

MÉTODOS PARA MEJORAR LA REACTIVIDAD DE MATERIALES PUZOLÁNICOS

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0001] En la cementación de pozos, tal como en la construcción de pozos y en la cementación correctiva, se utilizan comúnmente lechadas de cemento. Las lechadas de cemento se pueden usar en una variedad de aplicaciones subterráneas. Por ejemplo, en la construcción de pozos subterráneos, puede introducirse una sarta de tubería (por ejemplo, tubería de revestimiento, tuberías de revestimiento cortas, tubulares expandibles, etc.) en el pozo y cementarse en su sitio. El proceso de cementar la sarta de tubería en su sitio se denomina comúnmente "cementación primaria". En un método típico de cementación primaria, se puede bombear una lechada de cemento dentro de un espacio anular entre las paredes del pozo y la superficie exterior de la sarta de tubería dispuesta en este. La lechada de cemento puede fraguar en el espacio anular, lo que, de este modo, forma una vaina anular de cemento endurecido sustancialmente impermeable (es decir, una vaina de cemento) que puede soportar y posicionar 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 vaina de cemento que rodea la sarta de tubería funciona para evitar la migración de fluidos en el espacio anular, además de proteger la sarta de tubería de la corrosión. Las lechadas de cemento también se pueden usar en métodos de cementación correctiva, por ejemplo, para sellar grietas o agujeros en sarts de tubería o vainas 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 puede ser asegurar que el cemento tenga propiedades predecibles y consistentes. Las puzolanas se utilizan en diseños de lechada de cemento para múltiples fines, tales como mejora de rendimiento, reducción de la huella de CO₂ y aumento de las propiedades mecánicas, por ejemplo. Sin embargo, las puzolanas varían mucho en su reactividad: algunas son muy reactivas, otras tienen una reactividad muy baja y algunas pueden ser inertes en condiciones típicas de pozos de petróleo. La variación de la reactividad de la puzolana puede conducir a una variación en los diseños de cemento en función de las puzolanas disponibles. Las ubicaciones del campamento con fuentes de puzolana de alta reactividad pueden diseñar lechadas que tengan una proporción mucho de puzolana, mientras que las puzolanas con baja reactividad se limitan a concentraciones bajas, ya que estas puzolanas no contribuyen demasiado al desarrollo de la resistencia u otras propiedades. Las lechadas de cemento preparadas con puzolanas con reactividad relativamente menor pueden no tener las propiedades deseadas para la cementación de pozos de petróleo.

[0003] En la presente divulgación, se divulga un aditivo de puzolana activada que se puede incluir en lechadas de cemento para la cementación de pozos de petróleo. Los presentes métodos pueden utilizar el aditivo de puzolana activada en

la preparación de mezcla a granel de una mezcla de cemento seco. La mezcla de cemento seco se puede transportar a un sitio de pozo y mezclar con agua para producir una lechada de cemento que se pueda introducir en un pozo.

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 una ilustración esquemática de un sistema de ejemplo para la preparación y suministro de una lechada de cemento a un pozo.

[0006] La Figura 2 es una ilustración esquemática de un equipo de superficie de ejemplo que se puede usar en la colocación de una lechada de cemento en un pozo.

[0007] La Figura 3 es una ilustración esquemática de la colocación de ejemplo de una lechada de cemento en el espacio anular de un pozo.

[0008] La Figura 4 es un gráfico de un UCA corregido por trituración de vidrio reciclado sin procesar en comparación con puzolana activada.

[0009] La Figura 5 es un gráfico de un UCA corregido por trituración de perlita sin procesar en comparación con puzolana activada.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0010] La presente divulgación puede referirse en general a métodos y sistemas de cementación. Más particularmente, las formas de realización se pueden referir a métodos para preparar lechadas de cemento de pozos de petróleo a partir de una mezcla de cemento seco que comprende una puzolana activada.

[0011] Como se usa en la presente, puzolana activada se refiere a un material puzolánico sin procesar cuya superficie se ha modificado al reaccionar el material puzolánico sin procesar en una solución de cemento pasivada. La solución de cemento pasivada puede impartir diversas propiedades a la superficie del material puzolánico sin procesar para formar la puzolana activada, que incluye, entre otras, grabado de superficie, formación de hidrato de sílice de calcio microcristalino en la superficie, disolución de silicatos para formar más especies de silicato reactivo, y otras. La puzolana activada tiene mayor reactividad que el material puzolánico sin procesar del que deriva la puzolana activada, por lo que permite que la puzolana activada se utilice en una variedad más amplia de diseños de cemento que el correspondiente material puzolánico sin procesar. El proceso descrito en la presente se puede utilizar para mejorar las puzolanas con reactividad relativamente más baja y convertirlas en puzolanas con reactividad relativamente alta, lo que, de este modo, aumenta el valor de la puzolana con reactividad más baja. La puzolana activada se puede incluir en una mezcla de cemento seco a granel. Las mezclas secas de cemento se pueden preparar en instalaciones de mezclado a granel donde el cemento, tal como cemento Portland, se puede mezclar con aditivos tales como materiales cementosos complementarios, aditivos químicos, aditivos inertes y la puzolana activada. Si bien existen muchas ventajas para la inclusión de puzolana activada en una lechada de cemento en un pozo, una ventaja particular puede ser la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que una porción del cemento se puede reemplazar por puzolana

activada. Otra ventaja es que las propiedades mecánicas de un cemento fraguado, tal como resistencia a la compresión y el módulo de Young, se incrementan al incluir la puzolana activada en comparación con un cemento que contiene el material puzolánico sin procesar.

[0012] Las puzolanas se clasifican generalmente como materiales que contienen materiales silíceos y/o aluminosos que reaccionan con agua e hidróxido de calcio para formar un cemento fraguado. En la presente solicitud se puede utilizar cualquier puzolana sin procesar adecuada para producir puzolana activada, que incluye, por ejemplo, ceniza volante, ceniza volcánica, mata, pumicita, arcillas tales como metacaolín, humo de sílice, escoria, ceniza de cal, perlita, y vidrio tal como vidrio de silicato, vidrio de cal sodada, vidrio de sílice sodada, vidrio de borosilicato, vidrio de aluminosilicato, aplita, arcillas y arcillas calcinadas. Si bien la presente lista de puzolanas sin procesar adecuadas no es exhaustiva, se cree que cualquier puzolana adecuada para su uso en un cemento de pozos de petróleo también es adecuada para los procesos descritos en la presente para producir puzolana activada. La puzolana sin procesar puede tener cualquier morfología y distribución de tamaño de partícula. En ciertas formas de realización, la piedra pómez puede tener una distribución de tamaño de partícula d_{50} en un rango de alrededor de 1 micrómetro a alrededor de 200 micrómetros o más. Los valores d_{50} se pueden medir con analizadores de tamaño de partícula tales como los fabricados por Malvern Instruments, Worcestershire, Reino Unido. En formas de realización específicas, la puzolana sin procesar puede tener una distribución de tamaño de partícula d_{50} en un rango de alrededor de 1 micrómetro a alrededor de 200 micrómetros, de alrededor de 5 micrómetros a alrededor de 100 micrómetros o de alrededor de 10 micrómetros a alrededor de 25 micrómetros.

[0013] La preparación de puzolana activada comprende preparar una solución de cemento pasivada. Una solución de cemento pasivada es una solución que contiene cemento y agua en una cantidad de manera tal que la solución de cemento pasivada no fragüe para formar una masa endurecida a 20°C y 101,325 kPa cuando se evalúa en un analizador de cemento ultrasónico, operada de acuerdo con el procedimiento establecido en la Práctica RP API 10B-2 mencionada anteriormente. En la cementación de pozos, se agrega agua a un cemento seco en una cantidad que produce una lechada de cemento con una densidad deseada y en una cantidad de manera tal que la lechada de cemento fraguare para formar una masa endurecida con una resistencia a la compresión deseada. En la cementación de pozos, la densidad es una propiedad importante cuando el cemento se está bombeando hacia el pozo para asegurar que la lechada de cemento ejerza presión suficiente y el pozo continúe controlado. Cuando la lechada de cemento fragua, la resistencia a la compresión es una propiedad importante para asegurar que el aislamiento zonal no se vea comprometido. Por lo tanto, hay que incluir una cantidad mínima de agua que comience a hidratar los granos de cemento y una cantidad práctica máxima de agua que se agregaría a una mezcla de cemento seco cuando se prepara una lechada de cemento para el uso en un pozo para cumplir con los requisitos de densidad y resistencia a la compresión, entre otros. A medida que se agrega más

agua de la necesaria a una lechada de cemento para hidratar los granos de cemento individuales, estos comienzan a dispersarse en la solución. Los efectos de dispersión disminuyen la formación intergranular de productos de hidratación de cemento, lo que, de este modo, reduce la resistencia a la compresión del cemento fraguado hasta que haya suficiente agua para separar los granos, de manera que la solución no fragüe para formar una masa endurecida.

[0014] Las soluciones de cemento pasivadas de la presente solicitud son diferentes de las lechadas de cemento preparadas para su uso en aplicaciones de pozo o construcción, ya que la solución de cemento pasivada contiene agua en una cantidad que impide que la solución de cemento pasivada fragüe para formar una masa endurecida. Las lechadas de cemento preparadas para la cementación de pozos y de construcciones contienen agua en cantidades que permiten que la lechada de cemento fragüe para formar una masa endurecida. En algunos ejemplos, la solución de cemento pasivada puede tener una densidad cercana a la del agua (1 kg/L). Por ejemplo, la solución de cemento pasivada puede tener una densidad de alrededor de 1 kg/L a alrededor de 1,2 kg/L. Sin embargo, la densidad de la solución de cemento pasivada depende de la cantidad de agua necesaria para formar una solución que no fragüe para formar una masa endurecida. La cantidad de agua necesaria para formar una solución que no fragüe puede variar en gran medida entre los cementos. Si bien existen las lechadas de cemento de baja densidad, que tienen menor densidad que el agua, estas lechadas de cemento generalmente se formulan con microesferas de peso liviano o con un tensioactivo o gas espumante que reduce la densidad por debajo de la del agua. Sin embargo, las lechadas de cemento de baja densidad aún contienen agua en cantidades que permiten que el cemento fragüe para formar una masa endurecida y son diferentes de la solución de cemento pasivada que no fragua.

[0015] El tiempo de espesamiento se refiere por lo general al tiempo que un fluido, tal como una composición de cemento, permanece en un estado fluido que puede bombearse. Se pueden utilizar varias técnicas de laboratorio diferentes para medir el tiempo de espesamiento. Se puede utilizar un consistómetro presurizado, operado de acuerdo con el procedimiento establecido en la Práctica RP API 10B-2 mencionada anteriormente, para medir si un fluido se encuentra en un estado fluido bombeable. El tiempo de espesamiento puede ser el tiempo que tarda el líquido de tratamiento en alcanzar 70 Bc y se puede informar como el tiempo para alcanzar 70 Bc. En la cementación de pozos, se utilizan 70 Bc (unidades de consistencia Bearden) como un corte cuando se considera que un cemento está demasiado fraguado para bombearse. La solución de cemento pasivada como se divulga en la presente no alcanza las 70 Bc, ya que la solución de cemento pasivada no fragua para formar una masa endurecida.

[0016] Para formar la solución de cemento pasivada, el agua se puede combinar con un cemento en una cantidad de manera tal que los granos de cemento se diluyan y no sean capaces de aglomerarse para formar una masa endurecida. La cantidad de agua necesaria para preparar una solución de cemento pasivada puede depender del tipo y origen del cemento utilizado, ya que los cementos pueden variar en la cantidad de agua necesaria para hidratar los granos de

cemento. Se puede utilizar una amplia variedad de cementos para preparar la solución de cemento pasivada, tales como, entre otros, cementos Portland, cementos de puzolana, cementos de yeso, cementos de alúmina, cementos de sílice y cualquier combinación de estos. La cantidad de agua debería ser suficiente para diluir la mezcla de agua y cemento, de modo que las partículas del material de cemento en general no se aglomeren y se unan entre sí, es decir, que permanezcan separadas. Debería usarse una abundancia de agua de manera tal que las partículas del material cementoso no sean capaces de aglomerarse, por ejemplo, el agua se puede utilizar en una cantidad de alrededor de 400 % en peso del material cementoso a alrededor de 5000 % en peso del material cementoso o más. Alternativamente, el agua se puede utilizar en una cantidad de alrededor de 400 % en peso del material cementoso a alrededor de 1000 % en peso del material cementoso, de alrededor de 1000 % en peso del material cementoso a alrededor de 2500 % en peso del material cementoso, de alrededor de 2500 % del material cementoso a alrededor de 5000 % en peso del material cementoso o cualquier rango entre estos. En los ejemplos, más adelante, el agua está presente en alrededor de 1000 % en peso de agua.

[0017] El agua se puede proporcionar en una cantidad de manera tal que las partículas del material de cemento no sean capaces de aglomerarse. Las partículas aglomeradas se pueden romper mediante cizallamiento y se pueden utilizar auxiliares de suspensión para evitar que las partículas fragüen. Una vez agregada el agua al cemento, comenzará el proceso de pasivación. Puede ser necesario que la mezcla se haga reaccionar durante un período de, por ejemplo, alrededor de 1 hora a alrededor de 24 horas. De manera alternativa, la mezcla se puede hacer reaccionar, por ejemplo, durante alrededor de 1 hora a alrededor de 2 horas, de alrededor de 2 horas a alrededor de 5 horas o de alrededor de 5 horas a alrededor de 24 horas, o cualquier rango entre estos. El proceso de pasivación se puede llevar a cabo a cualquier temperatura, por ejemplo, a temperaturas que varían de alrededor de 5 °C a alrededor de 80 °C, alternativamente, de alrededor de 5 °C a alrededor de 20 °C, de alrededor de 20 °C a alrededor de 60 °C, de alrededor de 60 °C a alrededor de 80 °C o cualquier rango entre estos. Durante la fase de reacción, la mezcla se puede agitar continua o intermitentemente o se puede mantener en estado de reposo. Se puede utilizar cualquier tipo de agitación, que incluye, por ejemplo, agitadores magnéticos y agitadores suspendidos. Además, se puede utilizar un agente de suspensión para ayudar a suspender las partículas de cemento. El uso del agente de suspensión puede ser en adición o sustitución de la agitación. Los ejemplos de auxiliares de suspensión adecuados pueden incluir viscosificadores, tales como los descritos anteriormente, que incluyan arcillas hinchables, tales como bentonita, o biopolímeros, tales como derivados de celulosa (por ejemplo, hidroxietilcelulosa, carboximetilcelulosa, carboximetilhidroxietilcelulosa). El proceso de pasivación puede incluir muchas reacciones cementosas individuales, cuyos productos de hidratación del cemento pueden depender del cemento particular seleccionado. Con el cemento Portland, algunos productos de hidratación del cemento pueden incluir una mezcla de granos de cemento parcial o completamente reaccionados, micropartículas y/o

nanopartículas de C-S-H (hidrato de silicato de calcio) y un pH de solución mayor de 7.

[0018] Una vez preparada la solución de cemento pasivada, se agrega una puzolana sin procesar adecuada a la solución de cemento pasivada. Las puzolanas sin procesar pueden incluir cualquiera de los descritos anteriormente, que incluyen, entre otros, ceniza volante, ceniza volcánica, mata, pumicita, arcillas tales como metacaolín, humo de sílice, escoria, ceniza de cal, perlita, y vidrio tal como vidrio de silicato, vidrio de cal sodada, vidrio de sílice sodada, vidrio de borosilicato y vidrio de aluminosilicato. La puzolana sin procesar se puede agregar en cualquier cantidad adecuada, que incluye de alrededor de 100 % en peso de cemento en la solución de cemento pasivada a alrededor de 2000 % en peso de cemento en la solución de cemento pasivada. De manera alternativa, de alrededor de 100 % en peso de cemento en la solución de cemento pasivada a alrededor de 500 % en peso de cemento en la solución de cemento pasivada, de alrededor de 500 % en peso de cemento en la solución de cemento pasivada a alrededor de 1000 % en peso de cemento en la solución de cemento pasivada, de alrededor de 1000 % en peso de cemento en la solución de cemento pasivada a alrededor de 2000 % en peso de cemento en la solución de cemento pasivada, o cualquier rango entre estos. Una vez agregadas las puzolanas sin procesar a la solución de cemento pasivada, los productos de hidratación del cemento en la solución de cemento pasivada comienzan a reaccionar con la puzolana sin procesar para producir puzolana activada.

[0019] Puede ser necesario que la mezcla se haga reaccionar durante un período de, por ejemplo, alrededor de 1 hora a alrededor de 24 horas. De manera alternativa, la mezcla se puede hacer reaccionar durante alrededor de 1 hora a alrededor de 2 horas, de alrededor de 2 horas a alrededor de 5 horas, de alrededor de 5 horas a alrededor de 12 horas, de alrededor de 12 horas a alrededor de 24 horas, o cualquier rango entre estos. La reacción se puede llevar a cabo a cualquier temperatura, por ejemplo, a temperaturas que varían de alrededor de 5 °C a alrededor de 80 °C, alternativamente, de alrededor de 5 °C a alrededor de 20 °C, de alrededor de 20 °C a alrededor de 60 °C, de alrededor de 60 °C a alrededor de 80 °C o cualquier rango entre estos. Durante la fase de reacción de activación, la mezcla se puede agitar continua o intermitentemente o se puede mantener en estado de reposo. Además, se puede usar un agente de suspensión para ayudar a suspender la puzolana sin procesar. El uso del agente de suspensión puede ser en adición o sustitución de la agitación. Los ejemplos de auxiliares de suspensión adecuados pueden incluir viscosificadores, tales como los descritos anteriormente, que incluyan arcillas hinchables, tales como bentonita, o biopolímeros, tales como derivados de celulosa (por ejemplo, hidroxietilcelulosa, carboximetilcelulosa, carboximetilhidroxietilcelulosa).

[0020] La puzolana activada se puede someter a reacciones de superficie en la solución de cemento pasivada. Sin limitarse a la teoría, se cree que la solución de cemento pasivada deposita carbonatos e hidratos de silicato de calcio en la superficie de la puzolana sin procesar, lo que aumenta la reactividad de la puzolana sin procesar. La solución de cemento pasivada puede corroer y disolver

la superficie de la puzolana sin procesar para crear especies solubles e inducir la formación de sitios de nucleación en la puzolana sin procesar.

[0021] La mezcla del producto de la reacción de activación puede incluir una solución de cemento pasivada no reactiva, una puzolana sin reaccionar y una puzolana activada. La mezcla del producto se puede secar, granular y tamizar si así se desea. El producto de puzolana activada seca producido a partir de la etapa de secado se puede utilizar en la mezcla de cemento a granel como un aditivo seco. Las mezclas secas de cemento se pueden preparar en instalaciones de mezclado a granel donde el cemento, tal como cemento Portland, se puede mezclar con aditivos tales como materiales cementosos complementarios, aditivos químicos, aditivos inertes y la puzolana activada. La mezcla de cemento seco se puede transportar a una ubicación de pozo donde la mezcla de cemento seco se mezcla con agua para formar una lechada de cemento que se introduce en un pozo.

[0022] Las lechadas de cemento descritas en la presente pueden incluir generalmente un cemento hidráulico y agua. 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 fraguan y se endurecen mediante la reacción con agua. Los cementos hidráulicos adecuados pueden incluir, entre otros, cementos Portland, cementos de puzolana, cementos de yeso, cementos de alúmina, cementos de sílice y cualquier combinación de estos. En ciertos ejemplos, el cemento hidráulico puede incluir un cemento Portland. En algunos ejemplos, los cementos Portland pueden incluir cementos Portland que se clasifican como cementos de Clases A, C, H y G de acuerdo con el Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute), *API Specification for Materials and Testing for Well Cements*, Especificación API 10, 5.^a ed., 1 de julio de 1990. Además, los cementos hidráulicos pueden incluir cementos clasificados por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials) (ASTM) en C150 (Especificación Normalizada para Cemento Portland), C595 (Especificación Normalizada para Cementos Adicionados Hidráulicos) o C1157 (Especificación Normalizada para Cementos Hidráulicos) tales como los cementos clasificados como ASTM Tipo I, II o III. El cemento hidráulico puede estar incluido en la lechada de cemento en cualquier cantidad adecuada para una composición particular. Entre otros, el cemento hidráulico se puede incluir en las lechadas de cemento en una cantidad en el rango de alrededor de 10 % a alrededor de 80 % en peso de la mezcla seca en la lechada de cemento. Por ejemplo, el cemento hidráulico puede estar presente en una cantidad que varíe entre cualquiera de y/o que incluya cualquiera de alrededor de 10 %, alrededor de 15 %, alrededor de 20 %, alrededor de 25 %, alrededor de 30 %, alrededor de 35 %, alrededor de 40 %, alrededor de 45 %, alrededor de 50 %, alrededor de 55 %, alrededor de 60 %, alrededor de 65 %, alrededor de 70 %, alrededor de 75 % o alrededor de 80 % en peso de las lechadas de cemento.

[0023] El agua puede provenir de cualquier fuente siempre que no contenga un exceso de compuestos que puedan afectar indeseablemente a otros componentes

de las lechadas de cemento. Por ejemplo, una lechada de cemento puede incluir agua dulce o agua salada. El agua salada generalmente puede incluir una o más sales disueltas en esta y puede estar saturada o insaturada según se desee para una aplicación particular. El agua de mar o las salmueras pueden ser adecuadas para su uso en algunos ejemplos. Además, el agua puede estar presente en una cantidad suficiente para formar una lechada bombeable. En ciertos ejemplos, el agua puede estar presente en la lechada de cemento en una cantidad en el rango de alrededor de 33 % a alrededor de 200 % en peso de los materiales cementosos. Por ejemplo, el cemento de agua puede estar presente en una cantidad que varíe entre cualquiera de y/o que incluya cualquiera de alrededor de 33 %, alrededor de 50 %, alrededor de 75 %, alrededor de 100 %, alrededor de 125 %, alrededor de 150 %, alrededor de 175 %, o alrededor de 200 % en peso de los materiales cementosos. Los materiales cementosos a los que se hace referencia pueden incluir todos los componentes que contribuyan a la resistencia a la compresión de la lechada de cemento, tal como el cemento hidráulico y los materiales cementosos complementarios, por ejemplo.

[0024] Como se mencionó anteriormente, la lechada de cemento puede incluir materiales cementosos complementarios. El material cementoso complementario puede ser cualquier material que contribuya a las propiedades deseadas de la lechada de cemento. Algunos materiales cementosos complementarios pueden incluir, entre otros, cenizas volantes, escoria de alto horno, humo de sílice, puzolanas, polvo de horno y arcillas, por ejemplo.

[0025] La lechada de cemento puede incluir polvo de horno como material cementoso complementario. "Polvo de horno", como se usa esa expresión en la presente, se refiere a un material sólido generado como subproducto del calentamiento de ciertos materiales en hornos. La expresión "polvo de horno", como se usa en la presente, pretende incluir el polvo de horno elaborado como se describe en la presente y formas equivalentes de polvo de horno. Según su fuente, el polvo de horno puede exhibir propiedades cementosas, ya que puede fraguar y endurecerse en presencia de agua. Los ejemplos de polvos de horno adecuados incluyen polvo de horno de cemento, polvo de horno de cal y combinaciones de estos. El polvo de horno de cemento puede generarse como un subproducto de la producción de cemento que se elimina de la corriente de gas y se recolecta, por ejemplo, en un colector de polvo. Por lo general, se recolectan grandes cantidades de polvo de horno de cemento en la producción de cemento que comúnmente se desecha como residuos. El análisis químico del polvo de horno de cemento de diversos fabricantes de cemento varía en función de una serie de factores, que incluyen la alimentación de horno particular, la eficacia de la operación de producción de cemento y los sistemas de recolección de polvo asociados. El polvo de horno de cemento generalmente puede incluir una variedad de óxidos, tales como SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O y K_2O . El análisis químico del polvo de horno de cal de diversos fabricantes de cal varía en función de varios factores, incluso la alimentación de piedra caliza o caliza dolomítica particular, el tipo de horno, el modo de funcionamiento del horno, la eficacia de la operación de producción de cal y los sistemas de recolección de polvo asociados. El polvo de

horno de cal puede incluir cantidades variables de cal libre y magnesio, piedra caliza y/o caliza dolomítica libre y una variedad de óxidos, tales como SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O y K_2O , y otros componentes, tales como cloruros. Se puede agregar a la lechada de cemento un polvo de horno de cemento antes de la activación, concurrentemente con esta o después de esta. El polvo de horno de cemento puede incluir una alimentación de horno parcialmente calcinada que se elimina de la corriente de gas y se recolecta en un colector de polvo durante la elaboración del cemento. El análisis químico del CKD de diversos fabricantes de cemento varía en función de diversos factores, que incluyen la alimentación de horno particular, la eficacia de la operación de producción de cemento y los sistemas de recolección de polvo asociados. El CKD generalmente puede comprender una variedad de óxidos, tales como SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O y K_2O . El CKD y/o polvo de horno de cal puede incluirse en ejemplos de la lechada de cemento en una cantidad adecuada para una aplicación particular.

[0026] En algunos ejemplos, la lechada de cemento puede incluir además uno o más de escoria, vidrio natural, esquisto, sílice amorfa o metacaolín como material cementoso complementario. La escoria es generalmente un subproducto granulado de alto horno de la producción de hierro fundido, que incluye las impurezas oxidadas que se encuentran en minerales de hierro. El cemento puede incluir además esquisto. Puede ser adecuada una variedad de esquistos, incluso los que incluyen silicio, aluminio, calcio y/o magnesio. Los ejemplos de esquistos adecuados incluyen esquistos vitrificados y/o esquistos calcinados. En algunos ejemplos, la lechada de cemento puede incluir además sílice amorfa como material cementoso complementario. La sílice amorfa es un polvo que se puede incluir en formas de realización para aumentar la resistencia a la compresión del cemento. La sílice amorfa es generalmente un subproducto de un proceso de producción de ferrosilicio, en donde la sílice amorfa puede formarse mediante la oxidación y condensación de subóxido de silicio gaseoso, SiO , que se forma como intermediario durante el proceso.

[0027] En algunos ejemplos, la lechada de cemento puede incluir además una variedad de cenizas volantes como material cementoso complementario que puede incluir cenizas volantes clasificadas como cenizas volantes de Clase C, Clase F o Clase N de acuerdo con el Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute), API Specification for Materials and Testing for Well Cements, Especificación API 10, 5.^a ed., 1 de julio de 1990. En algunos ejemplos, la lechada de cemento puede incluir además zeolitas como materiales cementosos complementarios. Las zeolitas son generalmente minerales de aluminosilicato porosos que pueden ser naturales o sintéticos. Las zeolitas sintéticas se basan en el mismo tipo de celda estructural que las zeolitas naturales y pueden comprender hidratos de aluminosilicato. Como se usa en la presente, el término "zeolita" se refiere a todas las formas naturales y sintéticas de zeolita.

[0028] Cuando se utilizan, uno o más de los materiales cementosos complementarios mencionados anteriormente pueden estar presentes en la lechada de cemento. Por ejemplo, entre otros, uno o más materiales cementosos

complementarios pueden estar presentes en una cantidad de alrededor de 0,1 % a alrededor de 80 % en peso de la lechada de cemento. Por ejemplo, los materiales cementosos complementarios pueden estar presentes en una cantidad que varíe entre cualquiera de y/o que incluya cualquiera de alrededor de 0,1 %, alrededor de 10 %, alrededor de 20 %, alrededor de 30 %, alrededor de 40 %, alrededor de 50 %, alrededor de 60 %, alrededor de 70 % o alrededor de 80 % en peso del cemento.

[0029] En algunos ejemplos, la lechada de cemento puede incluir además cal hidratada. Como se usa en la presente, se entenderá que la expresión "cal hidratada" significa hidróxido de calcio. En algunas formas de realización, 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 la lechada de cemento, por ejemplo, para formar una composición hidráulica con los componentes cementosos complementarios. Por ejemplo, la cal hidratada puede incluirse en una relación en peso de material cementoso complementario con respecto a cal hidratada de alrededor de 10:1 a alrededor de 1:1 o de 3:1 a alrededor de 5:1. Cuando está presente, la cal hidratada puede incluirse en la lechada de cemento fraguada en una cantidad en el rango de alrededor de 10 % a alrededor de 100 % en peso de la lechada de cemento, por ejemplo. En algunos ejemplos, la cal hidratada puede estar presente en una cantidad que varíe entre cualquiera de y/o que incluya cualquiera de alrededor de 10 %, alrededor de 20 %, alrededor de 40 %, alrededor de 60 %, alrededor de 80 % o alrededor de 100 % en peso de la lechada de cemento. En algunos ejemplos, los componentes cementosos presentes en la lechada de cemento pueden consistir esencialmente en uno o más materiales cementosos complementarios y la cal hidratada. Por ejemplo, los componentes cementosos pueden comprender en primer lugar los materiales cementosos complementarios y la cal hidratada sin ningún componente adicional (por ejemplo, cemento Portland, cenizas volantes, cemento de escoria) que fraguan hidráulicamente en presencia de agua.

[0030] La cal puede estar presente en la lechada de cemento en varias formas, incluso como óxido de calcio y/o hidróxido de calcio o como producto de reacción, tal como cuando el cemento Portland reacciona con agua. Alternativamente, la cal puede incluirse en la lechada de cemento según la cantidad de sílice en la lechada de cemento. Se puede diseñar una lechada de cemento para que tenga una relación en peso diana de cal con respecto a sílice. La relación diana de cal con respecto a sílice puede ser una relación molar, relación molar o cualquier otra forma equivalente para expresar una cantidad relativa de sílice con respecto a cal. Se puede seleccionar cualquier relación en peso diana de cal con respecto a sílice adecuada, inclusive de alrededor de 10/90 de cal con respecto a sílice en peso a alrededor de 40/60 de cal con respecto a sílice en peso. Alternativamente, de alrededor de 10/90 de cal con respecto a sílice en peso a alrededor de 20/80 de cal con respecto a sílice en peso, de alrededor de 20/80 de cal con respecto a sílice en peso a alrededor de 30/70 de cal con respecto a sílice en peso, o de alrededor de 30/70 de cal con respecto a sílice en peso a alrededor de 40/63 de

cal con respecto a sílice en peso.

[0031] En formas de realización de la lechada de cemento también pueden incluirse otros aditivos adecuados para su uso en operaciones de cementación subterráneas. Los ejemplos de tales aditivos incluyen, entre otros: agentes densificantes, aditivos ligeros, aditivos generadores de gas, aditivos que mejoran las propiedades mecánicas, materiales de pérdida de circulación, aditivos de control de filtración, aditivos de control de pérdida de fluido, agentes antiespumantes, agentes formadores de espuma, aditivos tixotrópicos y combinaciones de estos. En formas de realización, uno o más de estos aditivos pueden agregarse a la lechada de cemento después de almacenarla, pero antes de la colocación de una lechada de cemento en una formación subterránea. En algunos ejemplos, la lechada de cemento puede incluir además un dispersante. Los ejemplos de dispersantes adecuados incluyen, entre otros, dispersantes a base de formaldehído sulfonado (por ejemplo, condensado de formaldehído de acetona sulfonado) o dispersantes de éter policarboxilado. En algunos ejemplos, el dispersante puede incluirse en la lechada de cemento en una cantidad en el rango de alrededor de 0,01 % a alrededor de 5 % en peso de los materiales cementosos. En ejemplos específicos, el dispersante puede estar presente en una cantidad que varíe entre cualquiera de y/o que incluya cualquiera de alrededor de 0,01 %, alrededor de 0,1 %, alrededor de 0,5 %, alrededor de 1 %, alrededor de 2 %, alrededor de 3 %, alrededor de 4 % o alrededor de 5 % en peso de los materiales cementosos.

[0032] En algunos ejemplos, la lechada de cemento puede incluir además un retardante de fraguado. Una amplia variedad de retardantes de fraguado puede ser adecuada para su uso en las lechadas de cemento. Por ejemplo, el retardador de fraguado puede comprender ácidos fosfónicos, tales como ácido etilendiaminotetra(metilenfosfónico), ácido dietilentriaminopenta(metilenfosfónico), etc.; lignosulfonatos, tales como lignosulfonato de sodio, lignosulfonato de calcio, etc.; sales tales como sulfato estannoso, acetato de plomo, fosfato de calcio monobásico, ácidos orgánicos, tales como ácido cítrico, ácido tartárico, etc.; derivados de celulosa tales como hidroxietilcelulosa (HEC) y carboximetilhidroxietilcelulosa (CMHEC); copolímeros o terpolímeros sintéticos que comprenden grupos sulfonato y ácido carboxílico tales como copolímeros de acrilamida-ácido acrílico funcionalizados con sulfonato; compuestos de borato tales como boratos alcalinos, metaborato de sodio, tetraborato de sodio, pentaborato de potasio; derivados de estos o mezclas de estos. Los ejemplos de retardantes de fraguado adecuados incluyen, entre otros, derivados de ácido fosfónico. Generalmente, el retardante de fraguado puede estar presente en la lechada de cemento en una cantidad suficiente para retardar el fraguado durante un tiempo deseado. En algunos ejemplos, el retardante de fraguado puede estar presente en la lechada de cemento en una cantidad en el rango de alrededor de 0,01 % a alrededor de 10 % en peso de los materiales cementosos. En ejemplos específicos, el retardante de fraguado puede estar presente en una cantidad que varíe entre cualquiera de y/o que incluya cualquiera de alrededor de 0,01 %, alrededor de 0,1 %, alrededor de 1 %, alrededor de 2 %, alrededor de 4 %,

alrededor de 6 %, alrededor de 8 % o alrededor de 10 % en peso de los materiales cementosos.

[0033] En algunos ejemplos, la lechada de cemento puede incluir además un acelerador. Una amplia variedad de aceleradores puede ser adecuada para su uso en las lechadas de cemento. Por ejemplo, el acelerador puede incluir, entre otros, sulfato de aluminio, alumbre, cloruro de calcio, nitrato de calcio, nitrito de calcio, formiato de calcio, sulfoaluminato de calcio, sulfato de calcio, yeso-hemihidrato, aluminato de sodio, carbonato de sodio, cloruro de sodio, silicato de sodio, sulfato de sodio, cloruro férrico o una combinación de estos. En algunos ejemplos, el acelerador puede estar presente en la lechada de cemento en una cantidad en el rango de alrededor de 0,01 % a alrededor de 10 % en peso de los materiales cementosos. En ejemplos específicos, los aceleradores pueden estar presentes en una cantidad que varíe entre cualquiera de y/o que incluya cualquiera de alrededor de 0,01 %, alrededor de 0,1 %, alrededor de 1 %, alrededor de 2 %, alrededor de 4 %, alrededor de 6 %, alrededor de 8 % o alrededor de 10 % en peso de los materiales cementosos.

[0034] Las lechadas de cemento generalmente deben tener una densidad adecuada para una aplicación particular. A modo de ejemplo, la lechada de cemento puede tener una densidad en el rango de alrededor de 8 libras por galón ("ppg") (959 kg/m³) a alrededor de 20 ppg (2397 kg/m³), o de alrededor de 8 ppg a alrededor de 12 ppg (1437 kg/m³), o de alrededor de 12 ppg a alrededor de 16 ppg (1917,22 kg/m³), o de alrededor de 16 ppg a alrededor de 20 ppg, o cualquier rango entre estos. Los ejemplos de la lechada de cemento pueden ser espumados o no espumados o pueden comprender otros medios para reducir sus densidades, tales como microesferas huecas, microesferas elásticas de baja densidad u otros aditivos reductores de densidad conocidos en la técnica.

[0035] La Figura 1 ilustra un sistema de ejemplo 5 para la preparación de una lechada de cemento que incluye el suministro de la lechada de cemento a un pozo. La lechada de cemento puede ser cualquier lechada de cemento divulgada en la presente, incluidas las que comprenden una puzolana activada. Como se muestra, la lechada de cemento se puede mezclar en un equipo de mezcla 10, tal como una mezcladora de chorro, una mezcladora de recirculación o una mezcladora por lotes, por ejemplo, y luego se puede bombear a través de un equipo de bombeo 15 al pozo. En algunos ejemplos, el equipo de mezcla 10 y el equipo de bombeo 15 se pueden disponer en uno o más camiones mezcladores de cemento como será evidente para las personas del oficio de nivel medio. En algunos ejemplos, puede usarse una mezcladora de chorro, por ejemplo, para mezclar continuamente una mezcla seca que incluye la lechada de cemento, por ejemplo, con el agua, a medida que se bombea al pozo.

[0036] A continuación, se describirá una técnica de ejemplo para colocar una lechada de cemento en una formación subterránea con referencia a las Figuras 2 y 3. La Figura 2 ilustra un equipo de superficie 20 de ejemplo que se puede utilizar en la colocación de una lechada de cemento. La lechada de cemento puede ser cualquier lechada de cemento divulgada en la presente. Se puede desarrollar una receta de lechada de cemento, por ejemplo, mediante el uso de los modelos de

pérdida de fluido de cemento descritos en la presente, y se puede preparar una lechada de cemento a partir de la receta de lechada de cemento. Debe observarse que, si bien la Figura 2 representa en general una operación en tierra, las personas del oficio de nivel medio reconocerán fácilmente que los principios descritos en la presente son igualmente aplicables a operaciones submarinas que emplean torres de perforación y plataformas flotantes o situadas en el mar, sin apartarse del alcance de la divulgación. Como se ilustra en la Figura 2, el equipo de superficie 20 puede incluir una unidad de cementación 25, que puede incluir uno o más camiones mezcladores de cemento. La unidad de cementación 25 puede incluir un equipo de mezcla 10 y un equipo de bombeo 15 (por ejemplo, la Figura 1) como será evidente para las personas del oficio de nivel medio. La unidad de cementación 25 puede bombear una lechada de cemento 30 a través de un tubo de alimentación 35 y a un cabezal de cementación 36 que transporta la lechada de cemento 30 hacia el fondo de pozo.

[0037] Con respecto a la Figura 3, la lechada de cemento 30 se puede colocar en una formación subterránea 45. Como se ilustra, se puede perforar un pozo 50 en una o más formaciones subterráneas 45. Si bien el pozo 50 se muestra como extendido generalmente de manera vertical en la una o más formaciones subterráneas 45, los principios descritos en la presente son también aplicables a pozos que se extienden en un ángulo a través de la una o más formaciones subterráneas 45, tales como pozos horizontales e inclinados. Como se ilustra, el pozo 50 incluye las paredes 55. En el ejemplo ilustrado, se insertó una tubería de revestimiento de superficie 60 en el pozo 50. La tubería de revestimiento de superficie 60 se puede cementar a las paredes 55 del pozo 50 mediante una vaina de cemento 65. En el ejemplo ilustrado, uno o más conductos adicionales (por ejemplo, una tubería de revestimiento intermedia, una tubería de revestimiento de producción, tuberías de revestimiento cortas, etc.) mostrados aquí como la tubería de revestimiento 70 también pueden disponerse en el pozo 50. Como se ilustra, hay un espacio anular de pozo 75 formado entre la tubería de revestimiento 70 y las paredes 55 del pozo 50 y/o la tubería de revestimiento de superficie 60. Se pueden fijar uno o más centralizadores 80 a la tubería de revestimiento 70, por ejemplo, para centralizar la tubería de revestimiento 70 en el pozo 50 antes y durante la operación de cementación.

[0038] Aún con respecto a la Figura 3, la lechada de cemento 30 se puede bombear hacia el interior de la tubería de revestimiento 70. Se puede permitir que la lechada de cemento 30 fluya hacia abajo por el interior de la tubería de revestimiento 70 a través de la zapata de revestimiento 85 en la parte inferior de la tubería de revestimiento 70 y hacia arriba alrededor de la tubería de revestimiento 70 en el espacio anular de pozo 75. Se puede permitir que la lechada de cemento 30 fragüe en el espacio anular de pozo 75, por ejemplo, para formar una vaina de cemento que soporte y posicione la tubería de revestimiento 70 en el pozo 50. Si bien no se las ilustra, también se pueden utilizar otras técnicas para la introducción de la lechada de cemento 30. A modo de ejemplo, se pueden usar técnicas de circulación inversa que incluyen la introducción de la lechada de cemento 30 en la formación subterránea 45 por medio del espacio anular de pozo 75 en lugar de a

través de la tubería de revestimiento 70.

[0039] A medida que se introduce, la lechada de cemento 30 puede desplazar otros fluidos 90, tales como fluidos de perforación y/o fluidos espaciadores, que pueden estar presentes en el interior de la tubería de revestimiento 70 y/o el espacio anular de pozo 75. Al menos una porción de los fluidos desplazados 90 puede salir del espacio anular de pozo 75 a través de una línea de flujo 95 y depositarse, por ejemplo, en uno o más pozos de retención 100 (por ejemplo, un pozo de lodo), como se muestra en la Figura 2. Con respecto nuevamente a la Figura 3, se puede introducir un tapón inferior 105 en el pozo 50 antes de la composición de cemento 30, por ejemplo, para separar la lechada de cemento 30 de los otros fluidos 90 que puedan estar dentro de la tubería de revestimiento 70 antes de la cementación. Después de que el tapón inferior 105 alcanza el collar de acoplamiento 110, se debe romper un diafragma u otro dispositivo adecuado para permitir que la lechada de cemento 30 pase a través del tapón inferior 105. En la Figura 3, el tapón inferior 105 se muestra en el collar de acoplamiento 110. En el ejemplo ilustrado, se puede introducir un tapón superior 115 en el pozo 50 detrás de la lechada de cemento 30. El tapón superior 115 puede separar la lechada de cemento 30 de un fluido de desplazamiento 120 y empujar la lechada de cemento 30 a través del tapón inferior 105.

[0040] Las lechadas de cemento divulgadas en la presente pueden utilizarse en varias aplicaciones subterráneas, que incluyen cementación primaria y correctiva. Las lechadas de cemento se pueden introducir en una formación subterránea y dejar que fragüen. En aplicaciones de cementación primaria, por ejemplo, se pueden introducir las lechadas de cemento en el espacio anular entre un conducto ubicado en un pozo y las paredes del pozo (y/o un conducto más grande en el pozo), en donde el pozo penetra la formación subterránea. Se puede permitir que la lechada de cemento fragüe en el espacio anular para formar una vaina anular de cemento endurecido. La lechada de cemento puede formar una barrera que evite la migración de fluidos en el pozo. La lechada de cemento también puede, por ejemplo, soportar el conducto en el pozo. En aplicaciones de cementación correctiva, la lechada de cemento puede usarse, por ejemplo, en operaciones de cementación por compresión o en la colocación de tapones de cemento. A modo de ejemplo, la lechada de cemento se puede colocar en un pozo para tapar una abertura (por ejemplo, un vacío o una grieta) en la formación, en un empaque de grava, en el conducto, en la vaina de cemento y/o entre la vaina de cemento y el conducto (por ejemplo, un microanillo) y/o en una aplicación de cementación inversa.

[0041] Las siguientes declaraciones pueden describir ciertas formas de realización de la divulgación, pero deben considerarse limitativas de cualquier forma de realización particular.

[0042] Declaración 1. Un método de cementación que comprende: preparar una lechada de cemento al mezclar al menos agua y una mezcla de cemento seco, en donde la mezcla de cemento seco comprende un cemento y una puzolana activada; e introducir la lechada de cemento en un pozo que penetra una formación subterránea; y permitir que la lechada de cemento fragüe para formar

una masa endurecida.

[0043] Declaración 2. El método de acuerdo con la declaración 1, en donde el cemento comprende al menos uno seleccionado del grupo que consiste en un cemento Portland, un cemento de puzolana, un cemento de yeso, un cemento de alúmina, un cemento de sílice y combinaciones de estos.

[0044] Declaración 3. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-2, en donde la puzolana activada comprende productos de hidratación del cemento depositados en una puzolana, en donde los productos de hidratación del cemento son productos de reacción de agua y al menos un cemento seleccionado del grupo que consiste en un cemento Portland, un cemento de puzolana, un cemento de yeso, un cemento de alúmina, un cemento de sílice y combinaciones de estos.

[0045] Declaración 4. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-3, en donde la puzolana se selecciona del grupo que consiste en ceniza volante, ceniza volcánica, mata, pumicita, metacaolín, humo de sílice, escoria, ceniza de cal, perlita, vidrio de silicato, vidrio de cal sodada, vidrio de sílice sodada, vidrio de borosilicato, vidrio de aluminosilicato, aplita, arcillas, arcillas calcinadas y combinaciones de estos.

[0046] Declaración 5. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-4, en donde los productos de hidratación del cemento comprenden hidrato de sílice de calcio microcristalino y/o nanocristalino.

[0047] Declaración 6. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 1-5, en donde los productos de hidratación del cemento comprenden carbonato.

[0048] Declaración 7. Un método para producir una puzolana activada que comprende: mezclar al menos una puzolana sin procesar y una solución de cemento pasivada, en donde la solución de cemento pasivada comprende productos de hidratación del cemento; hacer reaccionar al menos una porción de la puzolana sin procesar con los productos de hidratación del cemento en la solución de cemento pasivada para producir una puzolana activada; secar la puzolana activada; y mezclar la puzolana activada con un cemento.

[0049] Declaración 8. El método de acuerdo con la declaración 7 que además comprende: mezclar al menos un segundo cemento y agua para formar una solución de cemento pasivada previamente, en donde el agua está presente en una cantidad de manera tal que la solución pasivada previamente no fragüe para formar una masa endurecida; y hacer reaccionar al menos una porción del segundo cemento con agua para producir la solución de cemento pasivada que comprende los productos de hidratación del cemento.

[0050] Declaración 9. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 7-8, en donde el segundo cemento comprende al menos uno seleccionado del grupo que consiste en un cemento Portland, un cemento de puzolana, un cemento de yeso, un cemento de alúmina, un cemento de sílice y combinaciones de estos.

[0051] Declaración 10. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 7-9, en donde el agua está presente en una cantidad de alrededor de 400 % en peso del segundo cemento a alrededor de 5000 % en peso del segundo cemento.

[0052] Declaración 11. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones

7-10, en donde la reacción del segundo cemento con el agua para producir la solución de cemento pasivada se lleva a cabo a una temperatura de alrededor de 5 °C a alrededor de 80 °C.

[0053] Declaración 12. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 7-11, en donde la reacción del segundo cemento con el agua para producir la solución de cemento pasivada se lleva a cabo durante alrededor de 1 hora a alrededor de 24 horas.

[0054] Declaración 13. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 7-12, en donde los productos de hidratación del cemento comprenden hidrato de sílice de calcio microcristalino y/o nanocristalino.

[0055] Declaración 14. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 7-13, en donde los productos de hidratación del cemento comprenden un carbonato.

[0056] Declaración 15. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 7-14, en donde los productos de hidratación del cemento comprenden al menos granos de cemento reactivos.

[0057] Declaración 16. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 7-15, en donde la puzolana sin procesar se selecciona del grupo que consiste en ceniza volante, ceniza volcánica, mata, pumicita, metacaolín, humo de sílice, escoria, ceniza de cal, perlita, vidrio de silicato, vidrio de cal sodada, vidrio de sílice sodada, vidrio de borosilicato, vidrio de aluminosilicato, aplita, arcillas, arcillas calcinadas y combinaciones de estos.

[0058] Declaración 17. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 7-16, en donde el cemento comprende al menos uno seleccionado del grupo que consiste en un cemento Portland, un cemento de puzolana, un cemento de yeso, un cemento de alúmina, un cemento de sílice y combinaciones de estos.

[0059] Declaración 18. El método de acuerdo con cualquiera de las declaraciones 7-17, en donde la mezcla de la puzolana activada con un cemento además comprende mezclarla con al menos un material cementoso complementario, un aditivo químico, un aditivo inerte.

[0060] Declaración 19. Una composición que comprende: un cemento y una puzolana activada, en donde el cemento y la puzolana activada son un polvo seco mezclado.

[0061] Declaración 20. La composición de acuerdo con la declaración 19, en donde la puzolana activada comprende productos de hidratación del cemento dispuestos en una superficie de una puzolana, en donde los productos de hidratación del cemento comprenden al menos un producto de hidratación seleccionado del grupo que consiste en hidrato de sílice de calcio microcristalino, hidrato de sílice de calcio nanocristalino, un carbonato, granos de cemento completamente reaccionados, granos de cemento parcialmente reaccionados y combinaciones de estos.

EJEMPLOS

[0062] Para facilitar una mejor comprensión de la presente divulgación, se proporcionan los siguientes ejemplos de ciertos aspectos de algunas formas de realización. De ninguna manera debería considerarse que los siguientes ejemplos

limitan, o definen, el alcance completo de la divulgación.

EJEMPLO 1

[0063] Los cementos se prepararon mediante el uso de una puzolana activada como se describe en la presente. El vidrio reciclado se trató con los métodos descritos para producir una puzolana activada. El vidrio reciclado utilizado en este ejemplo se obtuvo como partículas trituradas a través de Strategic Materials, Inc con una distribución de tamaño de partícula medida D_{50} de 80 micrómetros, una gravedad específica medida de 2,54 y un requisito de agua de 59.

[0064] Para mejorar la actividad puzolánica de las partículas de vidrio reciclado, las partículas se trataron con el siguiente método. Primero se formó una lechada de cemento pasivada al mezclar 450,0 g de agua con 45,0 g de cemento de clase G en una botella de 1,0 litro. La botella que contenía la lechada de cemento se colocó en un horno a 160°F para hacer reaccionar las partículas de cemento. Luego de dos horas, la botella se retiró del horno y se agregaron 400,0 g de las partículas de vidrio reciclado a la mezcla y se mezcló. La botella se colocó de nuevo en el horno a 160°F durante dos horas más. Luego, la botella se retiró del horno y el contenido se purgó en un recipiente para tortas de 10" por 10" y se colocó en un horno a 190°F durante 24 horas para obtener una puzolana activada en polvo seco.

[0065] Se prepararon dos lechadas de cemento de acuerdo con la Tabla 1 y la Tabla 2. La primera lechada de cemento utilizó el polvo de vidrio reciclado sin procesar como aditivo puzolánico y la segunda lechada de cemento utilizó la puzolana activada.

Tabla 1

Material	Peso (g)	SG	Vol. (mL)	PPG
Texas Lehigh tipo I	64,8	3,2	20,1	13,9
Vidrio reciclado sin procesar	259,2	2,6	101,6	
Agua	178,2	1	178,6	

Tabla 2

Material	Peso (g)	SG	Vol. (mL)	PPG
Texas Lehigh tipo I	64,8	3,2	20,1	13,9
Puzolana activada	259,2	2,6	101,6	
Agua	178,2	1	178,6	

[0066] Las lechadas de la Tabla 1 y Tabla 2 equivalen a 80 % en peso del vidrio reciclado de la mezcla seca y 20 % en peso del cemento mezclado de la mezcla seca, y a 55 % de agua en peso de la mezcla (bwob). Ambas lechadas se mezclaron de acuerdo con las especificaciones API y se colocaron en analizadores de cemento ultrasónicos (UCA) separados a 140 °C y 3000 psi. Después de alrededor de 96 horas, las muestras de cemento fraguado se quitaron del UCA y se trituraron mediante el uso de un bastidor de carga Tinius-Olsen.

Luego se usó el valor de trituración para corregir los resultados del UCA, que se muestran en la Figura 4. La Tabla 3 muestra los valores tabulados del UCA corregido por trituración.

Tabla 3

Material	Tiempo a	Corregido por trituración C. S. (psi)			
	50 psi (h)	24 h	48 h	72 h	96 h
Cemento de vidrio reciclado sin procesar	5,18	196	465	556	581
Puzolana activada	4,37	252	664	910	957
% de mejora	15,6	28,6	42,8	63,7	64,7

[0067] A partir de la Figura 4 y la Tabla 3, se puede observar que la lechada que contiene la puzolana activada derivada de vidrio reciclado sin procesar tiene una mayor resistencia a la compresión que la lechada que contiene el vidrio reciclado sin procesar.

EJEMPLO 2

[0068] Los cementos se prepararon mediante el uso de una puzolana activada como se describe en la presente. El polvo de perlita se trató con los métodos descritos para producir una puzolana activada. La perlita utilizada en este ejemplo se obtuvo a través de Imerys N. A., Inc y tuvo una distribución de tamaño de partícula medida D50 de 16 micrómetros, una gravedad específica medida de 2,43 y un requisito de agua de 52.

[0069] Para mejorar la actividad puzolánica del polvo de perlita, las partículas se trataron con el siguiente método. Primero se formó una lechada de cemento pasivada al mezclar 450,0 g de agua con 45,0 g de cemento de clase G en una botella de 1,0 litro. La botella que contenía la lechada de cemento se colocó en un horno a 160°F para hacer reaccionar las partículas de cemento. Después de dos horas, la botella se retiró del horno y se agregaron 400,0 g del polvo de perlita a la mezcla y se mezcló. La botella se colocó de nuevo en el horno a 160°F durante dos horas más. Luego, la botella se retiró del horno y el contenido se purgó en un recipiente para tortas de 10" por 10" y se colocó en un horno a 190°F durante 24 horas para obtener una puzolana activada en polvo seco.

[0070] Se prepararon dos lechadas de cemento de acuerdo con la Tabla 4 y la Tabla 5. La primera lechada de cemento utilizó el polvo de perlita sin procesar como aditivo puzolánico y la segunda lechada de cemento utilizó la puzolana activada producida a partir de perlita sin procesar.

Tabla 4

Material	Peso (g)	SG	Vol. (mL)	PPG
Texas Lehigh tipo I	64,0	3,2	19,8	13,7
Perlita sin procesar	256,0	2,5	104,5	
Agua	176	1	176,4	

Tabla 5

Material	Peso (g)	SG	Vol. (mL)	PPG
Texas Lehigh tipo I	64,0	3,2	19,8	13,7
Puzolana activada	256,0	2,5	104,5	
Agua	176	1	176,4	

[0071] Las lechadas de la Tabla 4 y Tabla 5 equivalen a 80 % en peso de la perlita mezclada seca, a 20 % en peso del cemento mezclado seco y a 55 % en peso de la mezcla (bwob). Ambas lechadas se mezclaron de acuerdo con las especificaciones API y se colocaron en UCA separados a 140 °C y 3000 psi. Después de alrededor de 96 horas, las muestras de cemento fraguado se quitaron del UCA y se trituraron mediante el uso de un bastidor de carga Tinius-Olsen. Luego se usó el valor de trituración para corregir los resultados del UCA, que se muestran en la Figura 5. La Tabla 3 muestra los valores tabulados del UCA corregido por trituración.

Tabla 6

	Tiempo a	Corregido por trituración C. S. (psi)			
Material	50 psi (h)	24 h	48 h	72 h	96 h
Cemento de perlita sin procesar	2,50	882	932	950	954
Cemento de puzolana activada	2,66	1456	1696	1800	1875
% de mejora	-6,4	65,1	82,0	89,5	96,5

[0072] A partir de la Figura 5 y la Tabla 6, se puede observar que la lechada que contiene la puzolana activada derivada de perlita sin procesar tiene una mayor resistencia a la compresión que la lechada que contiene la perlita sin procesar.

[0073] Por razones de brevedad, en la presente solamente se divulgan de manera explícita ciertos rangos. Sin embargo, los rangos de cualquier límite inferior se pueden combinar con cualquier límite superior para enumerar un rango no enumerado explícitamente, al igual que los rangos de cualquier límite inferior se pueden combinar con cualquier otro límite inferior para enumerar un rango no enumerado explícitamente, de la misma manera, los rangos de cualquier límite superior se pueden combinar con cualquier límite superior para enumerar un rango no enumerado explícitamente. Además, siempre que se divulgue 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 están enumerados 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.

[0074] Por lo 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 abarca todas las combinaciones de todos esos 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 simple y ordinario a menos que el titular de la patente defina lo contrario de manera explícita y clara. 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 espíritu de la presente divulgación. Si existiese conflicto alguno en los usos de una palabra o 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.