

MÉTODOS PARA CEMENTAR UN POZO CON EL USO DE UN ELASTÓMERO

HINCHABLE EN ACEITE

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de los EE. UU. núm. 16/023155, presentada el 29 de junio de 2018, que se incorpora en la presente descripción como referencia en su totalidad.

ANTECEDENTES

Taponar pozos de petróleo o gas con un tapón de cemento es una operación común en la técnica. En general, uno de los objetivos de la cementación de tapones es asegurar un sello estable y eficaz en una ubicación designada del pozo. En otros casos, puede usarse un tapón de cemento para proporcionar una base para iniciar una derivación o un inicio cuando se desea un cambio de dirección en la perforación.

Frecuentemente, los tapones de cemento se construyen mediante el bombeo de una lechada de cemento por una tubería de perforación. Después, la lechada de cemento bombeada desplaza un fluido de pozo, tal como un fluido de perforación, y se endurece para formar un tapón de cemento. Debido a que una lechada de cemento es usualmente más densa

que un fluido de perforación, el fluido de perforación más ligero tiende a migrar hacia arriba y a través de la lechada de cemento. Al mismo tiempo, la lechada de cemento más pesada tiende a caer en el pozo a medida que se endurece. Este fenómeno se conoce como cambio de densidad de fluidos dentro del pozo. El cambio de densidad puede, en última instancia, hacer que el tapón no fragüe en su lugar previsto, y la posterior mezcla de los fluidos del pozo con la lechada del tapón también puede tener efectos perjudiciales en el rendimiento previsto del cemento fraguado.

Se pueden usar espaciadores de cemento para ayudar a separar los fluidos de perforación de las lechadas de cemento. Sin embargo, algunos espaciadores de cemento conocidos no son del todo eficaces y permiten la mezcla y la remezcla de los fluidos que están diseñados para separar. La contaminación de las lechadas de cemento puede ralentizar o impedir el fraguado o comprometer de cualquier otra manera la integridad del tapón de cemento. Por consiguiente, persiste la necesidad en la técnica de fluidos espaciadores de cemento alternativos y métodos para cementar un pozo mediante el uso de fluidos espaciadores de cemento alternativos.

BREVE DESCRIPCIÓN

Un método para cementar un pozo que penetra en una formación subterránea comprende: inyectar en el pozo un fluido espaciador de cemento que comprende un fluido portador, un surfactante cuaternario, un viscosificante, y un apuntalante; inyectar una lechada de cemento en el pozo; y dejar que la lechada de cemento fragüe.

Un fluido espaciador de cemento comprende aproximadamente 30 a aproximadamente 100 % en peso de un portador acuoso que comprende agua o salmuera; aproximadamente 0,05 a aproximadamente 10 % en peso de un surfactante cuaternario que tiene un catión de $R_1 R_2 R_3 R_4 N^+$ y un anión, en donde R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 son cada uno independientemente un grupo alquilo C_{1-30} recto o ramificado, un grupo alquilbencilo C_{7-30} , un grupo arilalquilo C_{7-30} , un grupo alquenilo C_{3-30} recto o ramificado, un grupo hidroxialquilo C_{1-30} , un grupo hidroxialquilbencilo C_{7-30} , o un grupo polioxialquilenos; y el anión comprende un haluro, un perclorato, un tiocianato, un cianato, un carboxilato, un sulfato de alquilo, un sulfonato de alquilo, PF_6^- , AsF_6^- , SbF_6^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^- , o BX_4^- , X es un haluro; aproximadamente 0,05 a aproximadamente 10 % en peso de un viscosificante; y aproximadamente 1 a aproximadamente 65 % en peso de un apuntalante, cada uno basado en el peso de agua en el fluido espaciador de cemento.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Se describe un método mejorado para cementar un pozo. El método usa un fluido espaciador de cemento que comprende un fluido portador, un surfactante cuaternario, un viscosificante, y un apuntalante para minimizar el cambio de densidad entre una lechada de cemento y un fluido de pozo tal como un fluido de perforación. En particular, el fluido espaciador tiene una densidad lo suficientemente baja como para suspenderse en la parte superior del fluido de pozo. Además, el fluido espaciador se convierte en un gel una vez inyectado en el fondo del pozo. El gel tiene una estructura lo suficientemente fuerte para soportar la lechada de cemento. Por lo tanto, el fluido espaciador de cemento puede minimizar eficazmente el cambio de densidad entre la lechada de cemento y el fluido de pozo.

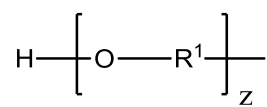
El surfactante cuaternario tiene un catión de R_1 R_2 R_3 R_4N^+ y un anión, en donde R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 son cada uno independientemente un grupo alquilo C_{1-30} recto o ramificado, un grupo alquilbencilo C_{7-30} , un grupo arilalquilo C_{7-30} , un grupo alquenilo C_{3-30} recto o ramificado, un grupo hidroxialquilo C_{1-30} , un grupo hidroxialquilbencilo C_{7-30} , o un grupo polioxialquilenos; y el anión comprende un haluro, un perclorato, un tiocianato, un cianato, un carboxilato, un sulfato de alquilo, un

sulfonato de alquilo, PF_6^- , AsF_6^- , SbF_6^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^- , o BX_4 , en donde X es un haluro. Se mencionan específicamente surfactantes cuaternarios que tienen un haluro o un anión de sulfato de metilo.

Como se usa en la presente descripción, el término “cloruro” incluye -F, -Cl, -Br, o -I; “alquilo” se refiere un grupo hidrocarburo monovalente saturado de cadena recta o ramificada independientemente de si se menciona o no específicamente la cadena recta o ramificada; “arilo” se refiere a un grupo monovalente aromático que contiene solo carbono en el anillo o anillos aromáticos; “arilalquilo” se refiere a un grupo alquilo que ha sido sustituido con un grupo arilo, con bencilo que es un grupo arilalquilo ilustrativo; “alquilbencilo” se refiere a un grupo bencilo que ha sido sustituido con un grupo alquilo en el anillo aromático; “hidroxialquilo” se refiere a un grupo alquilo que ha sido sustituido con un grupo hidroxilo con 2-hidroxietilo como un grupo hidroxialquilo ilustrativo; “hidroxialquilbencilo” se refiere a un grupo bencilo que ha sido sustituido con un grupo hidroxialquilo como se define en la presente descripción en el anillo aromático; “alquilenno” se refiere a un grupo hidrocarburo divalente saturado de cadena recta o ramificada, y “alquenilo” se refiere a un grupo hidrocarburo monovalente de cadena

recta o ramificada que tiene al menos dos carbonos unidos por un enlace doble de carbono-carbono. El término “sustituido”, como se usa en la presente descripción, significa que al menos un hidrógeno en el átomo designado o grupo se reemplaza con otro grupo, siempre que no se exceda la valencia normal del átomo designado. Sustituido con un grupo significa sustituido con uno o más grupos.

Como se usa en la presente descripción, un grupo polioxialquileo tiene una fórmula



, en donde cada ocurrencia de R^1 es independientemente un alquileo C_{1-10} o alquileo C_{2-8} , específicamente etileno, propileno, butileno o una combinación de estos, y z es un número entero mayor que 1, tal como 2 a 30, 4 a 25, u 8 a 25.

En una modalidad, R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 son cada uno independientemente un grupo alquilo C_{1-20} recto o ramificado o un grupo hidroxialquilo C_{1-20} , preferentemente R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 son cada uno independientemente un grupo alquilo C_{1-10} recto o ramificado o un grupo hidroxialquilo C_{1-10} , con mayor preferencia, R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 son cada uno independientemente un grupo alquilo C_{1-5} recto o ramificado o un grupo hidroxialquilo C_{1-5} .

En una modalidad, al menos uno de R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 es un grupo hidroxialquilo C_{1-5} . Preferentemente, R_1 , R_2 , y

R₃ son cada uno independientemente un grupo hidroxialquilo C₁₋₅, y R₄ es un grupo alquilo C₁₋₅ recto o ramificado, o R₁, R₂, y R₃ son cada uno independientemente un grupo alquilo C₁₋₅ recto o ramificado, y R₄ es un grupo hidroxialquilo C₁₋₅.

En una modalidad ilustrativa específica, el surfactante cuaternario es una sal de amonio cuaternario como cloruro de colina y preferentemente contiene el catión N,N,N-trimetiletanolamonio. Tales sales de amonio cuaternario incluyen el estabilizador de arcilla Claytreat-3C (CT-3C) o Claymaster-5C ambos de Baker Hughes, una empresa de GE, LLC.

Los fluidos espaciadores pueden contener aproximadamente 0,1 a 50 libras de surfactante cuaternario por galón de los fluidos espaciadores (ppg), preferentemente, aproximadamente 1 a aproximadamente 25 ppg, con mayor preferencia aproximadamente 2 a aproximadamente 12,5 ppg del surfactante cuaternario.

Además del surfactante cuaternario, los fluidos espaciadores de cemento pueden comprender además un viscosificante. El viscosificante puede ser polímeros naturales tales como gomas guar, derivados guar tales como hidropopil guar (HPG), carboximetil guar (CMG) y carboximetilhidroxipopil guar (CMHPG), polisacáridos hidratables de alto peso molecular, goma xantana (que opcionalmente puede reticularse), gomas de galactomanano,

gomas de glucomanano, celulosa, derivados de celulosa tales como hidroxietilcelulosa (HEC), carboximetilcelulosa (CMC), hidroxipropilcelulosa (HPC) y carboximetilhidroxietilcelulosa (CMHEC), polímeros sintéticos tales como poli(ácidos (met)acrílicos), poli((met)acrilamidas), copolímeros de ácido (met)acrílico y (met)acrilamida, y poli(met)acrilatos de alquilo C₁₋₈, o arcillas tales como bentonita, sepiolita y atapulguita, y lo similar, o una combinación que comprende al menos uno de los viscosificantes mencionados anteriormente.

Los fluidos espaciadores de cemento pueden contener aproximadamente 0,01 a 65 libras del viscosificante por galón de los fluidos espaciadores de cemento (ppg), preferentemente aproximadamente 0,1 a aproximadamente 30 ppg, con mayor preferencia aproximadamente 1 a aproximadamente 10 ppg del viscosificante

Los fluidos espaciadores de cemento incluyen además un apuntalante. Los inventores han descubierto que la presencia del apuntalante estabiliza los fluidos espaciadores. Las partículas apuntalantes incluyen una cerámica, arena, un mineral, una cáscara de nuez, grava, vidrio, partículas resinosas, partículas poliméricas, o una combinación de estos. En una modalidad, las partículas apuntalantes se seleccionan dependiendo de la

aplicación particular de la composición de fracturación hidráulica. Los ejemplos de la cerámica incluyen una cerámica a base de óxido, cerámica a base de nitruro, cerámica a base de carburo, cerámica a base de boruro, cerámica a base de silicida, o una combinación de estos. En una modalidad, la cerámica a base de óxido es sílice (SiO_2), titania (TiO_2), óxido de aluminio, óxido de boro, óxido de potasio, óxido de circonio, óxido de magnesio, óxido de calcio, óxido de litio, óxido de fósforo y/o óxido de titanio, o una combinación de estos. La cerámica a base de óxido, la cerámica a base de nitruro, la cerámica a base de carburo, la cerámica a base de boruro, o la cerámica a base de siliciuro contienen un no metal (p. ej., oxígeno, nitrógeno, boro, carbono, o silicio, y lo similar), metal (p. ej., aluminio, plomo, bismuto, y lo similar), metal de transición (p. ej., niobio, tungsteno, titanio, circonio, hafnio, itrio, y lo similar), metal alcalino (p. ej., litio, potasio, y lo similar), metal alcalinotérreo (p. ej., calcio, magnesio, estroncio, y lo similar), tierras raras (p. ej., lantano, cerio, y lo similar), o halógeno (p. ej., flúor, cloro, y lo similar). Los ejemplos de cerámica incluyen zirconia, zirconia estabilizada, mullita, alúmina endurecida con zirconia, espinela, aluminosilicatos (p. ej., mullita, cordierita), perovskita, carburo de silicio, nitruro de silicio, carburo de titanio, nitruro de titanato, carburo

de aluminio, nitruro de aluminio, carburo de zirconio, nitruro de zirconio, carburo de hierro, oxinitruro de aluminio, oxinitruro de silicio y aluminio, titanato de aluminio, carburo de tungsteno, nitruro de tungsteno, esteatita, y lo similar, o una combinación de estos.

Los ejemplos de arenas adecuadas para las partículas apuntalantes incluyen, pero no se limitan a, arena de Arizona, arena de Wisconsin, arena Badger, arena de Brady, y arena de Ottawa. En una modalidad, las partículas apuntalantes elaboradas de un mineral como la bauxita se sinterizan para obtener un material duro. En una modalidad, la bauxita o bauxita sinterizada tiene una permeabilidad relativamente alta, tal como el material de bauxita descrita en la patente de los EE. UU. núm. 4.713.203, cuyo contenido se incorpora en la presente descripción como referencia en su totalidad.

Las partículas apuntalantes de origen natural incluyen cáscaras de nueces tales como nogal, coco, pecana, almendra, nuez de marfil, nuez de Brasil, y lo similar; cáscaras de semillas de frutos tales como ciruela, aceituna, melocotón, cereza, albaricoque, y lo similar; cáscaras de semillas de otras plantas tales como maíz (p. ej., mazorcas de maíz o granos de maíz); materiales de madera tales como aquellos derivados del roble, nogal americano, nogal, álamo, caoba, y lo similar. Tales

materiales son partículas formadas por trituración, molienda, corte, descascarado, y lo similar.

Los fluidos espaciadores pueden contener aproximadamente 0,01 a 500 libras del apuntalante por galón de los fluidos espaciadores (ppg), preferentemente, aproximadamente 0,1 a aproximadamente 100 ppg, con mayor preferencia, aproximadamente 1 a aproximadamente 20 ppg del apuntalante.

Los fluidos espaciadores de cemento pueden comprender además un fluido portador para transportar el surfactante cuaternario, el viscosificante, y el apuntalante a la ubicación deseada en el pozo. El portador acuoso puede ser agua dulce, salmuera (que incluye agua de mar), un ácido acuoso (por ejemplo, un ácido mineral o un ácido orgánico), una base acuosa o una combinación que comprende al menos uno de los mencionados anteriormente. Se apreciará que en el fluido portador se pueden usar otros líquidos polares tales como alcoholes y glicoles, solos o junto con agua.

La salmuera puede ser, por ejemplo, agua de mar, agua producida, salmuera de terminación o una combinación que comprende al menos uno de los mencionados anteriormente. Las propiedades de la salmuera pueden depender de la identidad y los componentes de la salmuera. El agua de mar, por ejemplo, puede contener numerosos constituyentes que incluyen sulfato, bromo y metales

traza, más allá de las sales típicas que contienen haluro. El agua producida puede ser agua extraída de un reservorio de producción (p. ej., reservorio de hidrocarburos) o producida a partir de una fuente de reservorio subterráneo de agua dulce o agua salobre. El agua producida también puede denominarse salmuera de reservorio y contener componentes que incluyen bario, estroncio y metales pesados. Además de las salmueras de origen natural (p. ej., agua de mar y agua producida), la salmuera de terminación puede sintetizarse a partir de agua dulce mediante la adición de diversas sales, por ejemplo, KCl, NaCl, ZnCl_2 , MgCl_2 o CaCl_2 para aumentar la densidad de la salmuera, tal como aproximadamente 10,6 libras por galón de salmuera de CaCl_2 . Las salmueras de terminación proporcionan típicamente una presión hidrostática optimizada para contrarrestar las presiones del reservorio en el fondo de pozo. Las salmueras mencionadas anteriormente se pueden modificar para incluir una o más sales adicionales. Las sales adicionales incluidas en la salmuera pueden ser NaCl, KCl, NaBr, MgCl_2 , CaCl_2 , CaBr_2 , ZnBr_2 , NH_4Cl , formiato de sodio, formiato de cesio y combinaciones que comprenden al menos uno de los mencionados anteriormente. La sal puede estar presente en la salmuera en una cantidad de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 50 por ciento en peso (% en peso), específicamente, aproximadamente 1 a aproximadamente 40 %

en peso y, más específicamente, aproximadamente 1 a aproximadamente 25 % en peso, basado en el peso del fluido portador.

Los fluidos espaciadores de cemento pueden comprender además otros componentes conocidos para usar en espaciadores de cemento, por ejemplo, un agente de reticulación viscosificante, un agente de control del pH, un surfactante, un agente de ponderación, un lubricante, un agente de pérdida de fluidos, un estabilizante de arcilla, un biocida, un ácido, un inhibidor de corrosión, un reductor de fricción, un depurador de oxígeno, un estabilizante de gel o una combinación que comprende al menos uno de los mencionados anteriormente. Estos componentes adicionales se seleccionan para evitar impartir características desfavorables a los espaciadores de cemento, evitar daños al equipo en contacto con las composiciones y evitar dañar el pozo o la formación subterránea.

En una modalidad, puede estar presente un agente de reticulación para el viscosificante, por ejemplo, un agente de reticulación de borato, titanato, circonato, aluminato o cromato, o una combinación que comprende al menos uno de los mencionados anteriormente.

El agente de ajuste del pH es una base orgánica o inorgánica, un ácido orgánico o inorgánico, o un regulador, que es cualquier combinación apropiada de

ácido y base conjugada. Las bases inorgánicas ilustrativas incluyen las representadas por MOH, donde M es un metal del grupo 1 o 2 de la tabla periódica, un metal de transición, o un metal o metaloide del grupo 13, 14 o 15, sal de carbonato, sal de bicarbonato, o una combinación que comprende al menos uno de los mencionados anteriormente. Los ácidos inorgánicos ilustrativos incluyen HCl, HBr, ácido fluorobórico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido acético, ácido fórmico, ácido metanosulfónico, ácido propiónico, ácido cloroacético o dicloroacético, ácido cítrico, ácido glicólico, ácido láctico, o una combinación que comprende al menos uno de los mencionados anteriormente. Los ejemplos específicos de agentes de control del pH, particularmente aquellos usados en combinación con agentes de reticulación de borato, incluyen hidróxidos y carbonatos de metales alcalinos y de metales alcalinotérreos tales como hidróxido de sodio y carbonato de sodio, óxidos metálicos tales como óxido de magnesio, sesquicarbonato de sodio, y aminas tales como hidroxialquil aminas, anilinas, piridinas, pirimidinas, quinolinas y pirrolidinas, y carboxilatos tales como acetatos y oxalatos.

Los agentes de ponderación son materiales sólidos de alta gravedad específica y finamente divididos que se usan para aumentar la densidad, por ejemplo, harina de sílice, arena, cenizas volantes, carbonato de calcio,

barita, hematita, ilemita, siderita y lo similar. Los agentes de ponderación preferidos son arena y harina de sílice.

Los surfactantes pueden aumentar la compatibilidad de los fluidos espaciadores de cemento, la lechada de cemento o el fluido de perforación. El surfactante puede ser aniónico, catiónico, zwitteriónico o no iónico. Otros surfactantes útiles incluyen aquellos que tienen cadenas laterales de poli(alquilenglicol), ácidos grasos o grupos fluorados tales como ácidos sulfónicos C_{1-4} perfluorados injertados en la cadena principal polimérica. Los cadenas principales poliméricas incluyen aquellas basadas en un poliéster, un poli(met)acrilato, un poliestireno, un poli(estireno-(met)acrilato), un policarbonato, una poliamida, una poliimida, un poliuretano, un alcohol polivinílico, o un copolímero que comprende al menos una de estas cadenas principales poliméricas.

Los lubricantes minimizan la fricción e incluyen materiales tales como poliacrilamida, destilado de petróleo, destilado de petróleo ligero hidrotratado, un alcohol de cadena corta (p. ej., metanol), o poliol (p. ej., se puede usar etilenglicol o glicerol poliisobutil metacrilato, polimetil metacrilato, poliisobutileno, guar, derivados de guar, un polisacárido tal como celulosa y almidón, y óxido de polietileno, o una

combinación que comprenda al menos uno de los mencionados anteriormente.

Los agentes de control de pérdida de fluido usualmente son polímeros solubles en agua, tales como gomas guar, poli(etilenimina), derivados de celulosa y sulfonato de poliestireno. En algunas modalidades, el mismo polímero funciona como viscosificante y como agente de control de pérdida de fluido.

El estabilizante de arcilla evita que la arcilla en el fondo del pozo se hinche al entrar en contacto con el espaciador de cemento o la presión de fractura aplicada, y puede ser, por ejemplo, una amina cuaternaria, una salmuera (p. ej., salmuera de KCl), cloruro de colina, cloruro de tetrametilamonio y lo similar.

Un biocida evita la inyección de un microbio (p. ej., bacteria) en el fondo del pozo al eliminar o reducir las bacterias en el espaciador de cemento, lo que reduce la producción de, p. ej., gas ácido.

Las diversas propiedades de los fluidos espaciadores de cemento se pueden variar y ajustar de acuerdo con los parámetros de compatibilidad y control del pozo asociados con el fluido de pozo particular y la lechada de cemento con la que se asocia. Ventajosamente, los fluidos espaciadores de cemento forman un gel, antes, durante, o después de su inyección en el pozo. La

viscosidad de los fluidos espaciadores se puede variar en un amplio rango, tal como una viscosidad aparente (AV, por sus siglas en inglés) de aproximadamente 0 a aproximadamente 600 centipoises (cP) o aproximadamente 0,01 a aproximadamente 300 cP, cuando se mide con un viscosímetro de mesa, tal como un reómetro Ofite M900 a 23 °C a 300 revoluciones por minuto (rpm), y se realiza de acuerdo con la norma API RP-39 del Instituto Americano del Petróleo.

La densidad del fluido espaciador de cemento puede variar en un amplio rango. En una modalidad, el fluido espaciador de cemento tiene una densidad de aproximadamente 5 ppg a aproximadamente 22 ppg, específicamente aproximadamente 8,5 ppg a aproximadamente 18 ppg. En una modalidad, los fluidos espaciadores son más ligeros que los fluidos anteriores.

Los fluidos espaciadores de cemento pueden premezclarse o se inyectan sin mezclar, p. ej., inyectarse “sobre la marcha”, donde los componentes se combinan a medida que los espaciadores de cemento se inyectan en el fondo del pozo. El orden de adición se puede variar, y el tiempo de inyección de cada componente es el mismo o diferente.

En general, primero se inyecta un fluido espaciador de cemento en un pozo. Después, se inyecta una lechada de cemento (opcionalmente con una “lechada de plomo”

o una “lechada de cola”), y se deja fraguar. El fluido espaciador de cemento se usa para sujetar el tapón de cemento donde se coloca y para evitar el cambio de densidad de la lechada de cemento con un fluido de pozo después de la colocación de la lechada. Aunque usualmente el fluido espaciador de cemento se inyecta antes que la lechada de cemento, también es posible usar fluido espaciador de cemento para aislar la lechada de cemento de los siguientes fluidos de pozo, tales como los fluido de perforación, solo o con otro fluido de aislamiento. Por lo tanto, en otra modalidad, el método incluye inyectar un primer fluido espaciador de cemento en el pozo. Después, se inyecta una lechada de cemento en el pozo, seguido de la inyección de un segundo fluido espaciador de cemento. A medida que el primer y el segundo fluido espaciador de cemento entran en contacto con la lechada de cemento, a cada lado, la lechada queda atrapada entre el primer y el segundo fluido espaciador de cemento. El primer y el segundo fluido espaciador de cemento pueden ser diferentes o iguales.

Los fluidos de pozo pueden ser un fluido de perforación. Se apreciará que, como se usa en la presente descripción, el término “fluido de perforación” también incluye “fluidos de perforación de yacimiento” y “fluidos de terminación”. Un fluido de perforación, también denominado lodo de perforación, es un fluido heterogéneo complejo. Los fluidos de perforación se clasifican típicamente de acuerdo

con su fluido base. En los lodos a base de agua (WBM, por sus siglas en inglés), las partículas sólidas se suspenden en agua dulce o salmuera. Si está presente, el aceite puede emulsionarse en el agua. Sin embargo, el agua es la fase continua. Los lodos a base de aceite (OBM, por sus siglas en inglés) son opuestos o inversos. Las partículas sólidas se suspenden en aceite, y agua o salmuera se emulsifica en el aceite y, por lo tanto, el aceite es la fase continua. El aceite en las emulsiones aceite en agua o de los lodos a base de aceite puede comprender cualquier aceite que incluya, pero no se limita a un aceite diésel; un aceite de parafina; un aceite vegetal; un aceite de frijol de soya; un aceite mineral; un solvente alifático, un solvente aromático; o un aceite sintético; o una combinación que comprende al menos uno de los mencionados anteriormente.

La lechada de cemento puede incluir cualquier material cementoso que fragüe y endurezca por reacción con el agua y sea adecuado para formar un cemento fraguado en el fondo del pozo, que incluye morteros y hormigones. Los cementos hidráulicos adecuados, que incluyen morteros y hormigones, incluyen aquellos usados típicamente en un entorno de pozo, por ejemplo, aquellos que comprenden calcio, aluminio, silicio, oxígeno o azufre. Tales cementos hidráulicos incluyen, pero no se limitan a, cementos Portland, cementos puzolánicos, cementos de yeso, cementos con alto contenido de alúmina,

cementos de sílice y cementos de alta alcalinidad. Los cementos Portland son particularmente útiles. En algunas modalidades, los cementos Portland que son adecuados para usar se clasifican como cementos de Clase A, B, C, G y H de acuerdo con la Especificación API para materiales y pruebas para cementos de pozos del Instituto Americano del Petróleo. Los cementos, como se usa en la presente descripción, abarcan varios hormigones mediante la adición adicional de agregados, tales como un agregado grueso hecho de grava o rocas trituradas tales como horsteno, cuarcita, granito o un agregado fino tal como arena o arena triturada.

Las lechadas de cemento pueden comprender además otros componentes conocidos para usar en la cementación, por ejemplo, un acelerador para reducir el tiempo de fraguado, un retardante de fraguado para extender el tiempo de fraguado, un agente de control de pérdida de fluido, un diluyente para reducir la densidad, un agente espumante para reducir la densidad, un agente de ponderación para aumentar la densidad, un dispersante para reducir la viscosidad, otros agentes de control de pérdida de fluido, agentes tixotrópicos, un agente vinculante (p. ej., escamas de celofana o gilsonita), o una combinación que comprende al menos uno de los mencionados anteriormente.

Las lechadas de cemento son bombeables. Una lechada de cemento bombeable puede tener una viscosidad menor que 1000 mPa.s a una velocidad de cizallamiento de 100 s^{-1} . Las lechadas de cemento pueden ser una lechada de cemento de baja densidad o una lechada de cemento de alta densidad. Si bien la densidad de una lechada de cemento de baja densidad, tal como un depurador, puede variar ampliamente dependiendo de las condiciones del fondo del pozo, tales densidades pueden incluir de aproximadamente 5 a aproximadamente 12 libras por galón (ppg) cuando se espuma. Cuando no se espuma, la densidad de un depurador o de una lechada de cemento de baja densidad puede variar con tales densidades entre aproximadamente 9 y aproximadamente 15 libras por galón, o aproximadamente 10 a aproximadamente 14 libras por galón, o aproximadamente 11 hasta aproximadamente 13 libras por galón. Las lechadas de cemento de alta densidad pueden tener una densidad de aproximadamente 15 a aproximadamente 25 libras por galón.

Las lechadas de cemento se pueden usar para formar componentes de fondo de pozo, que incluyen varias cubiertas, sellos, tapones, empaquetaduras, revestimientos y lo similar. En una modalidad el componente es un tapón, que incluye un tapón de cemento temporal, un tapón de cemento permanente, o un tapón de cemento whipstock, el tapón whipstock puede usarse para arrancar desde un pozo

vertical cuando se desea un cambio de dirección en la perforación.

El uso de los fluidos espaciadores de cemento como se describe en la presente descripción proporciona una serie de beneficios. Las composiciones son estables a altas temperaturas del pozo. En un beneficio, los fluidos espaciadores de cemento suprimen o minimizan la mezcla y remezcla del fluido de perforación y las lechadas de cemento, el cambio de densidad de fluido y la contaminación del lodo de perforación hasta el borde delantero de la lechada de cemento. Otro beneficio es el rendimiento de segregación mejorado con respecto a la separación de los fluidos del pozo, lo que da como resultado una colocación simplificada y más fácil del tapón de cemento en su lugar previsto en el pozo. Además, los métodos/las composiciones que se describen en la presente descripción previenen o minimizan el riesgo de fallas en el fraguado del tapón de cemento. Por lo tanto, los métodos y las composiciones de fluido espaciador mejoran beneficiosamente la calidad general de las operaciones de cementación de tapones.

Ejemplos

Se prepararon los fluidos A, B y C. Para el fluido A, se mezclaron 3 gramos de goma de diutano con 300 gramos de agua. Para el fluido B, se mezclaron 3

gramos de diutano y 100 gramos de arena con 300 gramos de agua. Para preparar el fluido C, se mezclaron 3 gramos de diutano, 100 gramos de arena, y 16,5 gramos de un surfactante cuaternario (Arcilla Master-5C disponible de Baker Hughes, una empresa de GE, LLC) con 300 gramos de agua. La densidad calculada en ppg del fluido C es 11,5. Las viscosidades de los fluidos A-C se midieron a temperatura ambiente (23 °C) con un viscosímetro de mesa. Los resultados se muestran en la Tabla 1. Como se muestra en la Tabla 1, el fluido C tiene una viscosidad mayor que la del fluido A y el fluido B.

Tabla 1

RPM	Viscosidad del fluido A (cP)		Viscosidad del fluido B (cP)		Viscosidad del fluido C (cP)	
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
3	36	40	52	55	62	77
6	40	44	59	58	65	81
10	44	47	62	61	75	84
20	50	52	67	67	80	90
30	55	55	70	70	86	93
60	61	59	76	76	98	100
100	64	64	80	80	105	106
200	68	68	89	90	116	118
300	72	--	96	--	126	--

Se vertieron aproximadamente 200 ml de 13,6 ppg de lodo a base de agua (WBM, por sus siglas en inglés) en un cilindro de 1000 ml. Se vertieron aproximadamente 200 ml de 11,6 ppg de fluido C sobre el WMB. Después,

aproximadamente 200 ml de suspensión de cemento de 16,5 ppg se vertieron sobre el fluido C. El cilindro se colocó en ángulos de 45° y 90°. Se observó un intercambio de fluido de aproximadamente 2 %, pero solo en la parte superior de la columna de cemento, lo que muestra que el fluido espaciador de cemento, como se describe en la presente descripción, es eficaz para minimizar el intercambio de fluido entre la lechada de cemento y el WBM. Se obtuvieron resultados similares cuando primero se cargó un tubo de sedimentación con 50 ml del OMB, después 100 ml del fluido C y finalmente 50 ml de la lechada de cemento. Por el contrario, cuando no se usó el fluido C, se observó una mezcla significativa entre el OBM y la lechada de cemento.

Se exponen diversas modalidades de la descripción.

Modalidad 1. Un método para cementar un pozo que penetra en una formación subterránea, el método comprende: inyectar en el pozo un fluido espaciador de cemento que comprende un fluido portador, un surfactante cuaternario, un viscosificante, y un apuntalante; inyectar una lechada de cemento en el pozo; y dejar que la lechada de cemento fragüe.

Modalidad 2. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde la inyección de la lechada de

cemento es posterior a la inyección del fluido espaciador de cemento.

Modalidad 3. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde el fluido espaciador de cemento forma un gel después de inyectarse en el pozo.

Modalidad 4. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde el fluido espaciador de cemento evita el cambio de densidad entre la lechada de cemento y un fluido de pozo.

Modalidad 5. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde el fluido espaciador de cemento comprende aproximadamente 30 a aproximadamente 100 % en peso del fluido portador, aproximadamente 0,05 a aproximadamente 10 % en peso del surfactante cuaternario, aproximadamente 0,05 a aproximadamente 10 % en peso del viscosificante, y aproximadamente 1 a aproximadamente 65 % en peso del apuntalante, cada uno con base en el peso de agua en el fluido espaciador de cemento.

Modalidad 6. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde el fluido portador es agua o salmuera.

Modalidad 7. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde el surfactante cuaternario tiene un catión de $R_1 R_2 R_3 R_4 N^+$ y un anión, en donde R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 son cada uno independientemente un grupo alquilo C_{1-30} recto o ramificado, un grupo alquilbencilo C_{7-30} , un

grupo arilalquilo C_{7-30} , un grupo alqueno C_{3-30} recto o ramificado, un grupo hidroxialquilo C_{1-30} , un grupo hidroxialquilbencilo C_{7-30} , o un grupo polioxialquilenos; y el anión comprende un haluro, un perclorato, un tiocianato, un cianato, un carboxilato, un sulfato de alquilo, un sulfonato de alquilo, PF_6^- , AsF_6^- , SbF_6^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^- , o BX_4 , en donde X es un haluro.

Modalidad 8. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 son cada uno independientemente un grupo alquilo C_{1-20} recto o ramificado o un grupo hidroxialquilo C_{1-20} .

Modalidad 9. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde al menos uno de R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 es un grupo hidroxialquilo C_{1-5} .

Modalidad 10. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde el catión es N,N,N-trimetiletanolamonio.

Modalidad 11. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde el viscosificante comprende gomas guar, derivados guar, polisacáridos hidratables, goma xantana, gomas de galactomanano, gomas de glucomanano, celulosa, derivados de celulosa, poli(ácidos (met)acrílicos), poli((met)acrilamidas), copolímeros de ácido (met)acrílico y (met)acrilamida, poli(met)acrilatos de alquilo C_{1-8} , arcillas, o una combinación que comprende

al menos uno de los viscosificantes mencionados anteriormente.

Modalidad 12. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde el fluido de pozo es un fluido de perforación.

Modalidad 13. El método como en cualquier modalidad anterior, que comprende además inyectar el fluido de pozo antes de inyectar el fluido espaciador de cemento.

Modalidad 14. El método como en cualquier modalidad anterior, en donde la lechada de cemento se endurece para formar un tapón de cemento.

Modalidad 15. Un fluido espaciador de cemento que comprende: aproximadamente 30 a aproximadamente 100 % en peso de un portador acuoso que comprende agua; aproximadamente 0,05 a aproximadamente 10 % en peso de un surfactante cuaternario que tiene un catión de $R_1 R_2 R_3 R_4 N^+$ y un anión, en donde R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 son cada uno independientemente un grupo alquilo C_{1-30} recto o ramificado, un grupo alquilbencilo C_{7-30} , un grupo arilalquilo C_{7-30} , un grupo alquenilo C_{3-30} recto o ramificado, un grupo hidroxialquilo C_{1-30} , un grupo hidroxialquilbencilo C_{7-30} , o un grupo polioxialquilenos; y el anión comprende un haluro, un perclorato, un tiocianato, un cianato, un carboxilato, un sulfato de alquilo, un sulfonato de alquilo, PF_6^- , AsF_6^- , SbF_6^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^- , o

BX_4^- , X es un haluro; aproximadamente 0,05 a aproximadamente 10 % en peso de un viscosificante; y aproximadamente 1 a aproximadamente 65 % en peso de un apuntalante, cada uno con base en el peso de agua en el fluido espaciador de cemento.

Modalidad 16. El fluido espaciador de cemento como en cualquier modalidad anterior, en donde R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 son cada uno independientemente un grupo alquilo C_{1-20} recto o ramificado o un grupo hidroxialquilo C_{1-20} .

Modalidad 17. El fluido espaciador de cemento como en cualquier modalidad anterior, en donde al menos uno de R_1 , R_2 , R_3 , y R_4 es un grupo hidroxialquilo C_{1-5} .

Modalidad 18. El fluido espaciador de cemento como en cualquier modalidad anterior, en donde el catión es N,N,N-trimetiletanolamonio.

Modalidad 19. El fluido espaciador de cemento como en cualquier modalidad anterior, en donde el viscosificante comprende gomas guar, derivados guar, polisacáridos hidratables, goma xantana, gomas de galactomanano, gomas de glucomanano, celulosa, derivados de celulosa, poli(ácidos (met)acrílicos), poli((met)acrilamidas), copolímeros de ácido (met)acrílico y (met)acrilamida, poli(met)acrilatos de alquilo C_{1-8} o arcillas, o una combinación que comprende al menos uno de los viscosificantes mencionados anteriormente.

Todos los rangos descritos en la presente descripción incluyen los puntos extremos, y los puntos extremos son independientemente combinables entre sí. Como se usa en la presente descripción, “combinación” incluye combinaciones, mezclas, aleaciones, productos de reacción, y lo similar. El tamaño de las partículas se refiere a la dimensión más grande de las partículas y puede determinarse mediante tecnología de microscopio de fuerza atómica o electrónico de alta resolución. Todas las referencias se incorporan en la presente descripción como referencia.

El uso de los términos “un”, “uno”, y “el” y referentes similares en el contexto de la descripción de la invención (especialmente en el contexto de las siguientes reivindicaciones) debe interpretarse para cubrir tanto el singular como el plural, a menos que se indique de cualquier otra manera en la presente descripción o claramente se contradiga por el contexto. “O” significa “y/o”. El modificador “aproximadamente” usado en relación con una cantidad incluye el valor establecido y tiene el significado dictado por el contexto (p. ej., incluye el grado de error asociado con la medición de la cantidad particular).