

## **MÉTODO DE DISEÑO DE POLÍMEROS PARA UN CONTROL EFICAZ DE LA PÉRDIDA DE FLUIDO**

### **ANTECEDENTES**

[0001] En la cementación de pozos, así como en la construcción de pozos y la cementación correctiva, se utilizan normalmente lechadas de cemento. Las lechadas de cemento se pueden usar en una variedad de aplicaciones subterráneas. Por ejemplo, en la construcción de pozos subterráneos, una sarta de tuberías (por ejemplo, una tubería de revestimiento, tuberías de revestimiento cortas, tubulares expandibles, etc.) puede introducirse en un pozo y cementarse en su lugar. El proceso de cementación de la sarta de tubería en su lugar se denomina comúnmente "cementación primaria". En un método de cementación primaria típico, se puede bombear una lechada de cemento a un espacio anular entre las paredes del pozo y la superficie exterior de la sarta de tubería dispuesta en su interior. La lechada de cemento puede fraguarse en el espacio anular, lo que forma una vaina anular de cemento endurecido y sustancialmente impermeable (es decir, una vaina 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, la función de la vaina de cemento que rodea la sarta de tubería es evitar la migración de fluidos en el anillo, así como proteger la sarta de tubería de la corrosión. Las lechadas de cemento también pueden usarse en métodos de cementación correctiva, por ejemplo, para sellar grietas u orificios en sartas de tubería o vainas de cemento, para sellar fracturas o zonas de formación altamente permeables, para colocar un tapón de cemento y similares.

[0002] Un desafío particular en la cementación puede ser retener un rendimiento satisfactorio de la lechada durante toda la operación de cementación. A menudo, se agrega un polímero a la lechada de cemento de manera que se pueda mantener un volumen de fluido constante dentro de la lechada de cemento. Un polímero puede reducir la pérdida de agua a través de una torta de filtro de cemento del pozo que se cementa en la formación u otras zonas permeables penetradas por el pozo. La pérdida de agua de la lechada de cemento puede tener muchos efectos nocivos sobre el cemento, incluidos cambios en la densidad, viscosidad y tiempo de espesamiento, así como cambios en la resistencia a la compresión del cemento fraguado, entre otros factores. En circunstancias extremas, la pérdida de fluido puede

aumentar la densidad circulante equivalente, lo que puede provocar fractura de formación y la pérdida de circulación o fraguado instantáneo de la lechada. Se ha reconocido en la industria que un control deficiente de la pérdida de fluido contribuye al aumento excesivo de la densidad y al puenteo de anillo, y se ha descubierto que es un factor en algunas fallas de cementación primaria. La previsibilidad de las propiedades de la lechada durante el bombeo de la lechada y las propiedades mecánicas del cemento fraguado final son por lo general los parámetros más importantes en una operación de cementación. La industria petrolera ha logrado avances considerables en el control de las propiedades de la lechada durante la mezcla mediante el desarrollo de polímeros que aumentan la previsibilidad y reproducibilidad de las lechadas de cemento.

[0003] Se pueden incluir en los fluidos polímeros que contribuyen a reducir la pérdida de fluido como se describió anteriormente. Cuando se incluye en un fluido, el polímero se denomina aditivo para el control de la pérdida de fluido o aditivo polimérico para el control de la pérdida de fluido. A menudo, los aditivos para el control de la pérdida de fluido tienen especificaciones de producto que permiten una variedad de condiciones de operación, tales como rango de temperatura, concentración de especies solubles, tales como sales, tamaño del espacio anular a través del cual cementar, entre otros factores. De tal manera, dos aditivos poliméricos para el control de la pérdida de fluido de diferentes fabricantes pueden cumplir con todos los requisitos de especificación para el control de la pérdida de fluido, pero pueden tener configuraciones físicas muy diferentes. Si bien ambos aditivos para el control de la pérdida de fluido pueden cumplir con todas las especificaciones técnicas, las características químicas y del rendimiento de pérdida de fluido no limitan el aditivo para el control de la pérdida de fluido fuera de la química específica. Para dos aditivos para el control de la pérdida de fluido particulares, puede existir una variabilidad entre las estructuras químicas que tiene un efecto sobre la humectación de las partículas y la viscosidad de la lechada de cemento a la que se agrega el aditivo para el control de la pérdida de fluido. La humectación y la viscosidad de las partículas pueden ser factores que pueden afectar la capacidad de mezcla. La expresión capacidad de mezcla se refiere a la capacidad de los componentes que comprende la lechada de cemento para mezclarse para formar la lechada de cemento. Una persona del oficio de nivel medio reconocerá que la expresión "capacidad de mezcla" o el término "mezclar" puede referirse en general a humedecer de manera adecuada las superficies de las partículas secas de la mezcla de cemento cuando se usa un procedimiento de

laboratorio estándar para cementos de pozos petrolíferos. Los métodos descritos en la presente pueden permitir a una persona del oficio de nivel medio derivar una relación analítica entre las propiedades y el rendimiento del polímero.

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

[0004] Estos dibujos ilustran ciertos aspectos de algunas de las formas de realización de la presente divulgación y no deben utilizarse para limitar o definir la divulgación.

[0005] La Figura 1 es un gráfico de la pérdida de fluido para un conjunto particular de agentes poliméricos para el control de la pérdida de fluido.

[0006] La Figura 2 es un gráfico de paridad de un modelo para un conjunto particular de agentes poliméricos para el control de la pérdida de fluido.

[0007] La Figura 3 es un gráfico de PDI en comparación con tiempos de humectación para un conjunto particular de agentes poliméricos para el control de la pérdida de fluido.

[0008] La Figura 4 es un gráfico de PDI, radio de giro, concentración de polímero y peso molecular para un conjunto de aditivos poliméricos para el control de la pérdida de fluido.

[0009] La Figura 5 es una ilustración esquemática de un ejemplo en el que se utiliza una lechada de cemento en una aplicación de cementación primaria.

[0010] La Figura 6 es una ilustración esquemática que muestra un ejemplo de una plataforma de cementación terrestre.

[0011] La Figura 7 es una ilustración esquemática que muestra la presencia de una pequeña perforación en una tubería de revestimiento y una vaina de cemento en un pozo.

[0012] La Figura 8 es una ilustración esquemática de un ejemplo en el que se utiliza una lechada de cemento en una aplicación de cementación correctiva.

[0013] La Figura 9 es una ilustración esquemática de otro ejemplo en el que se usa una lechada de cemento en una aplicación de cementación correctiva.

[0014] La Figura 10 es una ilustración esquemática de otro ejemplo en el que se usa una lechada de cemento en una aplicación de cementación correctiva.

### **DESCRIPCIÓN DETALLADA**

[0015] La presente divulgación puede referirse en general a polímeros y fluidos de tratamiento que incluyen polímeros. Se proporcionan en la presente métodos que pueden incluir la identificación y el desarrollo de una relación analítica entre las propiedades y el rendimiento del polímero. Las técnicas divulgadas en la presente

pueden incluir medir las propiedades fisicoquímicas de un polímero y correlacionar las propiedades con las propiedades deseables del polímero. Las técnicas pueden usarse para diseñar y preparar un fluido de tratamiento, por ejemplo. Al menos una forma de realización puede incluir medir las propiedades fisicoquímicas de un polímero. Las propiedades fisicoquímicas pueden incluir, entre otras, promedio en número, promedio en peso, índice de polidispersidad, radio de giro  $R_g$ , tiempo de humedad, reología, grado de ramificación, cantidad de átomos de carbono, relación de átomos de carbono con respecto a azufre, nitrógeno y/u oxígeno, y/o propiedad de pérdida de fluido.

[0016] Ahora se describirá una forma de realización de ejemplo de la correlación de propiedades deseables con al menos una propiedad fisicoquímica para un polímero de ejemplo. Para un aditivo polimérico para el control de la pérdida de fluido, el rendimiento de pérdida de fluido puede correlacionarse con el peso molecular del polímero. Sin embargo, como se ilustra a continuación, además del peso molecular promedio en número o masa, hay una contribución de la dispersión al rendimiento del aditivo polimérico para el control de la pérdida de fluido. Las reacciones de polimerización generan por lo general una distribución de tamaños de polímero alrededor de un valor promedio. Como se usa en la presente, "índice de polidispersidad" (PDI) se refiere a una medida de la distribución de masa molecular en una muestra de polímero dada. El índice de polidispersidad se calcula al dividir el peso molecular promedio en peso ( $M_w$ ) por el peso molecular promedio en número ( $M_n$ ). Como se usa en la presente, la expresión "peso molecular promedio en peso" se refiere en general a una medición de peso molecular que depende de las contribuciones de las moléculas de polímero de acuerdo con sus tamaños. Como se usa en la presente, la expresión "peso molecular promedio en número" se refiere en general a una medición de peso molecular que se calcula al dividir el peso total de todas las moléculas de polímero en una muestra con la cantidad total de moléculas de polímero en la muestra. Estas expresiones son bien conocidas por las personas del oficio de nivel medio.

[0017] Puede existir un PDI óptimo en el que el rendimiento de pérdida de fluido y la capacidad de mezcla de un polímero se equilibren a fin de minimizar la pérdida de fluido mientras se maximiza la capacidad de mezcla. Otro factor que puede contribuir al rendimiento de un polímero puede ser el grado de ramificación del polímero. El grado de ramificación puede medirse en términos del radio de giro de una molécula de polímero, en donde un mayor radio de giro para un peso molecular dado equivale a un menor grado de ramificación. Como se ilustra a continuación, las

especificaciones de los aditivos poliméricos para el control de la pérdida de fluido que no incluyen PDI y radio de giro pueden pasar como un producto dado, pero pueden tener características de rendimiento muy diferentes.

[0018] Para ilustrar los efectos del PDI y el radio de giro sobre los aditivos poliméricos para el control de la pérdida de fluido, se preparó una prueba para comparar un aditivo polimérico para el control de la pérdida de fluido de diferentes proveedores, en donde cada aditivo polimérico para el control de la pérdida de fluido tiene la misma especificación. Se obtuvieron cinco muestras de diferentes proveedores y se las formuló con cemento Portland clase H. La densidad de las lechadas preparadas se fijó en 16,2 libras por galón (1941 kg/m<sup>3</sup>). La concentración del aditivo polimérico para el control de la pérdida de fluido varió de 0,2 % a 0,6 % BWOC (en peso de cemento). Las lechadas se evaluaron para determinar la pérdida de fluido, la reología y el tiempo de humedad (o mezcla) a temperatura ambiente. Los resultados se muestran en la Tabla 1. El promedio en número (Mn) y el promedio en peso (Mw) se expresan en kilodaltons (kDa), la pérdida de fluido (FL) se expresa en ml, el tiempo de humedad se expresa en segundos, el índice de polidispersidad (PDI) es adimensional, el radio de giro Rg se expresa en nanómetros y la concentración se expresa en peso de cemento. Cada prueba se realizó de acuerdo con API 10B-2 y las instrucciones del fabricante para una cromatografía de permeación en gel y un instrumento de dispersión de luz de múltiples ángulos. Una persona del oficio de nivel medio debería reconocer las pruebas de laboratorio utilizadas.

Tabla 1

| Polímero | Propiedades del polímero |          |      |         |                                      | Tiempo de humedad (s) |            |            | Lectura del dial de lechada (100 rpm) |            |            | Pérdida de fluido (ml, duplicada) |            |            |
|----------|--------------------------|----------|------|---------|--------------------------------------|-----------------------|------------|------------|---------------------------------------|------------|------------|-----------------------------------|------------|------------|
|          | Mn (kDa)                 | Mw (kDa) | PDI  | Rg (nm) | 10% BWOW (lectura del dial, 100 rpm) | 0,3 % BWOC            | 0,4 % BWOC | 0,6 % BWOC | 0,3 % BWOC                            | 0,4 % BWOC | 0,6 % BWOC | 0,3 % BWOC                        | 0,4 % BWOC | 0,6 % BWOC |
| 1        | 823                      | 2202     | 2,68 | 150,2   | 88,5                                 | 18                    | 18         | 26         | 44,0                                  | 62,5       | 97,5       | 72                                | 40         | 22         |
| 2        | 934                      | 2428,3   | 2,60 | 161,5   | 155                                  | 15                    | 15         | 19         | 57,0                                  | 72,5       | 116,8      | 62                                | 34         | 26         |
| 3        | 962,7                    | 2627,8   | 2,73 | 181,5   | 154,5                                | 14                    | 17         | 23         | 57,0                                  | 73,5       | 119,0      | 117                               | 54         | 24         |
| 4        | 1237,6                   | 3655,4   | 2,95 | 214,4   | 250                                  | 30                    | 44         | 100        | 52,5                                  | 75,5       | 130,0      | 54                                | 30         | 26         |
| 5        | 1364                     | 3798     | 2,78 | 209,4   | 236                                  | 20                    | 25         | 69         | 57,8                                  | 74,8       | 135,0      | 70                                | 36         | 26         |

[0019] La Figura 1 es un gráfico de la pérdida de fluido a 80 °F (26,67 °C) de las muestras de 0,3 % BWOC de la Tabla 1. Se puede observar que el aumento del peso molecular no conduce necesariamente a una disminución de la pérdida de fluido. De tal manera, el peso molecular por sí solo no puede explicar las diferencias entre los

rendimientos de pérdida de fluido observados entre las muestras. Se puede usar un modelo que incorpore los efectos de PDI,  $R_g$ , concentración y peso molecular. Una forma del modelo puede expresarse en la Ecuación 1.

$$\ln(FL) = A + B * PDI + C * R_g + D[CONC] + E * Mw \quad (1)$$

[0020] Otra forma del modelo puede expresarse en la Ecuación 2.

$$FL = K * P(PDI)^\alpha * R(R_g)^\beta * C([Conc])^\gamma * D(Mw)^\delta \quad (2)$$

[0021] En el modelo de la Ecuación 1 o en el de la Ecuación 2, las constantes A, B, C, D y E y  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  pueden determinarse mediante regresión lineal multivariante o cualquier otra técnica de regresión. K, P, R, C y D representan funciones. P (PDI) indica una función de PDI. Las funciones pueden ser exponenciales, logarítmicas, trigonométricas, polinomiales, de ley de potencia o combinaciones de estas. Un gráfico de paridad del modelo 1, con los datos de la Tabla 1, se ilustra en la Figura 2. Las constantes para el modelo de gráfico de paridad se derivan de los datos de la Tabla 1. Se observa que el PDI más alto indica que, a medida que aumenta el PDI, la pérdida de fluido disminuye. Un mayor PDI indica la presencia de una mayor distribución de los pesos moleculares presentes en la muestra, lo que puede conducir a un mejor control sobre la pérdida de fluido. Sin embargo, aumentar el PDI también puede tener un impacto negativo en la mezcla. La Figura 3 ilustra un gráfico de PDI en comparación con tiempos de humectación a partir de los datos de la Tabla 1. Se observa que el tiempo de humedad generalmente aumenta al aumentar el PDI. El tiempo de humedad es el tiempo que tarda una cantidad de polímero en hidratarse. Para los polímeros de peso molecular particular de la Tabla 1, se observa que el PDI óptimo es alrededor de 2,7, en el cual los tiempos de humedad se minimizan y el PDI se maximiza. El PDI óptimo puede ser una función de la media de peso molecular de los polímeros, por ejemplo. En el caso de polímeros con un peso molecular promedio menor que los de la Tabla 1, el PDI óptimo puede ser mayor, y, en el caso de polímeros con un peso molecular promedio mayor que los de la Tabla 1, el PDI óptimo puede ser menor.

[0022] Los modelos presentados anteriormente pueden ser útiles para caracterizar un polímero y pueden proporcionar información sobre las especificaciones del polímero que pueden afectar el rendimiento del polímero, como el PDI y el radio de giro. Los modelos también pueden usarse para ajustar un polímero para una característica de rendimiento deseada o para diseñar un polímero con una propiedad fisicoquímica deseada. Por ejemplo, los modelos pueden usarse para diseñar un

polímero que tenga una propiedad deseada de tiempo de humedad y/o de pérdida de fluido. Los modelos pueden usarse para determinar el promedio en número, promedio en peso, índice de polidispersidad y radio de giro  $R_g$  que se requiere para lograr el tiempo de humedad deseado, reología, grado de ramificación, cantidad de átomos de carbono, relación de átomos de carbono con respecto a azufre, nitrógeno y/u oxígeno, y/o propiedad de pérdida de fluido. Los modelos también pueden usarse para diseñar un fluido de tratamiento con una propiedad deseada con un aditivo de polímero dado. Los modelos pueden usarse para determinar la concentración requerida del polímero que se ha de incluir para lograr la pérdida de fluido deseada, por ejemplo.

[0023] La Figura 4 ilustra múltiples gráficos de PDI, radio de giro, concentración de polímero y peso molecular para un conjunto de aditivos poliméricos para el control de la pérdida de fluido. Para el conjunto de materiales dado, se observa que la pérdida de fluido puede disminuir en función del aumento de PDI, el aumento del peso molecular y el aumento de la concentración. Para un radio de giro y PDI dados, un aumento del peso molecular puede tener una correlación inversa con la pérdida de fluido. Como apreciará una persona del oficio de nivel medio, el radio de giro y el peso molecular son covariables. El aumento del peso molecular sin afectar el radio de giro puede lograrse mediante la introducción de ramificaciones en la cadena principal del polímero, por ejemplo, lo que puede conducir a una disminución del rendimiento de pérdida de fluido.

[0024] Las propiedades y modelos de polímeros analizados anteriormente pueden ser beneficiosos al diseñar un cemento con un requisito de pérdida de fluido y/o un requisito de capacidad de mezcla. Como se analizó anteriormente, las propiedades fisicoquímicas, tales como PDI, pueden afectar el rendimiento de pérdida de fluido y el tiempo de humedad de una lechada que comprende un polímero como aditivo polimérico para el control de la pérdida de fluido. Un operador de cemento puede tener una pluralidad de polímeros disponibles para incluir en una lechada de cemento. La pluralidad de polímeros puede tener diferentes químicas ya que la pluralidad de polímeros puede obtenerse de diversos proveedores. Generalmente, se puede preparar una lechada de prueba que comprenda un polímero seleccionado y luego se puede analizar la lechada de prueba para determinar la pérdida de fluido y la capacidad de mezcla. Dado que puede haber una amplia variabilidad entre polímeros de la misma química de diferentes fabricantes, puede ser necesario preparar varias pruebas antes de encontrar una lechada mezclable de manera adecuada y con pérdida de fluido controlada. La naturaleza de prueba y error de las pruebas puede

requerir tiempo para completarse y puede ser ineficaz. Además, la lechada resultante puede ser compleja ya que la metodología de prueba y error puede no encontrar el PDI óptimo con respecto al tiempo de humedad a una concentración.

[0025] Un método para diseñar una lechada de cemento, u otros fluidos de tratamiento de pozo que comprenden un polímero, puede incluir proporcionar una pluralidad de polímeros, proporcionar al menos uno de un tiempo de humedad requerido, reología de fluidos y rendimiento de pérdida de fluido requerido de una lechada de cemento que comprende un polímero, correlacionar el rendimiento de pérdida de fluido y/o el tiempo de humedad de cada uno de los polímeros disponibles en función de una o más propiedades fisicoquímicas, y seleccionar un polímero en función, al menos en parte, de la correlación. La selección puede incluir además seleccionar una concentración del polímero. La correlación puede incluir un modelo como se describió anteriormente. El modelo puede ser específico de la química del polímero. En algunos ejemplos, la correlación y, por extensión, el modelo pueden utilizar parámetros fisicoquímicos de las entradas de polímero o como constantes, por ejemplo.

[0026] Las lechadas de cemento pueden incluir generalmente agua y un cemento junto con un polímero. El polímero puede incluirse como un aditivo polimérico para el control de la pérdida de fluido. Una mezcla de cemento puede incluir uno o más materiales secos a granel de diversos componentes cementosos, que pueden mezclarse en seco para formar la mezcla seca de cemento antes de combinarlos con el agua. En algunos casos, también se pueden mezclar en seco "aditivos químicos" con la mezcla de cemento. Alternativamente, algunos de los aditivos químicos no se pueden combinar hasta que la mezcla (a veces denominada mezcla a granel) se haya mezclado con el agua. Los componentes de cemento pueden describirse por lo general como solubles en álcali. En una forma de realización, una lechada de cemento puede incluir agua y una mezcla de cemento, en donde la mezcla de cemento incluye cemento hidráulico y dos o más fuentes de sílice, tales como polvo de horno de cemento y una puzolana natural.

[0027] 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 alrededor de 7 libras por galón ("ppg") ( $840 \text{ kg/m}^3$ ) a alrededor de 23 ppg ( $2760 \text{ kg/m}^3$ ). En los ejemplos espumados, las lechadas de cemento espumadas pueden tener una densidad en el rango de alrededor de 7 ppg a alrededor de 15 ppg (o incluso menos).

[0028] 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), salmuera (por ejemplo, agua salada saturada producida en formaciones subterráneas), agua de mar o combinaciones de estas. Generalmente, el agua puede provenir de cualquier fuente, siempre que no contenga un exceso de compuestos que puedan afectar de manera indeseable otros componentes en la lechada de cemento. El agua puede incluirse en una cantidad suficiente para formar una lechada bombeable. El agua puede incluirse en las lechadas de cemento en el rango de alrededor de 40 % a alrededor de 200 % en peso de la lechada de cemento ("bwoc"). En algunos ejemplos, el agua puede incluirse en una cantidad en el rango de alrededor de 40 % a alrededor de 150 % bwoc.

[0029] La lechada de cemento puede incluir dos o más componentes de cemento. Se puede utilizar una variedad de cementos hidráulicos de acuerdo con la presente divulgación, incluso, entre otros, los que comprenden calcio, aluminio, silicio, oxígeno, hierro y/o azufre, que se fraguan y endurecen mediante la reacción con el agua. Los cementos hidráulicos adecuados pueden incluir cementos Portland, yeso y cementos de 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 el Instituto Americano del Petróleo (*American Petroleum Institute*), API Specification for Materials and Testing for Well Cements, 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. Se pueden diseñar lechadas de cemento que pueden considerarse "de bajo Portland" mediante las técnicas divulgadas en la presente.

[0030] Cuando está presente, el cemento hidráulico puede incluirse por lo general en las lechadas de cemento en una cantidad suficiente para proporcionar la resistencia a la compresión y/o la 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 alrededor de 0 % a alrededor de 99 % bwoc. El cemento hidráulico puede estar presente en una cantidad que varía entre cualesquiera de, y/o que incluye cualesquiera de, alrededor de 1 %, alrededor de 5 %, alrededor de 10 %, alrededor de 20 %, alrededor de 40 %, alrededor de 60 %, alrededor de 80 % o alrededor de 90 % bwoc. El componente de cemento puede considerarse "de bajo Portland" porque el cemento Portland (cuando se lo usa) puede estar presente en la lechada de cemento en una cantidad de alrededor de 40 % o menos bwoc y,

alternativamente, alrededor de 10 % o menos. También se pueden diseñar lechadas de cemento libres (o esencialmente libres) de cemento Portland.

[0031] Además del cemento Portland, se pueden usar componentes de cemento adicionales que puedan 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 más. Algunos de los componentes de cemento solubles en álcali pueden incluir un cemento de geopolímero, que puede incluir una fuente de aluminosilicato, una fuente de silicato de metal y un activador. El cemento de geopolímero puede reaccionar para formar un geopolímero. Un geopolímero es un polímero inorgánico que forma redes de rango largo, unidas de manera covalente y no cristalinas. Los geopolímeros pueden formarse mediante la disolución química y la posterior recondensación de diversos aluminosilicatos y silicatos para formar una red tridimensional o un polímero mineral tridimensional. El activador puede incluir, entre otros, hidróxidos metálicos, sales de cloruro tales como KCl,  $\text{CaCl}_2$ , NaCl, carbonatos tales como  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 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 es un mineral que comprende aluminio, silicio y oxígeno, además de contracciones. Una amplia variedad de minerales adecuados pueden ser una fuente de aluminosilicato, en el sentido de 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 lechada. Algunos minerales tales como andalucita, cianita y sillimanita son fuentes naturales de aluminosilicato que tienen la misma lechada,  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , pero una estructura cristalina diferente. Cada mineral de andalucita, cianita o sillimanita puede reaccionar más o menos rápidamente y en grados diferentes a la misma temperatura y presión debido a las diferentes estructuras cristalinas. Otras fuentes adecuadas de aluminosilicato pueden incluir, entre otras, arcillas calcinadas, arcillas parcialmente calcinadas, arcillas de caolinita, arcillas lateríticas, arcillas de illita, vidrio natural, relaves mineros, escoria de alto horno y cenizas volantes de carbón. La fuente de silicato de metal puede incluir cualquier silicato de metal adecuado. Un silicato es un compuesto que contenga un compuesto de silicio aniónico. Algunos ejemplos de silicato incluyen el anión de ortosilicato también denominado anión de tetróxido de silicio,  $\text{SiO}_4^{4-}$ , así como hexafluorosilicato  $[\text{SiF}_6]^{2-}$ . Otros silicatos comunes incluyen silicatos cíclicos y monocatenarios que pueden tener la fórmula general  $[\text{SiO}_{2+n}]^{2n-}$  y silicatos formadores de láminas  $([\text{SiO}_{2,5}]^-)_n$ . Cada

ejemplo de silicato puede tener uno o más cationes de metal asociados con cada molécula de silicato. Algunas fuentes de silicato de metal adecuadas pueden incluir, entre otras, silicato de sodio, silicato de magnesio y silicato de potasio.

[0032] Cuando está presente, el cemento de geopolímero puede incluirse por lo general en las lechadas de cemento en una cantidad suficiente para proporcionar la resistencia a la compresión deseada. El cemento de geopolímero puede estar presente en las lechadas de cemento en cualquier concentración adecuada, incluso en una cantidad en el rango de alrededor de 0 % a alrededor de 99 % bwoc. El cemento de geopolímero puede estar presente en una cantidad que varía entre cualesquiera de, y/o que incluye cualesquiera de, alrededor de 1 %, alrededor de 5 %, alrededor de 10 %, alrededor de 20 %, alrededor de 40 %, alrededor de 60 %, alrededor de 80 % o alrededor de 90 % bwoc. Las personas del oficio de nivel medio, con el beneficio de esta divulgación, podrían seleccionar una cantidad adecuada de cemento de geopolímero para una aplicación particular.

[0033] Otros componentes de cemento solubles en álcali 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 usar una vía diferente para obtener un producto similar al obtenido con cemento Portland. Se puede inducir una reacción puzolánica en donde ácido silícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) y portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) reaccionan para formar un producto de cemento (hidrato de silicato de calcio). Si otros compuestos, tales como aluminato, están presentes en la fuente de sílice, pueden ocurrir reacciones adicionales para formar productos de cemento adicionales, tales como hidratos de aluminato de calcio. El hidróxido de calcio necesario para la reacción puede proporcionarse a partir de otros componentes de cemento, tales como cemento Portland, o puede agregarse por separado a la lechada de cemento. Los ejemplos de fuentes de sílice adecuadas incluyen cenizas volantes, escoria, humo de sílice, sílice cristalina, harina de sílice, polvo de horno de cemento ("CKD"), vidrios naturales, metacaolín, tierra de diatomeas, zeolita, esquisto y cenizas de desechos agrícolas (por ejemplo, cenizas de cáscara de arroz, cenizas de caña de azúcar y cenizas de bagazo), entre otros. Más adelante se analizarán con mayor detalle algunos ejemplos específicos de la fuente de sílice. Cuando está presente, la fuente de sílice puede incluirse por lo general en las lechadas de cemento en una cantidad suficiente para proporcionar la resistencia a la compresión y/o la densidad deseadas. La fuente de sílice puede estar presente en las lechadas de cemento en cualquier concentración adecuada, incluso en una cantidad

en el rango de alrededor de 0 % a alrededor de 99 % bwoc. La fuente de sílice puede estar presente en una cantidad que varía entre cualesquiera de, y/o que incluye cualesquiera de, alrededor de 1 %, alrededor de 5 %, alrededor de 10 %, alrededor de 20 %, alrededor de 40 %, alrededor de 60 %, alrededor de 80 % o alrededor de 90 % bwoc. Las personas del oficio de nivel medio, con el beneficio de esta divulgación, podrían seleccionar una cantidad adecuada de fuente de sílice para una aplicación particular.

[0034] Un ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir cenizas volantes. Puede ser adecuada una variedad de cenizas volantes, que incluye las cenizas volantes clasificadas como cenizas volantes de clase C y clase F de acuerdo con Instituto Americano del Petróleo (*American Petroleum Institute*), API Specification for Materials and Testing for Well Cements, API Specification 10, quinta ed., 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 no contienen por lo general una cantidad suficiente de cal para inducir una reacción cementosa, por lo que se necesita una fuente adicional de iones de calcio para una lechada de cemento de fraguado retardado que comprenda cenizas volantes de clase F. Cuando se usa, se puede mezclar cal con cenizas volantes de clase F en cualquier cantidad adecuada, incluso una cantidad en el rango de alrededor de 0,1 % a alrededor de 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 en el comercio a través de Halliburton Energy Services, Inc., Houston, Texas.

[0035] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir escoria. La escoria es generalmente un subproducto de la producción de diversos metales a partir de sus minerales correspondientes. A modo de ejemplo, la producción de hierro fundido puede producir escoria como un subproducto de alto horno y granulado, en donde la escoria comprende generalmente las impurezas oxidadas que se encuentran en el mineral de hierro. Generalmente, la escoria no contiene material básico suficiente, por lo que se puede usar cemento de escoria que puede incluir además una base para producir una lechada fraguable que puede reaccionar con agua para 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.

[0036] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir CKD. Polvo

de horno de cemento o "CKD", como se usa en la presente, se refiere a una alimentación de horno parcialmente calcinada que se retira de la corriente de gas y se recolecta, 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 normalmente se desechan. El CKD es otro componente que puede incluirse en los ejemplos de las lechadas de cemento.

[0037] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir vidrio natural. Ciertos vidrios naturales pueden exhibir propiedades cementosas, ya que pueden fraguar y endurecerse en presencia de cal hidratada y agua. El vidrio natural también se puede moler, por ejemplo. Generalmente, el vidrio natural puede tener cualquier distribución de tamaño de partícula que se desee para una aplicación particular. En ciertas formas de realización, el vidrio natural puede tener una media de tamaño de partícula en un rango de alrededor de 1 micrómetro a alrededor de 200 micrómetros. La media de tamaño de partícula corresponde a valores d50 medidos con analizadores de tamaño de partícula tales como los fabricados por Malvern Instruments, Worcestershire, Reino Unido. Una persona del oficio de nivel medio, con el beneficio de esta divulgación, podría seleccionar un tamaño de partícula para el vidrio natural adecuado para el uso para una aplicación seleccionada.

[0038] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir metacaolín. Generalmente, el metacaolín es una puzolana blanca que puede prepararse al calentar arcilla de caolín, por ejemplo, hasta temperaturas en el rango de alrededor de 600 °C a alrededor de 800 °C.

[0039] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir esquisto. Entre otras cosas, el esquisto incluido en las lechadas de cemento puede reaccionar con el exceso de cal para formar un material de cementación adecuado, por ejemplo, silicato de calcio hidratado. Varios esquistos son adecuados, incluso los que comprenden silicio, aluminio, calcio y/o magnesio. Un ejemplo de un esquisto adecuado incluye esquisto vitrificado. Generalmente, el esquisto puede tener cualquier distribución de tamaño de partícula que se desee para una aplicación particular. En ciertas formas de realización, el esquisto puede tener una distribución de tamaño de partícula en el rango de alrededor de 37 micrómetros a alrededor de 4.750 micrómetros.

[0040] Otro ejemplo de una fuente de sílice adecuada puede incluir zeolita. Las zeolitas son generalmente minerales de aluminosilicato porosos que pueden ser un material natural o sintético. Las zeolitas sintéticas se basan en el mismo tipo de celda

estructural que las zeolitas naturales, y pueden incluir hidratos de aluminosilicato. Como se usa en la presente, la expresión "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 tal como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , etc. Las zeolitas que comprenden cationes tales como sodio también pueden proporcionar fuentes de cationes adicionales a la lechada de cemento a medida que las zeolitas se disuelven.

[0041] Las lechadas de cemento pueden incluir además cal hidratada. Como se usa en la presente, se entenderá que la expresión "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 los ejemplos de las lechadas de cemento, por ejemplo, para formar una lechada hidráulica con la fuente de sílice. La cal hidratada puede incluirse en cualquier concentración adecuada, incluso, entre otras, una relación en peso de fuente de sílice con respecto a cal hidratada de alrededor de 10:1 a alrededor de 1:1 o una relación de alrededor de 3:1 a alrededor de 5:1. Cuando está presente, la cal hidratada puede incluirse en las lechadas de cemento en una cantidad en el rango de alrededor de 10 % a alrededor de 100 % en peso de la fuente de sílice, por ejemplo. La cal hidratada puede estar presente en una cantidad que varía entre cualesquiera de, y/o que incluye cualesquiera de, alrededor de 10 %, alrededor de 20 %, alrededor de 40 %, alrededor de 60 %, alrededor de 80 % o alrededor de 100 % en peso de la fuente de sílice. La persona del oficio de nivel medio, con el beneficio de esta divulgación, reconocería la cantidad adecuada de cal hidratada que se ha de incluir para una aplicación elegida.

[0042] 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, se pueden necesitar calcio y un pH alto, por ejemplo, un pH de 7,0 o más, para que ocurran ciertas reacciones cementosas. Una ventaja potencial de la cal hidratada puede ser que se suministran iones de calcio e iones de hidróxido en la misma molécula. En otro ejemplo, la fuente de calcio puede ser  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  o  $\text{CaCl}_2$ , con el hidróxido suministrado por  $\text{NaOH}$  o  $\text{KOH}$ , por ejemplo. Una persona del oficio de nivel medio entendería que la fuente de calcio y la fuente de hidróxido alternativas pueden incluirse en una lechada de cemento de la misma manera que la cal hidratada. Por ejemplo, la fuente de calcio y la fuente de hidróxido pueden incluirse en cualquier

cantidad adecuada, incluso, entre otras, una relación en peso de fuente de sílice con respecto a cal hidratada de alrededor de 10:1 a alrededor de 1:1 o una relación de alrededor de 3:1 a alrededor de 5:1. Cuando está presente, la fuente de calcio y la fuente de hidróxido alternativas pueden incluirse en las lechadas de cemento en una cantidad en el rango de alrededor de 10 % a alrededor de 100 % en peso de la fuente de sílice, por ejemplo. La fuente de calcio y la fuente de hidróxido alternativas pueden estar presentes en una cantidad que varía entre cualesquiera de, y/o que incluye cualesquiera de, alrededor de 10 %, alrededor de 20 %, alrededor de 40 %, alrededor de 60 %, alrededor de 80 % o alrededor de 100 % en peso de la fuente de sílice. La persona del oficio de nivel medio, con el beneficio de esta divulgación, reconocería la cantidad adecuada de la fuente de calcio y la fuente de hidróxido alternativas que se ha de incluir para una aplicación elegida.

[0043] 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. Los ejemplos de tales aditivos incluyen, entre otros, agentes densificantes, activadores, aditivos ligeros, aditivos generadores de gas, aditivos que mejoran las propiedades mecánicas, materiales de pérdida de circulación, aditivos de control de filtración, aditivos para el control de la pérdida de fluido, agentes antiespumantes, agentes espumantes, dispersantes, aditivos tixotrópicos y combinaciones de estos. Una persona del oficio de nivel medio, con el beneficio de esta divulgación, podría seleccionar un aditivo adecuado para una aplicación particular.

[0044] Las siguientes declaraciones pueden describir ciertos aspectos de la divulgación pero no deben considerarse limitativas de una forma de realización particular.

[0045] Declaración 1. Un método de tratamiento de pozos que comprende: proporcionar un polímero; correlacionar el rendimiento del polímero con al menos una propiedad física del polímero; y preparar un fluido de tratamiento que comprende el polímero.

[0046] Declaración 2. El método de acuerdo con la declaración 1, en donde la al menos una propiedad física incluye el peso molecular promedio en número, el peso molecular promedio en peso, el índice de polidispersidad, el radio de giro o combinaciones de estos.

[0047] Declaración 3. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-2, en donde la etapa de correlación incluye usar un modelo de pérdida

de fluido, en donde el modelo es una función de al menos una propiedad física del polímero.

[0048] Declaración 4. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-3, en donde el modelo es específico de una química del polímero.

[0049] Declaración 5. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-4, en donde el modelo tiene la siguiente forma:

$\ln(FL) = A + B * PDI + C * R_g + D[CONC] + E * Mw$  donde A, B, C, D y E son constantes, PDI es el índice de polidispersidad, Rg es el radio de giro, conc es la concentración, Mw es el peso molecular promedio en número y FL es la pérdida de fluido.

[0050] Declaración 6. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-5, en donde el modelo tiene la siguiente forma:

$FL = K * P(PDI)^\alpha * R(R_g)^\beta * C([Conc])^\gamma * D(Mw)^\delta$  donde  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , K, P, R, C, y D son constantes, PDI es el índice de polidispersidad, Rg es el radio de giro, conc es la concentración, Mw es el peso molecular promedio en número y FL es la pérdida de fluido.

[0051] Declaración 7. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-6, en donde la etapa de correlación incluye correlacionar el índice de polidispersidad con el tiempo de humedad del polímero.

[0052] Declaración 8. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-7, en donde la etapa de diseñar el fluido de tratamiento incluye seleccionar una concentración del polímero en función, al menos en parte, de la correlación del índice de polidispersidad con el tiempo de humedad.

[0053] Declaración 9. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-8, que comprende además proporcionar un tiempo de humedad requerido, un rendimiento de pérdida de fluido requerido o ambos, y en donde seleccionar una concentración del polímero incluye seleccionar una concentración del polímero de modo que el polímero proporcione el tiempo de humedad requerido y/o el rendimiento de pérdida de fluido requerido.

[0054] Declaración 10. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-9, en donde el fluido incluye al menos un fluido seleccionado del grupo que consiste en una lechada de cemento, un fluido espaciador, un fluido de desplazamiento, un fluido de lavado y combinaciones de estos.

[0055] Declaración 11. Un método de cementación que comprende:

proporcionar una pluralidad de polímeros; correlacionar el rendimiento de pérdida de fluido y el tiempo de humedad de cada uno de la pluralidad de polímeros con al menos una propiedad física y/o concentración de cada uno de la pluralidad de polímeros; seleccionar al menos un polímero de la pluralidad de polímeros, en donde la selección es en función, al menos en parte, de la correlación; preparar una lechada de cemento que comprende el al menos un polímero.

[0056] Declaración 12. El método de acuerdo con la declaración 11, en donde la etapa de correlación incluye usar un modelo de pérdida de fluido, en donde el modelo es una función de al menos una propiedad física de un polímero.

[0057] Declaración 13. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 11-12, en donde el modelo tiene la siguiente forma:  $\ln(FL) = A + B * PDI + C * R_g + D[CONC] + E * Mw$  donde A, B, C, D y E son constantes, PDI es el índice de polidispersidad,  $R_g$  es el radio de giro, conc es la concentración, Mw es el peso molecular promedio en número y FL es la pérdida de fluido.

[0058] Declaración 14. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 11-13, en donde el modelo tiene la siguiente forma:  $FL = K * P(PDI)^\alpha * R(R_g)^\beta * C([Conc])^\gamma * D(Mw)^\delta$  donde  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , K, P, R, C, y D son constantes, PDI es el índice de polidispersidad,  $R_g$  es el radio de giro, conc es la concentración, Mw es el peso molecular promedio en número y FL es la pérdida de fluido.

[0059] Declaración 15. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 11-14, en donde la etapa de selección incluye seleccionar un polímero que satisfaga o supere el tiempo de humedad requerido, el rendimiento de pérdida de fluido requerido, o ambos.

[0060] Declaración 16. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 11-15, en donde la selección incluye además seleccionar una concentración del polímero en función, al menos en parte, de la correlación y el rendimiento de pérdida de fluido requerido.

[0061] Declaración 17. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 11-16, en donde la lechada de cemento incluye el al menos un polímero, un material cementoso y agua.

[0062] Declaración 18. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 11 a 17, que comprende además colocar la lechada de cemento en un

pozo.

[0063] Declaración 19. Un método que comprende: proporcionar una pluralidad de polímeros; correlacionar el rendimiento de pérdida de fluido y el tiempo de humedad, mediante el uso de un modelo, de cada uno de la pluralidad de polímeros con al menos una propiedad física y/o concentración de cada uno de la pluralidad de polímeros; seleccionar al menos un polímero y la concentración de este de la pluralidad de polímeros, en donde el al menos un polímero seleccionado y la concentración de este satisfacen o superan un tiempo de humedad requerido y un rendimiento de pérdida de fluido requerido, en donde la selección es en función, al menos parcialmente, de la correlación; y preparar una lechada de cemento que comprende el al menos un polímero y la concentración de este.

[0064] Declaración 20. El método de acuerdo con la declaración 19, en donde la lechada de cemento incluye el al menos un polímero, un material cementoso y agua.

[0065] Se describirán ahora con más detalle métodos de ejemplo de uso de las lechadas de cemento con referencia a las Figuras 5-10. Cualquiera de los ejemplos anteriores de las lechadas de cemento y/o lechadas pueden aplicarse en el contexto de las Figuras 5-10. Con respecto a la Figura 5, se describirá ahora la preparación de una lechada de cemento de acuerdo con ejemplos. La Figura 5 ilustra un sistema 300 para la preparación de una lechada de cemento y el posterior transporte de la lechada de cemento a un pozo de acuerdo con ciertos ejemplos. Como se muestra, la lechada de cemento se puede mezclar en un equipo de mezcla 305, tal como una mezcladora de chorro, una mezcladora de recirculación o una mezcladora por lotes, por ejemplo, y luego se bombea a través de un equipo de bombeo 310 al pozo. En algunos ejemplos, el equipo de mezcla 305 y el equipo de bombeo 310 se pueden disponer en uno o más camiones mezcladores de cemento como será evidente para las personas del oficio de nivel medio. Si se va a utilizar una lechada de cemento, se puede preformular y preparar un cemento seco a granel en una planta de cemento a granel, por ejemplo. Se puede mezclar una lechada de cemento al combinar el cemento seco a granel en el equipo de mezcla 305 o en otro equipo de mezcla. Se pueden mezclar aditivos líquidos con la lechada de cemento en el equipo de mezcla 305. El equipo de bombeo 310 puede bombear la lechada de cemento al pozo.

[0066] Ahora se describirá un ejemplo de técnica de cementación primaria que utiliza una lechada de cemento con referencia a las Figuras 5 y 6. La Figura 6 ilustra un equipo de superficie 400 que se puede usar en la colocación de una lechada de cemento de acuerdo con ciertos ejemplos. Debe observarse que, si bien la Figura 6

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 lo ilustra la Figura 6, el equipo de superficie 400 puede incluir una unidad de cementación 405, que puede incluir uno o más camiones mezcladores de cemento. La unidad de cementación 405 puede incluir un equipo de mezcla 410 y un equipo de bombeo 415 (por ejemplo, la Figura 5) como será evidente para las personas del oficio de nivel medio. 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 420 y hasta un cabezal de cementación 425 que transporta la lechada de cemento 430 al fondo de 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 el pozo de lodo 440.

[0067] La Figura 7 representa en general la colocación de la lechada de cemento 420 en una formación subterránea 500 de acuerdo con ejemplos. Como se ilustra, se puede perforar un pozo 505 en la formación subterránea 500. Si bien el pozo 505 se muestra como extendido generalmente de manera vertical en la formación subterránea 500, los principios descritos en la presente también se pueden aplicar a pozos que se extienden en un ángulo a través de la formación subterránea 500, tales como pozos horizontales e inclinados. Como se ilustra, el pozo 505 incluye las paredes 506. En el ejemplo ilustrado, se insertó 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 una vaina de cemento 510. En ejemplos alternativos, la tubería de revestimiento de superficie 508 puede fijarse en el pozo 505 mediante una resina endurecida o una vaina compuesta de resina endurecida-cemento en lugar de la vaina de cemento 510. En el ejemplo ilustrado, 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 512 también pueden disponerse 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. Se pueden fijar uno o más centralizadores 516 a la tubería de revestimiento 512, por ejemplo, para centralizar la tubería de revestimiento 512 en el pozo 505 antes de la

operación de cementación y durante esta.

[0068] Aún con respecto a la Figura 7, 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 revestimiento 520 en la parte inferior de la tubería de revestimiento 512 y suba alrededor de la tubería de revestimiento 512 hacia dentro del anillo de pozo 514. Después de que se haya bombeado el primer fluido espaciador 518 al interior de la tubería de revestimiento 512, se puede bombear lechada de cemento 420 al interior de la tubería de revestimiento 512. De manera similar al bombeo del primer fluido espaciador 518, se puede permitir que la lechada de cemento 420 fluya hacia abajo por el interior de la tubería de revestimiento 512 a través de la zapata de revestimiento 520 en la parte inferior de la tubería de revestimiento 512 y suba alrededor de la tubería de revestimiento 512 hacia dentro del anillo de pozo 514. Después de que se haya bombeado la lechada de cemento 420 al interior de la tubería de revestimiento 512, se puede bombear un segundo fluido espaciador 522 a la tubería de revestimiento 512 y dejar que fluya hacia abajo 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 delante o detrás de la lechada de cemento 420. Una vez colocada la lechada de cemento 420 en la posición deseada en el anillo de pozo 514, se puede permitir que la lechada de cemento 420 se fragüe en el anillo de pozo 514, por ejemplo, para formar una vaina de resina endurecida que soporte y posicione la tubería de revestimiento 512 en el pozo 505. Alternativamente, se puede usar un fluido espaciador o ninguno, y puede que no sea necesario separar la lechada de cemento 420 de otros fluidos introducidos anterior o posteriormente en el pozo 505. Si bien no se las ilustra, también se pueden utilizar otras técnicas para la introducción de la lechada de cemento 420. A modo de ejemplo, se pueden usar técnicas de circulación inversa que incluyen la introducción de la lechada de cemento 420 en la formación subterránea 500 a través del anillo de 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 un fluido espaciador o ninguno. A medida que se introduce, la lechada de cemento 420 puede desplazar el primer fluido espaciador 518. Al menos una porción del primer fluido espaciador 518 puede salir del anillo de pozo 514 a través de una línea de flujo 38 y depositarse, por ejemplo, en uno o más pozos de lodo 440,

como se muestra en la Figura 6.

[0069] Las Figuras 8-10 ilustran métodos de cementación correctiva o secundaria. Con respecto a la Figura 8, se muestra una sección transversal parcial de un pozo de producción convencional 505 que tiene una tubería de revestimiento 512 sometida a cementación primaria. La vaina de cemento 510 alrededor de la tubería de revestimiento 512 puede tener defectos causados potencialmente por varios problemas, tales como un curado inadecuado de la vaina 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 la vaina de cemento 510 que rodean 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 Figura 8, se ha formado una pequeña perforación 600 en la vaina de cemento 510 y la tubería de revestimiento 512, lo que permite potencialmente la introducción de fluidos indeseables en el interior de la tubería de revestimiento 512.

[0070] Con respecto a la Figura 7, una pequeña perforación 600 puede rellenarse o taponarse con una lechada de cemento 420 o un compuesto de resina-cemento. Un tapón 700 (el tapón 700 puede ser cualquier tipo de tapón, por ejemplo, tapón puente, etc.) puede colocarse inicialmente de manera adyacente a la pequeña perforación 600 y debajo de esta para formar una barrera a fin de impedir que la lechada de cemento 420 fluya hacia abajo por el pozo 505 y, por lo tanto, permitir que la lechada de cemento 420 de la presente divulgación rellene las pequeñas perforaciones 600 en la tubería de revestimiento 512 y la vaina de cemento 510. Como se muestra en la Figura 9, la tubería 705 (por ejemplo, tubería bobinada, tubería de perforación, etc.) se puede bajar al pozo 505. Se puede bombear un primer fluido espaciador 518 al interior del pozo 505 a través de la tubería 705 y dejar que fluya hacia abajo por el interior de la tubería 705 y hacia la sección bloqueada del pozo 505 creada por el tapón 700. Una porción del primer fluido espaciador 518 puede fluir luego a través de la pequeña perforación 600 mientras que otra porción puede permanecer en el anillo 514. Después de bombear el primer fluido espaciador 518 a través de la tubería 705, se puede bombear la lechada de cemento 420 a través de la tubería 705. La lechada de cemento 420 puede bombearse hacia abajo por el interior de la tubería 705 y hacia dentro de la sección bloqueada del pozo 505 creada por el tapón 700. Una porción de la lechada de cemento 420 puede fluir luego a través de la

pequeña perforación 600 mientras que otra porción puede permanecer en el anillo 514. Se puede permitir que la lechada de cemento 420 se fragüe en la pequeña perforación 600 y en una porción del anillo de pozo 514, por ejemplo, para formar una masa endurecida que selle la pequeña perforación 600 para impedir la migración de fluidos indeseables al interior de la tubería de revestimiento 512. Después de bombear la lechada de cemento 420 en la tubería 705, se puede bombear un segundo fluido espaciador 522 en la tubería 705 y dejar que fluya hacia abajo por el interior de la tubería 705, hacia dentro de la sección bloqueada del pozo 505 creado por el tapón 700 y hacia arriba alrededor de la tubería 705 al interior del anillo de pozo 514. Alternativamente, se puede usar un fluido espaciador o ninguno, y puede que no sea necesario separar la lechada de cemento 420 de otros fluidos introducidos anterior o posteriormente en el pozo 505. Luego, se puede quitar la tubería 705. También se puede quitar el tapón 700. En ejemplos alternativos, el tapón 700 puede permanecer en el pozo 505 y perforarse. Después de retirar la tubería 705, la porción de la lechada de cemento endurecida 420 que queda en el pozo 505 (es decir, la porción que no está en la pequeña perforación 600) puede perforarse.

[0071] La Figura 10 describe otro ejemplo de rellenar una pequeña perforación 600 con una lechada de cemento 420. Un tapón 700 (el tapón 700 puede ser cualquier tipo de tapón, por ejemplo, tapón puente, etc.) puede colocarse inicialmente de manera adyacente a la pequeña perforación 600 y debajo de esta para formar una barrera que pueda permitir el bombeo presurizado de una lechada de cemento 420 de la presente divulgación para rellenar cualquier pequeña perforación 600 en la tubería de revestimiento 512 y la vaina de cemento 510. Como se muestra en la Figura 10, la tubería 705 (por ejemplo, tubería bobinada, tubería de perforación, etc.) se puede bajar al pozo 505. La tubería 705 se puede unir a un retenedor 800 o se puede insertar en un retenedor 800 ya colocado en el pozo 505. El retenedor 800 puede permitir el bombeo presurizado de la lechada de cemento 420 hacia cualquier pequeña perforación 600. El retenedor 800 debe colocarse de manera adyacente a las pequeñas perforaciones 600 que se han de rellenar con lechada de cemento 420, y por encima de estas. El retenedor 800 puede ser cualquier tipo de retenedor, por ejemplo, un retenedor de cemento. Después de colocar el tapón 700, la tubería 705 y el retenedor 800, se puede bombear un primer fluido espaciador 518 al interior del pozo 505 a través de la tubería 705 y dejar que fluya hacia abajo por el interior de la tubería 705 y hacia la sección bloqueada del pozo 505 creada por el tapón 700. Entonces, una porción del primer fluido espaciador 518 puede fluir a través de la

pequeña perforación 600. Después de bombear el primer fluido espaciador 518 a través de la tubería 705, se puede bombear la lechada de cemento 420 a través de la tubería 705. La lechada de cemento 420 puede bombearse hacia abajo por el interior de la tubería 705 y hacia dentro de la sección bloqueada del pozo 505 creada por el tapón 700. Una porción de la lechada de cemento 420 puede fluir luego a través de la pequeña perforación 600 mientras que otra porción puede permanecer en el espacio formado entre el tapón 700 y el retenedor 800. Se puede permitir que la lechada de cemento 420 se asiente en la pequeña perforación 600 y en el espacio formado entre el tapón 700 y el retenedor 800. Luego, la lechada de cemento 420 puede endurecerse para formar una masa endurecida que selle la pequeña perforación 600 para impedir la migración de fluidos indeseables al interior de la tubería de revestimiento 512. Después de bombear la lechada de cemento 420 en la tubería 705, se puede bombear un segundo fluido espaciador 522 en la tubería 705 y dejar que fluya hacia abajo por el interior de la tubería 705, hacia dentro de la sección bloqueada del pozo 505 creado por el tapón 700 y hacia el espacio formado entre el tapón 700 y el retenedor 800. Alternativamente, se puede usar un fluido espaciador o ninguno, y puede que no sea necesario separar la lechada de cemento 420 de otros fluidos introducidos anterior o posteriormente en el pozo 505. Luego, se puede quitar la tubería 705. También se puede quitar el tapón 700. En ejemplos alternativos, el tapón 700 puede permanecer en el pozo 505 y perforarse. También se puede quitar el retenedor 800. A la inversa, en ejemplos alternativos, el retenedor 800 puede perforarse. Después de retirar la tubería 705, la porción de la lechada de cemento endurecida 420 que queda en el pozo 505 (es decir, la porción que no está en la pequeña perforación 600) puede perforarse.

[0072] Las lechadas de cemento y los métodos asociados divulgados pueden afectar directa o indirectamente cualquier sistema de bombeo, que incluyen de manera representativa cualesquier conductos, tuberías, camiones, tubulares y/o tubos que puedan acoplarse a la bomba y/o cualesquier sistemas de bombeo y que puedan usarse para transportar de manera fluida las lechadas de cemento hacia el fondo de pozo, cualesquier bombas, compresores o motores (por ejemplo, en la parte superior o en el fondo de pozo) usados para poner las lechadas de cemento en movimiento, cualesquier válvulas o juntas relacionadas usadas para regular la presión o la velocidad de flujo de las lechadas de cemento, y cualesquier sensores (es decir, de presión, temperatura, velocidad de flujo, etc.), calibradores y/o combinaciones de estos, y similares. Las lechadas de cemento también pueden afectar de manera

directa o indirecta cualquier tolva de mezcla y pozo de retención y sus variaciones.

[0073] Debe entenderse que, si bien las lechadas y los métodos se describen en términos de "que comprenden", "que contienen" o "que incluyen" diversos componentes o etapas, las lechadas y los métodos también pueden "consistir esencialmente en" o "consistir en" los diversos componentes y etapas. Además, como se usan en las reivindicaciones, los artículos indefinidos "un" o "una" se definen en la presente como uno o más de uno de los elementos que introducen.

[0074] Por razones de brevedad, en la presente solo se divulgan explícitamente ciertos rangos. Sin embargo, los rangos desde cualquier límite inferior pueden combinarse con cualquier límite superior para mencionar un rango no mencionado explícitamente, y los rangos desde cualquier límite inferior pueden combinarse con cualquier otro límite inferior para mencionar un rango no mencionado explícitamente; de la misma 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 se encuentre dentro del rango. En particular, debe entenderse que cada rango de valores (de la forma "de alrededor de a a alrededor de b", o, de manera equivalente, "de aproximadamente a a b", o, de manera equivalente, "de aproximadamente a-b") divulgado en la presente establece cada número y rango abarcados dentro del rango más amplio de valores incluso si no se indican explícitamente. Por lo tanto, 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 enumerar un rango no enumerado explícitamente.

[0075] Por tanto, la presente divulgación está adaptada para lograr los fines y las ventajas mencionados, así como aquellos que son inherentes a esta. Los ejemplos particulares divulgados anteriormente son solo ilustrativos, ya que la presente divulgación puede modificarse y ponerse en práctica de maneras diferentes pero equivalentes que son evidentes para las personas del oficio de nivel medio que tienen el beneficio de las enseñanzas de la presente. Si bien se analizan ejemplos individuales, la divulgación cubre todas las combinaciones de aquellos ejemplos. Además, no se pretende limitar los detalles de construcción o diseño mostrados en la presente, excepto de la manera descrita en las reivindicaciones a continuación. Además, los términos en las reivindicaciones tienen su significado común y habitual, a

menos que el titular de la patente los defina explícita y claramente de otra forma. Por lo tanto, es evidente que los ejemplos ilustrativos particulares divulgados anteriormente pueden alterarse o modificarse y que todas tales variaciones se consideran dentro del alcance y el espíritu de la presente divulgación. Si existiese conflicto alguno en los usos de una palabra o un término en esta memoria descriptiva y una o más patentes u otros documentos que se pueden incorporar en la presente por referencia, deben adoptarse las definiciones que sean consistentes con esta memoria descriptiva.