agregar uno o más materiales particulados adicionales a la composición, agregar un dispersante a la composición, agregar un aditivo de suspensión a la composición o agregar un aditivo de agua libre a la composición.

[0076] Declaración 8. Un método de cementación de pozos que comprende:

proporcionar una mezcla seca de uno o más materiales particulados, en donde el material o los materiales particulados comprenden al menos un material cementante; calcular una necesidad mínima de agua de la mezcla seca; calcular una necesidad de agua de una lechada que tiene una densidad de lechada objetivo y que comprende la mezcla seca; determinar si la lechada es mezclable en función de la necesidad de agua de la lechada y la necesidad mínima de agua; preparar la lechada si la lechada es mezclable; y bombear la lechada a un pozo.

[0077] Declaración 9. El método de acuerdo con la declaración 8, que además comprende al menos uno de medir una necesidad de agua para el material o los materiales particulados y proporcionar una necesidad de agua para el material o los materiales particulados.

[0078] Declaración 10. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 8-9, en donde el paso de calcular la necesidad mínima de agua de la composición de cemento comprende calcular una necesidad de agua mediante una combinación lineal de necesidad de agua del material o los materiales particulados o una combinación no lineal de necesidad de agua del material o los materiales particulados.

[0079] Declaración 11. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 8-10, en donde el paso de calcular la necesidad mínima de agua de la composición de cemento comprende calcular una combinación lineal con la siguiente fórmula:

$WR_{Blend} = \sum M_i WR_i$, donde WR_{blend} es la necesidad mínima de agua, M_i es la fracción másica o la masa de material particulado i de la composición de cemento, y WR_i es la necesidad de agua del material particulado i de la composición de cemento.

[0080] Declaración 12. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 8-11, en donde el paso de calcular la necesidad mínima de agua de la composición de cemento comprende calcular una combinación no lineal con la siguiente fórmula:

$WR_{Blend} = \sum (M_i WR_i)^{B_i}$, en donde WR_{blend} es la necesidad mínima de agua, M_i es la fracción másica o masa de material particulado i de la composición de cemento, y WR_i es la necesidad de agua del material particulado i de la composición de cemento, y B_i es una constante de material para el material particulado i de la composición de cemento.

[0081] Declaración 13. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 8-12, en donde el paso de calcular la necesidad de agua de la lechada se realiza con la siguiente fórmula: $\rho_{slurry} = \frac{1 + WR_{slurry}}{\sum (1 + M_i v_i) + WR_{slurry}}$, en donde ρ_{slurry} es la densidad objetivo

de la lechada, M_i es la fracción másica del material particulado i en la composición, v_i

es un volumen específico de material particulado i en la composición y WR_{Slurry} es la necesidad de agua de la lechada de cemento.

[0082] Declaración 14. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 8-13 que además comprende: realizar al menos uno de ajustar una fracción másica de al menos uno de los materiales particulados de la composición, agregar uno o más materiales particulados adicionales a la composición, agregar un dispersante a la composición, agregar un aditivo de suspensión a la composición o agregar un aditivo de agua libre a la composición.

[0083] Declaración 15. Un medio legible por computadora no transitorio que tiene datos almacenados en él que representan *software* ejecutable por computadora, donde el *software* incluye instrucciones que comprenden: instrucciones para calcular una necesidad mínima de agua de una mezcla seca que comprende uno o más materiales particulados; instrucciones para calcular la necesidad de agua de una lechada en base a la mezcla seca y la densidad objetivo de la lechada; e instrucciones para determinar si la lechada se puede mezclar en función de la necesidad de agua de la composición y la necesidad mínima de agua de la composición.

[0084] Declaración 16. El medio legible por computadora no transitorio de acuerdo con la declaración 15, en donde el cálculo de la necesidad mínima de agua de la composición comprende calcular una combinación lineal con la siguiente fórmula: $WR_{Blend} = \sum M_i WR_i$, en donde WR_{blend} es la necesidad mínima de agua, M_i es la fracción másica o masa del material particulado i de la composición, y WR_i es una necesidad de agua del material particulado i de la composición.

[0085] Declaración 17. El medio legible por computadora no transitorio de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 15-17, en donde el cálculo de la necesidad mínima de agua de la composición de cemento comprende calcular una combinación no lineal con la siguiente fórmula: $WR_{Blend} = \sum (M_i WR_i)^{B_i}$, en donde WR_{blend} es la necesidad mínima de agua, M_i es la fracción másica o masa del material particulado i de la composición, y WR_i es una necesidad de agua del material particulado i de la composición, y B_i es una constante del material para el material particulado i de la composición.

[0086] Declaración 18. El medio legible por computadora no transitorio de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 15-17, en donde el cálculo de la necesidad de agua de la lechada se realiza con la siguiente fórmula: $\rho_{slurry} = \frac{1 + WR_{Slurry}}{\sum (1 + M_i v_i) + WR_{Slurry}}$, en donde

ρ_{Slurry} es la densidad objetivo de la lechada, M_i es la fracción másica de material

particulado i en la composición, v_i es un volumen específico de material particulado i en la composición y WR_{Slurry} es la necesidad de agua de la lechada de cemento.

[0087] Declaración 19. El medio legible por computadora no transitorio de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 15-18, en donde las instrucciones además comprenden: instrucciones para consultar una base de datos y aceptar una necesidad de agua para al menos uno del material o los materiales particulados.

[0088] Declaración 20. El medio legible por computadora no transitorio de acuerdo con la reivindicación 15, en donde las instrucciones además comprenden: instrucciones para realizar al menos uno de ajustar una fracción másica de al menos uno de los materiales particulados de la composición, agregar uno o más materiales particulados a la composición, agregar un dispersante a la composición, agregar un aditivo de suspensión a la composición o agregar un aditivo de agua libre a la composición para producir una composición modificada; las instrucciones calculan una necesidad mínima de agua de la composición modificada; las instrucciones calculan la necesidad de agua de una lechada modificada en función de la composición modificada y la densidad objetivo de la lechada; las instrucciones determinan si la lechada modificada se puede mezclar en función de la necesidad de agua de la composición modificada y la necesidad mínima de agua de la composición modificada; e instrucciones para generar información de la etapa de determinar si la lechada modificada es mezclable.

[0089] Las lechadas de cemento divulgadas y los métodos asociados pueden afectar directa o indirectamente cualquier sistema de bombeo, que incluye de manera representativa cualquier conducto, tubería, camión, tubos y/o cañería que pueda acoplarse a la bomba y/o cualquier sistema de bombeo y puede utilizarse para transportar de forma fluida las lechadas de cemento en el fondo del pozo, cualquier bomba, compresor o motor (por ejemplo, en la parte superior o en el fondo del pozo) utilizado para impulsar las lechadas de cemento en movimiento, cualquier válvula o junta relacionada que se utilice para regular la presión o el caudal de las lechadas de cemento y cualquier sensor (es decir, presión, temperatura, caudal, etc.), medidores y/o combinaciones de estos y similares. Las lechadas de cemento también pueden afectar directa o indirectamente a las tolvas de mezcla y las fosas de retención y sus diferentes variaciones.

[0090] Debe entenderse que las lechadas y los métodos se describen en términos de “que comprenden”, “contienen” o “incluyen” varios componentes o etapas, las lechadas y los métodos también pueden “consistir esencialmente en” o “consistir en” los diversos componentes y pasos. Además, los artículos indefinidos “un” o “una”, como

se usan en las reivindicaciones, se definen aquí para significar uno o más de uno de los elementos que introduce.

[0091] En aras de la brevedad, en el presente documento solo se divulgan explícitamente determinados rangos. Sin embargo, los rangos de cualquier límite inferior pueden combinarse con cualquier límite superior para mencionar un rango no mencionado explícitamente, así como también, los rangos de cualquier límite inferior pueden combinarse con cualquier otro límite inferior para mencionar un rango no mencionado explícitamente. De esta manera, los rangos desde cualquier límite superior pueden combinarse con cualquier otro límite superior para mencionar un rango no mencionado explícitamente. Además, siempre que se divulga un rango numérico con un límite inferior y un límite superior, se divulga específicamente cualquier número y cualquier rango incluido que entre dentro del rango. En particular, cada rango de valores (de la forma, “desde aproximadamente a hasta aproximadamente b ” o, de manera equivalente, “desde aproximadamente a hasta b ” o, de manera equivalente, “desde aproximadamente a - b ”) divulgado en este documento debe entenderse que establece todos los números y rangos incluidos dentro del rango más amplio de valores, incluso si no se recitan explícitamente. Así, cada punto o valor individual puede servir como su propio límite inferior o superior combinado con cualquier otro punto o valor individual o cualquier otro límite inferior o superior, para mencionar un rango no mencionado explícitamente.

[0092] Por lo tanto, la presente divulgación está bien adaptada para lograr los fines y ventajas mencionados, así como los que son inherentes a esta. Los ejemplos particulares divulgados anteriormente son sólo ilustrativos, ya que la presente invención puede modificarse y practicarse de maneras diferentes, pero equivalentes, evidentes para los expertos en la técnica que se benefician de las enseñanzas de la presente. Aunque se describen ejemplos individuales, la invención abarca todas las combinaciones de todos esos ejemplos. Además, no se pretenden limitaciones a los detalles de construcción o diseño aquí mostrados, aparte de lo que se describe en las reivindicaciones siguientes. Además, los términos de las reivindicaciones tienen su significado corriente y simple, a menos que el titular de la patente defina lo contrario de forma explícita y clara. Por lo tanto, es evidente que los ejemplos ilustrativos particulares divulgados anteriormente pueden alterarse o modificarse y todas estas variaciones se consideran dentro del alcance y la esencia de la presente invención. Si existe algún conflicto en cuanto a los usos de una palabra o término en esta memoria descriptiva y una o más patentes u otros documentos que puedan incorporarse aquí

por referencia, se deberían adoptar las definiciones que sean coherentes con esta memoria descriptiva.

RESUMEN

Un método para determinar la capacidad de mezcla de la lechada puede incluir: proporcionar una mezcla seca que comprende uno o más materiales particulados; calcular una necesidad mínima de agua de la mezcla seca; calcular una necesidad de agua de una lechada que tiene una densidad de lechada objetivo y que comprende la mezcla seca; determinar si la lechada es mezclable en función de la necesidad de agua de la lechada y la necesidad mínima de agua; y preparar la lechada si la lechada es mezclable.

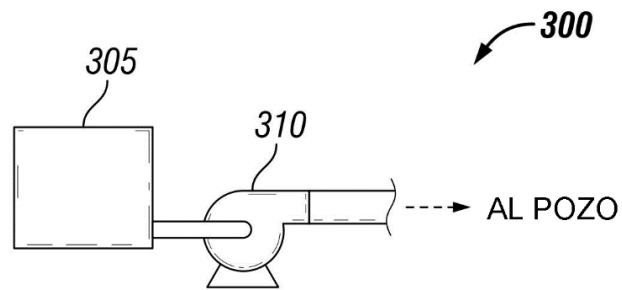


FIGURA 1

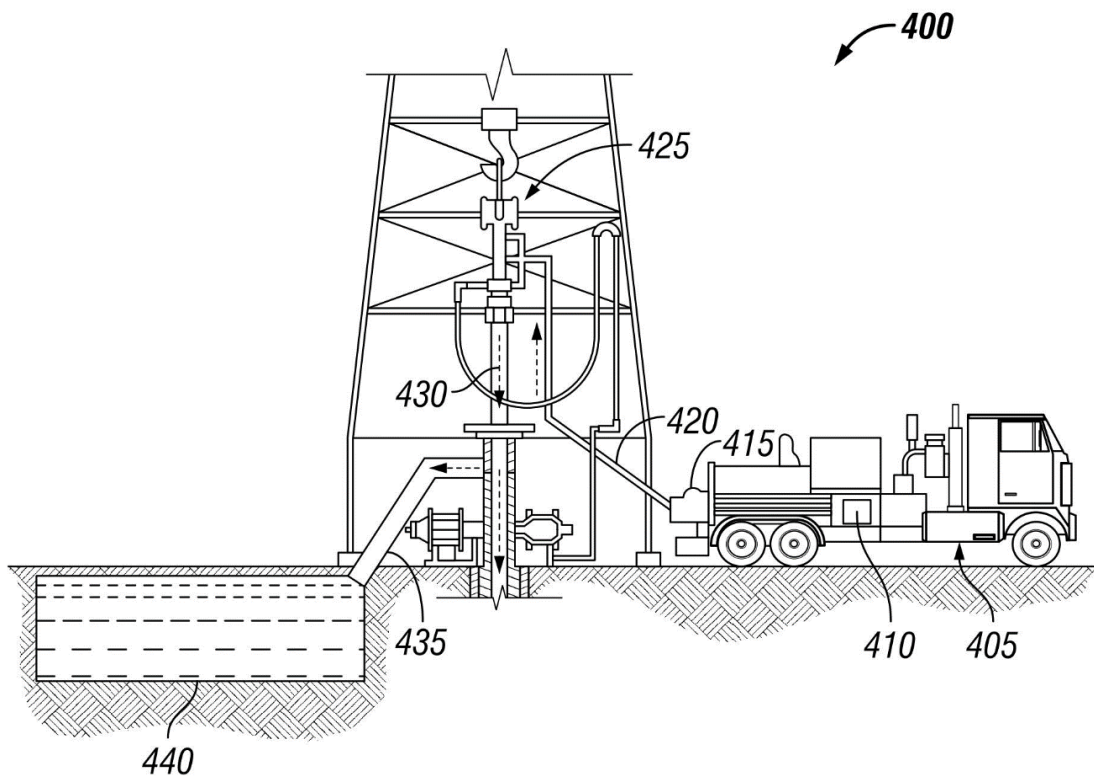


FIGURA 2

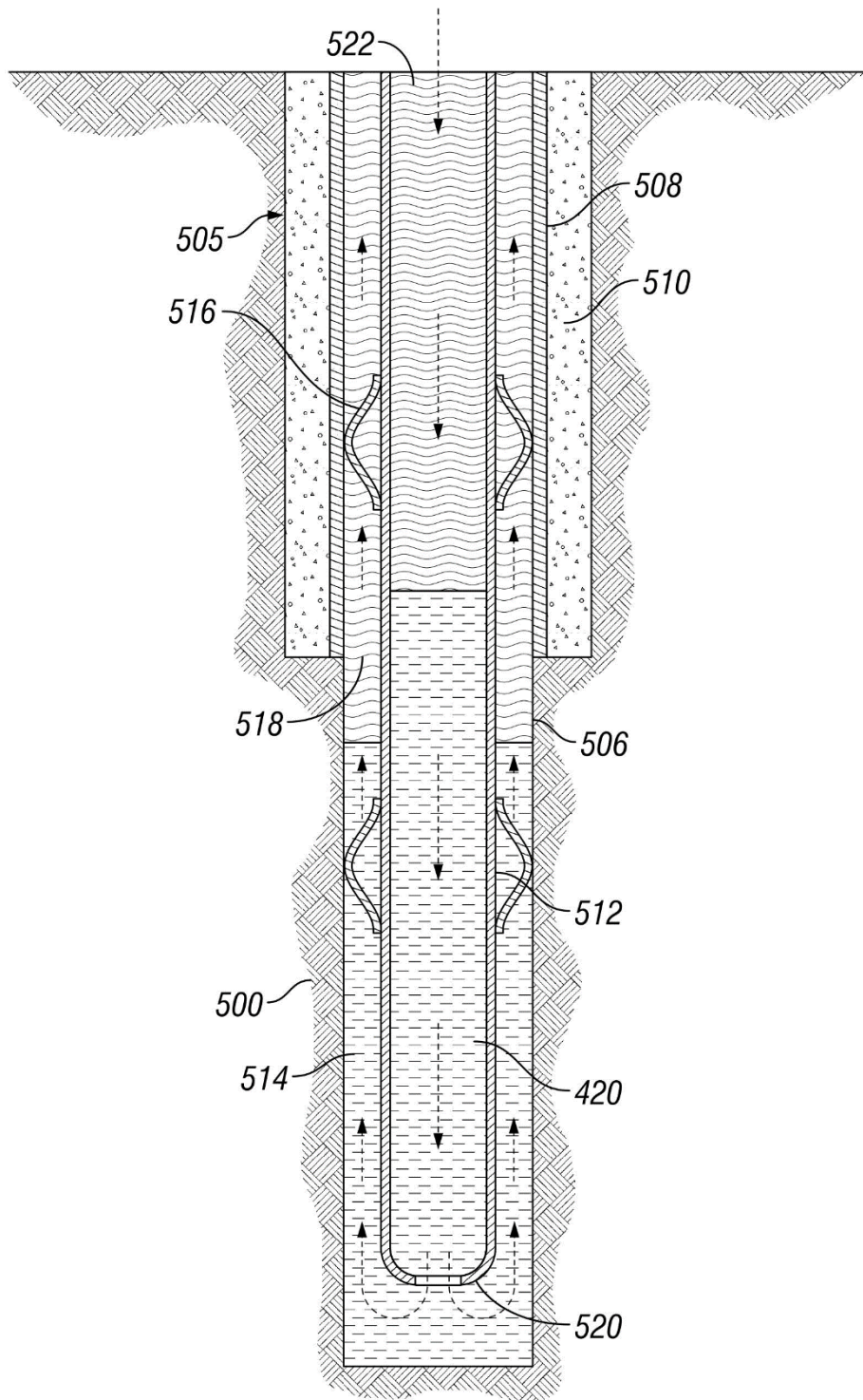


FIGURA 3

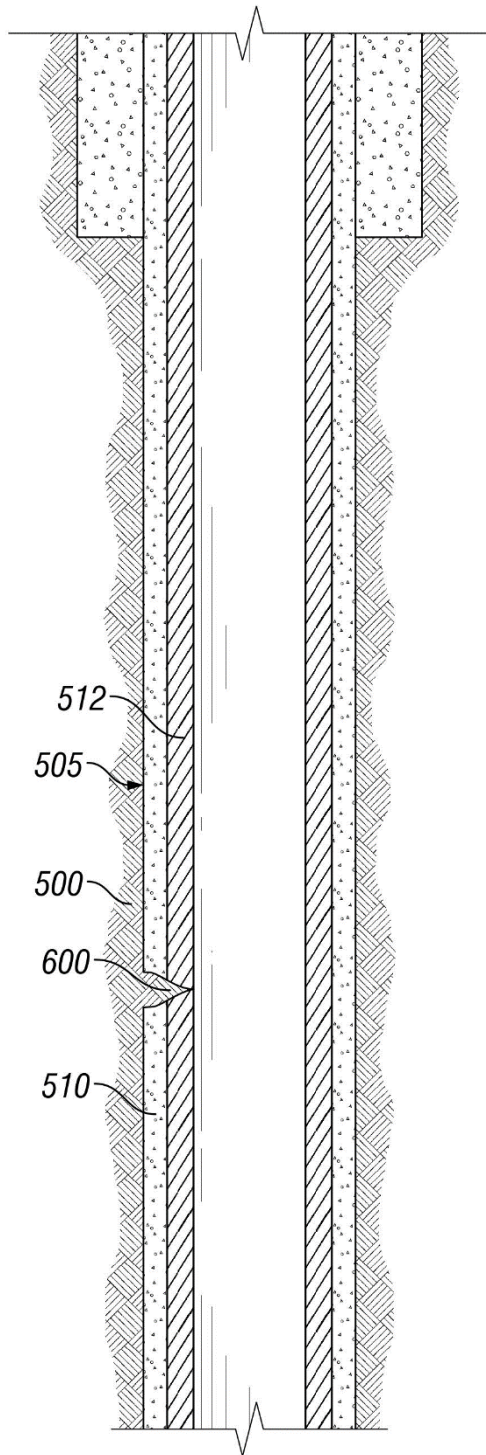


FIGURA 4

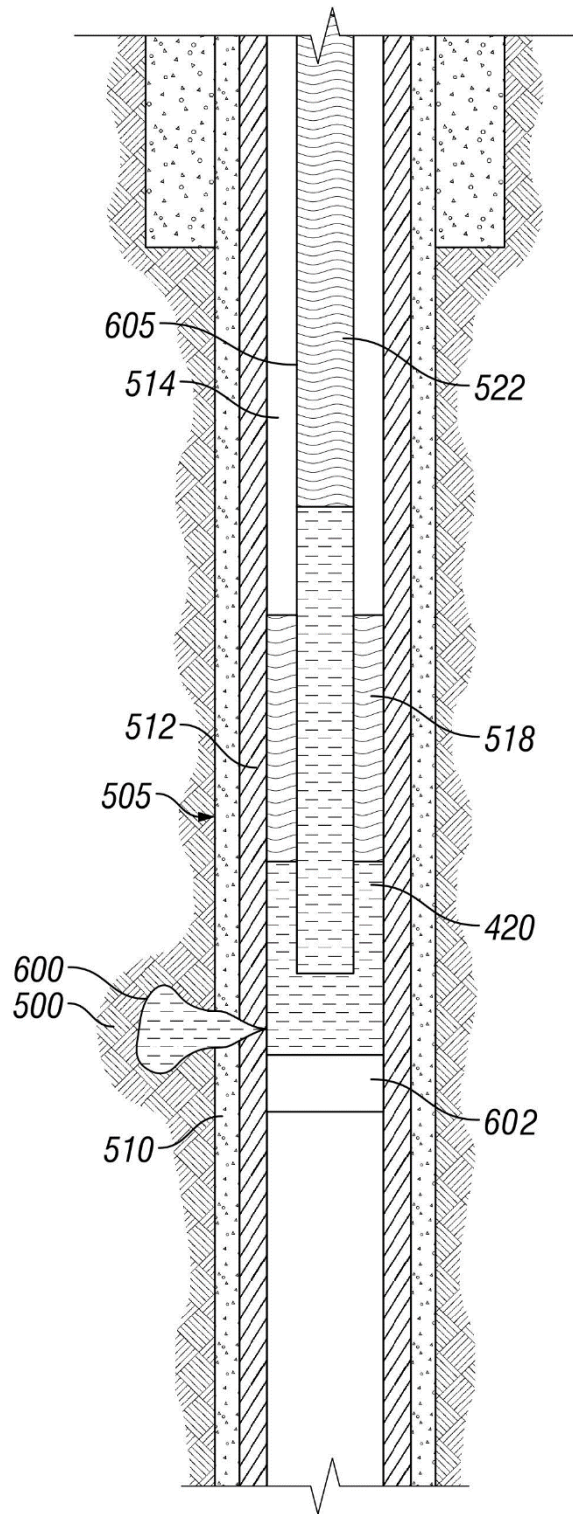


FIGURA 5

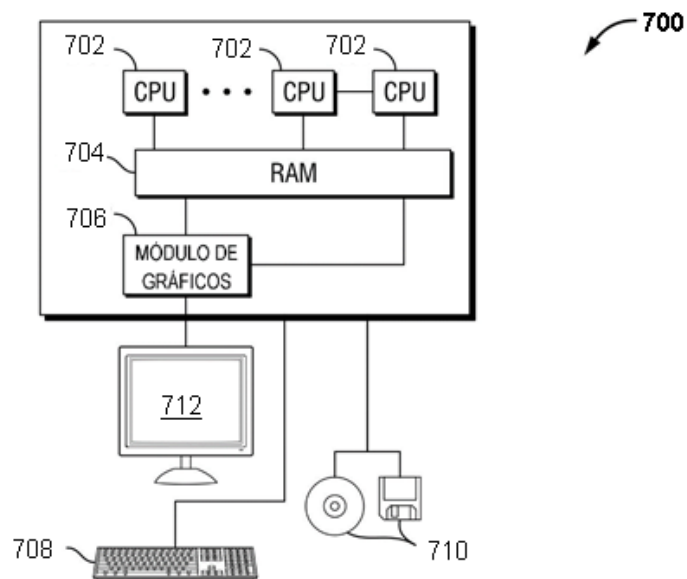


FIGURA 7

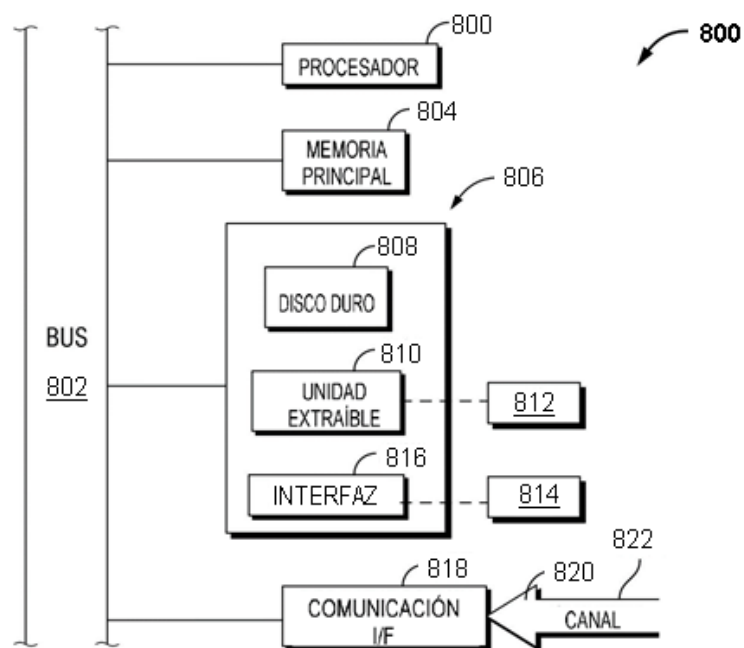


FIGURA 8