

**MÉTODO DE DESVIACIÓN Y AISLAMIENTO ZONAL EN UNA FORMACIÓN SUBTERRÁNEA
MEDIANTE EL USO DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE**

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

5

[0001] La presente solicitud reivindica el beneficio y prioridad de la solicitud no provisional de patente estadounidense n.º de serie 14/859,050, presentada el 18 de septiembre de 2015, cuya descripción y contenido se incorporan a la presente mediante esta referencia en su totalidad.

10

ANTECEDENTES

15

[0002] Se conoce en la técnica que puede utilizarse la fracturación hidráulica para extraer hidrocarburos de formaciones subterráneas. Pueden existir múltiples zonas de producción potenciales dentro de un pozo único en una formación subterránea a ser fracturada. Frecuentemente, es deseable aislar estas zonas entre sí para desviar el flujo de fluido y estimular el pozo de forma más eficaz.

20

25

[0003] Se han utilizado varios tipos de materiales y técnicas para este fin. Por ejemplo, se han utilizado partículas en fluidos de tratamiento como un agente de control de pérdida de fluidos y/o un agente de desviación para rellenar y sellar los espacios de poros y fracturas en la formación subterránea o para entrar en contacto con la superficie de una cara de la formación o un empaque de apuntalante, mediante lo cual se forma un revoque de filtración que bloquea los espacios de poros y fracturas con fines de desviación o aislamiento zonal.

30

[0004] Estos materiales y técnicas anteriores tienen una cantidad

de desventajas. Por ejemplo, no tienen las propiedades y efectividad deseada en temperaturas superiores dentro de la formación subterránea. Por lo tanto, se desean mejoras en este campo de tecnología.

5

COMPENDIO

[0005] El objeto descrito en la presente se relaciona en general con métodos de redirección de fluidos de tratamiento del pozo de
10 zonas de alta permeabilidad a zonas de baja permeabilidad de una formación subterránea mediante el uso de polímeros biodegradables adecuados para operaciones de temperaturas superiores.

[0006] En determinadas modalidades ilustrativas, se proporciona un
15 método de estimulación de una formación subterránea penetrada por un yacimiento. Un fluido que comprende un copolímero biodegradable se introduce en un yacimiento, el copolímero tiene la fórmula general de unidades de repetición $[-CHR-CH_2-CO-O-]$ donde R representa un grupo alquilo representado por C_nH_{2n+1} , y n es 1 y 3. El copolímero
20 biodegradable puede ser un copolímero de 3-hidroxibutirato que tiene al menos un monómero de hidroxihexanoato. El copolímero puede ser poli-3-hidroxibutirato-co-3-hidroxihexanoato. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser alrededor de 250 °F. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser mayor
25 que alrededor de 250 °F. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser mayor que alrededor de 275 °F. El fluido puede incluir adicionalmente un fluido portador. El polímero biodegradable puede encontrarse en forma de partículas y puede tener un distribución de tamaño de partícula en el intervalo de alrededor de 4
30 mesh a alrededor de 140 mesh. El polímero biodegradable puede utilizarse en relación con una operación de estimulación ácida.

[0007] En determinadas modalidades ilustrativas, se proporciona un método de estimulación de la producción de hidrocarburos de una formación subterránea penetrada por un pozo. Una mezcla puede hacerse fluir en una zona de permeabilidad alta de una fractura dentro de una formación subterránea cercana al pozo. La mezcla puede incluir un divergente soluble y un apuntalante, donde el divergente soluble incluye un copolímero biodegradable que tiene la fórmula general de unidades de repetición $[-CHR-CH_2-CO-O-]$ donde R representa un grupo alquilo representado por C_nH_{2n+1} , y n es 1 y 3. Al menos una parte de la zona de permeabilidad alta puede abrirse mediante el apuntalante con el apuntalante de la mezcla. Al menos una parte de la zona de permeabilidad alta puede bloquearse con el divergente. Un fluido puede bombearse dentro de la formación subterránea y en una zona de permeabilidad inferior de la formación más lejos del pozo. El divergente que bloquea al menos una parte de la zona de permeabilidad alta cercana al pozo puede disolverse mientras que el apuntalante continúa dentro de la zona de permeabilidad alta. Los hidrocarburos pueden producirse a partir de la zona de permeabilidad alta y la zona de permeabilidad inferior. El copolímero biodegradable puede ser un copolímero de 3-hidroxibutirato que tiene al menos un monómero de hidroxihexanoato. El copolímero puede ser poli-3-hidroxibutirato-co-3-hidroxihexanoato. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser alrededor de 250 °F. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser mayor que alrededor de 250 °F. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser mayor que alrededor de 275 °F. El polímero biodegradable puede encontrarse en forma de partículas y puede tener una distribución de tamaño de partícula en el intervalo de alrededor de 4 mesh a alrededor de 140 mesh. El apuntalante puede tener una gravedad específica de 2.45 o menos. El porcentaje en peso de apuntalante en la mezcla puede encontrarse en el intervalo de 2 % a 90 %. El porcentaje en peso de apuntalante en la mezcla puede encontrarse en

el intervalo de 4 % a 70 %. El divergente soluble y el apuntalante pueden encontrarse en forma de partículas y al menos algunas partículas del divergente soluble puede ser mayor que las partículas del apuntalante. La distribución del tamaño de las partículas del divergente soluble y las partículas de apuntalante pueden ser suficientes para minimizar la permeabilidad. El polímero biodegradable puede utilizarse en relación con una operación de estimulación ácida.

10 [0008] En determinadas modalidades ilustrativas, se proporciona un método de potenciar la productividad del fluido de un pozo que penetra una formación subterránea. Un primer fluido puede bombearse en la formación subterránea a una presión suficiente para crear o potenciar una fractura cerca del pozo. El primer fluido puede incluir

15 una mezcla de un divergente y un apuntalante donde el divergente puede disolverse en condiciones in situ mediante la producción del fluido del pozo. El divergente puede incluir un copolímero biodegradable que tiene la fórmula general de unidades de repetición $[-CHR-CH_2-CO-O-]$ donde R representa un grupo alquilo representado por

20 C_nH_{2n+1} , y n es 1 y 3. El primer fluido puede fluir hacia el interior de una zona de permeabilidad alta de la fractura. Al menos una parte de la zona de permeabilidad alta puede apuntalarse con el apuntalante de la mezcla. Al menos una parte de la zona de permeabilidad alta puede bloquearse con el divergente. Un segundo fluido puede bombearse

25 dentro de la formación subterránea y en una zona de permeabilidad inferior de la formación subterránea más lejos del pozo. El divergente que bloquea al menos una parte de la zona de permeabilidad alta cercana al pozo puede disolverse en condiciones de yacimiento in situ mientras que el apuntalante continúa dentro de la zona de

30 permeabilidad alta. El fluido puede producirse a partir de la zona de permeabilidad alta y la zona de permeabilidad inferior. El copolímero biodegradable puede ser un copolímero de 3-hidroxibutirato que tiene

al menos un monómero de hidroxihexanoato. El copolímero puede ser poli-3-hidroxibutirato-co-3-hidroxihexanoato. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser alrededor de 250 °F. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser mayor que alrededor de 250 °F. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser mayor que alrededor de 275 °F. El polímero biodegradable puede encontrarse en forma de partículas y puede tener una distribución de tamaño de partícula en el intervalo de alrededor de 4 mesh a alrededor de 140 mesh. El apuntalante puede tener una gravedad específica de 2.4 o menos. El porcentaje en peso de apuntalante en la mezcla puede encontrarse en el intervalo de 2 % a 90 %. El porcentaje en peso de apuntalante en la mezcla puede encontrarse en el intervalo de 4 % a 70 %. El divergente soluble y el apuntalante puede encontrarse en forma de partículas y al menos algunas partículas del divergente soluble pueden ser mayores que las partículas del apuntalante. La distribución del tamaño de las partículas del divergente soluble y las partículas de apuntalante puede ser suficientes para minimizar la permeabilidad. El polímero biodegradable puede utilizarse en relación con una operación de estimulación ácida, donde el primer fluido puede comprender un fluido de acidificación. El polímero biodegradable también puede utilizarse en relación con una operación de fracturación, donde el primer fluido puede comprender un fluido de fracturación. El fluido de fracturación puede incluir un fluido portador acuoso, un polímero en gel reticulable soluble en el fluido portador acuoso y un agente de reticulación. El fluido de fracturación puede incluir un fluido portador acuoso, un polímero en gel reticulable soluble en el fluido portador acuoso, un agente de reticulación, un gel lineal y un gel tensioactivo. El fluido del portador acuoso puede comprender uno o más de agua, salmuera y un fluido de baja fricción.

[0009] En determinadas modalidades ilustrativas, se proporciona un

método de estimulación de una formación subterránea penetrada por un pozo. Puede perforarse una tubería de revestimiento dentro del pozo para proporcionar un canal cerca del pozo que se extiende desde la tubería de revestimiento hacia el interior de la formación subterránea. Un fluido puede bombearse a una presión suficiente para crear o agrandar una fractura cercana al pozo en la formación subterránea. El fluido puede incluir una mezcla de un desviador y un apuntalante. El divergente puede disolverse en condiciones in situ. El divergente puede incluir un copolímero biodegradable que tiene la fórmula general de unidades de repetición $[-CHR-CH_2-CO-O-]$ donde R representa un grupo alquilo representado por C_nH_{2n+1} , y n es 1 y 3. La mezcla puede fluirse hacia una zona de permeabilidad alta dentro de la fractura cercana al pozo y al menos una parte de la zona permeabilidad alta puede bloquearse con el divergente. La distribución de las partículas con un tamaño específico del divergente puede ser suficiente para al menos bloquear parcialmente la penetración de un segundo fluido hacia el interior de la zona de permeabilidad alta de la formación. El segundo fluido puede bombearse dentro de la formación subterránea y en una zona de permeabilidad inferior de la formación más lejos del pozo. El divergente puede disolverse cercano al pozo en condiciones de yacimiento in situ mientras que el apuntalante permanece presente dentro de la zona de permeabilidad alta. El fluido puede producirse a partir de la zona de permeabilidad alta que contiene el apuntalante de la mezcla. El copolímero biodegradable puede ser un copolímero de 3-hidroxibutirato que tiene al menos un monómero de hidroxihexanoato. El copolímero puede ser poli-3-hidroxibutirato-co-3-hidroxihexanoato. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser alrededor de 275 °F o mayor. El polímero biodegradable puede encontrarse en forma de partículas y puede tener una distribución de tamaño de partícula en el intervalo de alrededor de 4 mesh a alrededor de 140 mesh. El apuntalante puede tener una gravedad

específica de 2.45 o menos. El porcentaje en peso de apuntalante en la mezcla puede encontrarse en el intervalo de 2 % a 90 %. El porcentaje en peso de apuntalante en la mezcla puede encontrarse en el intervalo de 4 % a 70 %. El divergente soluble y el apuntalante puede encontrarse en forma de partículas y el tamaño de partícula promedio de las partículas del divergente soluble puede ser mayor que el tamaño de partícula promedio de las partículas del apuntalante. El polímero biodegradable puede utilizarse en relación con una operación de estimulación ácida.

10

[0010] En determinadas modalidades ilustrativas, se proporciona un método de potenciar la productividad del fluido de la región del pozo cercana de un pozo que penetra una formación subterránea. En la etapa (a), se bombea un primer fluido en una zona de permeabilidad alta de una fractura cercana al pozo. El primer fluido puede incluir una mezcla de un divergente y un apuntalante. El divergente puede disolverse en condiciones del yacimiento in situ. El divergente puede incluir un copolímero biodegradable que tiene la fórmula general de unidades de repetición $[-CHR-CH_2-CO-O-]$ donde R representa un grupo alquilo representado por C_nH_{2n+1} , y n es 1 y 3. En la etapa (b), la mezcla del primer fluido puede hacerse fluir hacia el interior de la zona de permeabilidad. Al menos una parte de la zona de permeabilidad puede ser apuntalada con el apuntalante de la primera mezcla y al menos una parte de la zona de permeabilidad alta puede bloquearse con el divergente. En la etapa (c), un fluido que contiene divergente puede bombearse dentro de la formación subterránea y en una zona de permeabilidad inferior de la formación más lejos del pozo. En la etapa (d), un fluido cargado de apuntalante puede bombearse hacia el interior de la formación subterránea y hacia el interior de una zona de permeabilidad inferior de la formación. En la etapa (e), las etapas (c) y (d) pueden repetirse de forma opcional. En la etapa (f), el divergente que bloquea al menos una parte de la zona de

30

permeabilidad alta cercana al pozo puede disolverse mientras que el apuntalante continúa dentro de la zona de permeabilidad alta. En la etapa (g), puede producirse un fluido de la zona de permeabilidad alta y la zona de permeabilidad inferior. El copolímero biodegradable puede ser un copolímero de 3-hidroxibutirato que tiene al menos un monómero de hidroxihexanoato. El copolímero puede ser poli-3-hidroxibutirato-co-3-hidroxihexanoato. La temperatura en el interior del pozo del yacimiento puede ser alrededor de 275 °F o mayor. El polímero biodegradable puede encontrarse en forma de partículas y puede tener una distribución de tamaño de partícula en el intervalo de alrededor de 4 mesh a alrededor de 100 mesh. El apuntalante puede tener una gravedad específica de 2.4 o menos. El porcentaje en peso de apuntalante en la mezcla puede encontrarse en el intervalo de 2 % a 90 %. El porcentaje en peso de apuntalante en la mezcla puede encontrarse en el intervalo de 4 % a 70 %. El divergente soluble y el apuntalante puede encontrarse en forma de partículas y donde al menos algunas partículas del divergente soluble pueden ser mayores que las partículas del apuntalante. El polímero biodegradable puede utilizarse en relación con una operación de estimulación ácida, donde el primer fluido puede comprender un fluido de acidificación. El polímero biodegradable también puede utilizarse en relación con una operación de fracturación, donde el primer fluido puede comprender un fluido de fracturación. El fluido de fracturación puede incluir un fluido portador acuoso, un polímero en gel reticulable soluble en el fluido portador acuoso y un agente de reticulación. El fluido del portador acuoso puede comprender uno o más de agua, sal, salmuera y un fluido de baja fricción.

[0011] Aunque el objeto descrito en la presente se describe en relación con la modalidad preferida, se entenderá que no se pretende limitar el objeto descrito en la presente a esa modalidad. Por el contrario, se pretende que cubra todas las alternativas,

modificaciones y equivalentes, ya que puedan incluirse dentro del espíritu y alcance del objeto descrito en la presente según se define en las reivindicaciones adjuntas.

5 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

[0012] Es posible comprender mejor el objeto descrito en la presente cuando se considera la siguiente descripción detallada junto con los siguientes dibujos, donde:

10

[0013] La Figura 1 es una gráfica que muestra la conductividad de LiteProp 175 luego de que el divergente se disolvió en comparación con la conductividad de una fractura sin apuntalante de acuerdo con una modalidad ilustrativa del objeto descrito en la presente.

15

DESCRPCIÓN DETALLADA

[0014] El objeto descrito en la presente se relaciona con los diversos métodos para la redirección de un fluido de tratamiento del pozo hacia zonas objetivo de una formación subterránea dentro de un yacimiento y el desvío del fluido lejos de zonas de permeabilidad alta o sin daños de la formación mediante el bloqueo temporal de la zonas de permeabilidad alta.

20

25 [0015] En determinadas modalidades ilustrativas, un fluido de tratamiento del pozo puede desviarse de una zona de permeabilidad alta o sin daños de una formación dentro de un yacimiento que tiene una temperatura hacia el interior del pozo alta mediante la introducción en el interior del yacimiento de un polímero biodegradable que tiene una resistencia al calor excelente.

30

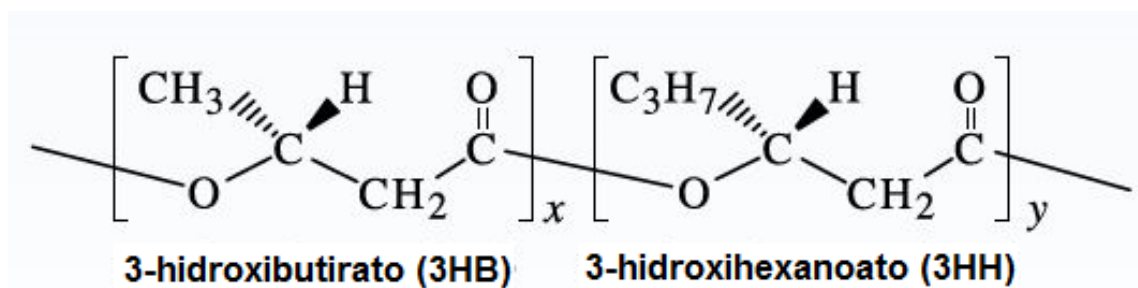
[0016] Un ejemplo de un polímero biodegradable adecuado fabricado

a través de un proceso enzimático de dos etapas es un polihidroxiálcanoato tal como poli (3-hidroxiálcanoato). En una modalidad ilustrativa, el polímero puede ser copolímero alifático con una unidad de repetición representada por la fórmula: $[-CHR-CH_2-CO-O-]$ (donde R representa un grupo alquilo representado por C_nH_{2n+1} , y n es 1 y 3).

[0017] En determinadas modalidades ilustrativas, el polímero puede ser un copolímero de 3-hidroxiбутирато que tiene al menos un monómero de hidroxihexanoato, es decir, poli-3-hidroxiбутирато-co-3-hidroxihexanoato (también se designa con la abreviatura PHBH).

[0018] Un ejemplo comercialmente disponible de este polímero se vende por Kaneka Corporation de Osaka, Japón, con la marca comercial Aonilex®. Aonilex® es un plástico totalmente bioderivado y biodegradable producido por microorganismos en una condición de fermentación especificada mediante el uso de aceites vegetales como la fuente de carbono.

[0019] En determinadas modalidades ilustrativas, el copolímero puede tener la fórmula general mostrada más adelante:



[0020] Un ejemplo representativo de este polímero y su formación se describe en la publicación de la solicitud de patente estadounidense n.º 2011/01900430, publicada el 4 de agosto de 2011 y cedida a Kaneka Corporation, los contenidos y descripción de la cual

se incorporan mediante referencia a la presente en su totalidad.

[0021] En una modalidad ilustrativa, el polímero biodegradable es eficaz para bloquear la penetración del fluido en una zona de permeabilidad alta o parte de la formación. El flujo del fluido se desvía luego hacia una zona o parte de permeabilidad baja de la formación.

[0022] En otra modalidad ilustrativa, el polímero biodegradable es eficaz en la desviación del flujo del fluido de tratamiento lejos de una zona o parte de permeabilidad alta de la formación. El polímero biodegradable puede formar sólidos puenteados en la cara de la formación subterránea dentro del yacimiento que puede ayudar a la desviación del fluido en temperaturas del interior del pozo altas.

[0023] En determinadas modalidades ilustrativas, la temperatura del interior del pozo del yacimiento puede ser mayor que alrededor de 250 °F y preferentemente mayor a alrededor de 275 °F. El uso del polímero biodegradable descrito en la presente es particularmente eficaz en estas condiciones de temperatura de aplicación alta. El polímero biodegradable tiene una temperatura de transición vítrea debajo de la temperatura de aplicación que no conduce a ningún cambio en las propiedades del material y una solubilización más eficaz y más homogénea de las partículas. La temperatura de transición vítrea baja hace que este polímero biodegradable sea muy flexible a la temperatura de aplicación y más eficaz para tapar poros.

[0024] En determinadas modalidades ilustrativas, el polímero biodegradable puede ser desplazado o disuelto en un fluido de tratamiento cuando se aplica al yacimiento y/o formación subterránea. Por ejemplo, el polímero biodegradable puede utilizarse en relación con una operación de estimulación ácida, donde el primer tratamiento

puede comprender un fluido de acidificación. El polímero biodegradable también puede utilizarse en relación con una operación de fracturación, donde el fluido de tratamiento puede comprender un fluido de fracturación. El fluido de fracturación puede incluir un
5 fluido portador acuoso, un polímero en gel reticulable soluble en el fluido portador acuoso y un agente de reticulación.

[0025] El fluido de tratamiento que contiene el polímero biodegradable puede ser cualquier fluido adecuado para el transporte
10 del polímero biodegradable hacia el interior del yacimiento y/o formación subterránea y puede incluir fluidos portadores tales como agua, salmuera y un fluido de baja fricción. Las salmueras adecuadas incluyen aquellas que contienen cloruro de potasio, cloruro de sodio, cloruro de cesio, cloruro de amonio, cloruro de calcio, cloruro de
15 magnesio, bromuro de sodio, bromuro de potasio, bromuro de cesio, bromuro de calcio, bromuro de cinc, formiato de sodio, formiato de potasio, formiato de cesio, acetato de sodio y mezclas de estos.

[0026] En determinadas modalidades ilustrativas, el fluido de
20 tratamiento puede ser un fluido de fracturamiento. El fluido de fracturamiento puede comprender, por ejemplo, un fluido acuoso tal como agua, salmuera y un fluido de baja fricción, un polímero en gel reticulable soluble en el fluido acuoso (que incluye, de forma no taxativa, guar) y un agente de reticulación a lo largo del polímero
25 biodegradable. Otros portadores o tratamientos en los que el polímero biodegradable puede estar integrado, o agregado, pueden incluir sistemas en gel no reticulados/lineales o sistemas de polímeros o sistemas de fluidos viscosos lineales o viscosos reticulados. El fluido de tratamiento puede también combinarse con cualquier material
30 adicional (tales como apuntalantes, agentes de ruptura, tensioactivos, agentes de retardo o solventes mutuos) como adecuados para la formación subterránea particular y/o aplicación, en

determinadas modalidades ilustrativas.

[0027] El polímero y los métodos descritos en la presente pueden utilizarse con una variedad de tipos de aberturas encontrada dentro de una formación subterránea. Por ejemplo, la abertura en la formación subterránea puede comprender un pozo, una fractura y/o una perforación. En general, el objeto descrito en la presente puede utilizarse con cualquier abertura dentro de la formación subterránea que puede tapar o sellar y podría tener como resultado el desvío o aislamiento zonal mejorado dentro de la formación subterránea.

[0028] Adicionalmente, el polímero descrito en la presente y los métodos relacionados no se limitan solamente al fracturamiento hidráulico. Además, el objeto descrito en la presente puede utilizarse también con otras operaciones llevadas a cabo en una formación subterránea tal como, de forma no taxativa, acidificación, perforación y fracturamiento, empaque de grava, reparación, pérdida de fluido, limpieza del pozo y retiro del tapón de fracturamiento mediante perforación.

[0029] En determinadas modalidades ilustrativas, el polímero se encuentra en forma de partículas y las partículas son eficaces cuando se colocan en agujeros que tienen temperaturas del interior del pozo de alrededor de 250 °F a alrededor de 500 °F y son particularmente eficaces cuando se colocan en los agujeros con temperaturas del interior del pozo de alrededor de 275 °F a alrededor de 500 °F. El polímero tiene una solubilidad muy baja inferior a 250 °F.

[0030] Las partículas pueden tener cualquier forma y pueden tener una distribución del tamaño de partículas grande. Por ejemplo, en determinadas modalidades ilustrativas, el polímero biodegradable puede tener una distribución del tamaño de partículas en el intervalo

de alrededor de 4 mesh a alrededor de 140 mesh. Esta distribución del tamaño de partículas es eficaz debido a que una distribución grande de las partículas tendrá como resultado una disminución de porosidad y un mejor puenteo. Adicionalmente, las partículas pueden someterse a
5 disolución en el tiempo dentro de la formación subterránea.

[0031] En determinadas modalidades ilustrativas, el polímero y los métodos descritos en la presente pueden usarse para desviar el flujo de fluido desde una zona de permeabilidad alta a una zona de
10 permeabilidad baja de una formación subterránea mediante el uso de partículas, como se describe en la publicación de solicitud de patente estadounidense n.º 2014/0352959, publicada el 4 de diciembre de 2014, cedida a Baker Hughes Incorporated, los contenidos y descripciones de la cual se incorporan mediante referencia en la
15 presente en su totalidad.

[0032] En determinadas modalidades ilustrativas, el polímero y los métodos descritos en la presente pueden usarse para desviar el flujo de fluido de tratamiento del pozo desde una zona de permeabilidad
20 alta a una zona de permeabilidad baja de una formación subterránea mediante el uso de una mezcla de un fluido de desviación que comprende un divergente soluble (es decir, un polímero) y un apuntalante, como se describe en la publicación de solicitud de patente estadounidense n.º 2015/0041132, publicada el 12 de febrero
25 de 2015, cedida a Baker Hughes Incorporated, los contenidos y descripciones de la cual se incorporan mediante referencia en la presente en su totalidad.

[0033] En determinadas modalidades ilustrativas, el fluido
30 divergente puede contener partículas del divergente y apuntalante y puede ingresar en una zona de permeabilidad alta dentro de una red de fracturamiento y formar un puente temporal, ya sea dentro de la

fractura o en la interfaz de la cara de la fractura y los canales de esta. En un período de tiempo, los divergente que crean un puente o tapan las fracturas se disuelven. Aquellas fracturas desviadas mediante un fluido que contiene tanto partículas del divergente como
5 apuntalante permanecen abiertas debido a la presencia del apuntalante en la mezcla; el apuntalante no es soluble en condiciones de yacimiento in situ. La producción de fluidos de dichas fracturas es por lo tanto potenciada. El uso de la mezcla es particularmente útil en aquellas zonas de permeabilidad alta cerca del pozo que
10 típicamente colapsan cuando el divergente se disuelve.

[0034] En determinadas modalidades ilustrativas, las áreas en la formación subterráneas donde el apuntalante permanece en la fractura puede volverse mecánicamente más resistente dado que las aberturas se
15 encuentran puenteadas o tapadas lo que proporciona una conductividad que no estaba previamente disponible y también permite el acceso a las vías de resistencia baja.

[0035] En determinadas modalidades ilustrativas donde el polímero
20 biodegradable se utiliza junto con el apuntalante, la cantidad de partículas del polímero en el fluido de tratamiento de pozo introducido dentro de la formación subterránea puede ser entre de alrededor de 0.01 a alrededor de 30 por ciento en peso y la cantidad de apuntalante en el fluido de tratamiento del pozo puede ser entre
25 de alrededor de 0.01 a alrededor de 3 % en peso.

[0036] El apuntalante para el uso en la mezcla puede ser cualquier apuntalante adecuado conocido en la técnica y puede ser deformado o no en condiciones de yacimiento in situ o puede ser, pero no
30 necesariamente de forma taxativa, arena blanca, arena marrón, esferas de cerámica, esferas de vidrio, granos de bauxita, bauxita sinterizada, carbonato de calcio con un tamaño específico, fragmentos

de cáscara de nuez, gránulos de aluminio, gránulos de nailon, cáscaras de nuez, gravilla, partículas resinosas, alúmina, minerales, partículas poliméricas y combinaciones de estos. Los ejemplos incluyen, de forma no taxativa, apuntalantes de alta densidad
 5 convencionales tales como cuarzo, vidrio, gránulos de aluminio, sílice (arena) (tal como arenas Ottawa, Brady o Colorado), partículas orgánicas sintéticas tales como gránulos de nailon, cerámicas (que incluyen aluminosilicatos), bauxita sinterizada y mezclas de estos.

10 [0037] Los ejemplos de cerámicas incluyen, de forma no necesariamente taxativa, cerámicas a base de óxido, cerámicas a base de nitruro, cerámicas a base de carburo, cerámicas a base de boruro, cerámicas a base de siliciuro o una combinación de estos. En una modalidad no taxativa, la cerámica a base de óxido puede incluir, de
 15 forma no taxativa, óxido de sílice (SiO_2), óxido de titanio (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/u óxido de titanio o una combinación de estos. La cerámica a base de óxido, cerámica a base de nitruro, cerámica a base
 20 de carburo, cerámica a base de boruro o cerámica a base de siliciuro puede contener un no metal (por ejemplo, oxígeno, nitrógeno, boro, carbono o silicio, y similares), un metal (por ejemplo, aluminio, plomo, bismuto y similares), un metal de transición (por ejemplo, niobio, tungsteno, titanio, circonio, hafnio, itrio y similares),
 25 metal alcalino (por ejemplo, litio, potasio y similares), metal alcalinotérreo (por ejemplo, calcio, magnesio, estroncio y similares), tierra rara (por ejemplo, lantano, cerio y similares) o halógeno (por ejemplo, flúor, cloro y similares). Las cerámicas de ejemplo incluyen, de forma no taxativa, circonio, circonio
 30 estabilizado, mulita, alúmina reforzado con circonio, espinela, aluminosilicatos (por ejemplo, mulita, cordierita), perovskita, carburo de sílice, nitruro de sílice, carburo de titanio, nitruro de

titanio, carburo de aluminio, nitruro de aluminio, carburo de circonio, nitruro de circonio, carburo de hierro, oxinitruro de aluminio, oxinitruro de sílice aluminio, titanato de aluminio, carburo de tungsteno, nitruro de tungsteno, esteatita, y similares, o una combinación de estos, como se describen en la publicación de solicitud de patente estadounidense n.º 2015/0114640, publicado el 30 de abril de 2015, cedida a Baker Hughes Incorporated, los contenidos y descripción de la cual se incorporan mediante referencia a la presente en su totalidad.

10

[0038] Ejemplos de arenas adecuadas para el núcleo del apuntalante incluyen, de forma no taxativa, arena de Arizona, arena de Wisconsin, arena de Nebraska, arena de Badger, arena de Brady y arena de Ottawa. En una modalidad no taxativa, las partículas sólidas pueden estar hechas de un mineral tal como bauxita y sinterizadas para obtener un material duro. En otra modalidad no taxativa, la bauxita o bauxita sinterizada tiene una permeabilidad relativamente alta de forma tal que el material de bauxita descrito en la patente estadounidense n.º 4,713,203, los contenidos y descripción de la cual se incorpora mediante referencia en la presente en su totalidad.

20

[0039] En otra modalidad no taxativa, el apuntalante puede ser un material en partículas de peso relativamente ligero o sustancialmente flotante de forma neutra o una mezcla de estos. Por "peso relativamente ligero" se entiende que las partículas sólido tiene una gravedad específica aparente (ASG, por sus siglas en inglés) que es menor que o igual a 2.45, que incluye los materiales de peso ultraligero que tienen una ASG menor que o igual a 2.25, más preferentemente, menor que o igual a 2.0, incluso más preferentemente, menor o igual a 1.75, más preferentemente, menor que o igual a 1.25 y frecuentemente menor que o igual 1.05.

25
30

[0040] Las partículas naturales sólidas incluyen, de forma no taxativa, cáscaras de nueces, tales como nogal, coco, pecana, almendra, nuez de marfil, semilla de Brasil y similares; cáscaras de semillas de frutos tales como ciruela, aceituna, durazno, cereza, damasco y similares; cáscaras de semillas de otras plantas, tales como maíz (por ejemplo, mazorcas de maíz o granos de maíz); materiales de madera, tales como los derivados de roble, pacana, nogal, álamo, caoba y similares. Dichos materiales son partículas que pueden formarse mediante trituración, molienda, corte, astillado y similares.

[0041] Las partículas sólidas de peso relativamente ligero adecuadas son los descritos en la patente estadounidense n.º 6,364,018, 6,330,916 y 6,059,034, los contenidos y descripciones de cada una de las cuales se incorporan mediante referencia en la presente en su totalidad.

[0042] Otras partículas sólidas para el uso en la presente incluyen esferas o gránulos de nailon, poliestireno, poliestireno divinil benceno o tereftalato de poliestireno tal como los establecidos en la patente estadounidense n.º 7,931,087, el contenido y descripción de los cuales se incorporan mediante referencia a la presente en su totalidad.

[0043] Los tamaños del apuntalante de la fractura puede ser cualquier tamaño adecuado para el uso en un tratamiento de fracturamiento de una formación subterránea. Se cree que el tamaño óptimo del material de partículas con respecto al material apuntalante de la fractura puede depender, entre otros, de la tensión de cierre in situ. Por ejemplo, puede ser deseable que un material apuntalante de fractura resista una tensión de cierre de al menos alrededor de 1000 psi, alternativamente de al menos alrededor de 5000

psi o más. Sin embargo, se entenderá con el beneficio de la presente descripción que estas son solamente pautas opcionales. En una modalidad, los apuntalantes utilizados en el método descrito pueden tener una forma redonda o esférica y un tamaño de alrededor de 8 mesh a alrededor de 140 mesh, alternativamente de alrededor de 4 mesh independientemente a alrededor de 100 mesh, alternativamente de alrededor de 8 mesh independientemente a alrededor de 60 mesh, alternativamente de alrededor de 12 mesh independientemente a alrededor de 50 mesh, alternativamente de alrededor de 16 mesh independientemente a alrededor de 40 mesh y alternativamente alrededor de 20/40 mesh. De esta manera, en una modalidad, los apuntalantes pueden variar en tamaño de alrededor de 1 o 2 mm independientemente a alrededor de 0.1 mm; alternativamente su tamaño será de alrededor de 0.2 mm independientemente a alrededor de 0.8 mm, alternativamente de alrededor de 0.4 mm independientemente a alrededor de 0.6 mm, y alternativamente alrededor de 0.6 mm. Sin embargo, también son posibles tamaños superiores de alrededor de 2 mm y menores de alrededor 0.1 mm.

[0044] Las formas adecuadas para los apuntalantes incluyen, de forma no taxativa, esférica, cúbica, con forma de barra, cilíndrica o una mezcla de estos. Las formas de los apuntalantes pueden variar, pero en una modalidad pueden utilizarse en formas que tienen valores de relación de aspecto en función de la longitud máxima, en una modalidad de ejemplo que tiene una relación de aspecto en función de la longitud máxima de menos de o igual a alrededor de 25, alternativamente de menos de o igual a alrededor de 20, alternativamente de menos de o igual a alrededor de 7 y alternativamente de forma adicional de menos de o igual a alrededor de 5. En aun otra modalidad de ejemplo, las formas de estos apuntalantes pueden tener valores de relación de aspecto en función de la longitud máxima de alrededor de 1 independientemente a

alrededor de 25, alternativamente de alrededor de 1
independientemente a alrededor de 20, alternativamente de alrededor
de 1 independientemente a alrededor de 7 y, de forma adicional,
alternativamente de alrededor de 1 independientemente a alrededor de
5 5. En aun otra modalidad de ejemplo, pueden utilizarse dichos
apuntalantes en los que la relación en función de la longitud máxima
de las partículas presentes en una muestra o mezcla que contiene
solamente dichas partículas varía de alrededor de 1
independientemente a alrededor de 25, alternativamente de alrededor
10 de 1 independientemente a alrededor de 20, alternativamente de
alrededor de 2 independientemente a alrededor de 15, alternativamente
de alrededor de 2 independientemente a alrededor de 9,
alternativamente de alrededor de 4 independientemente a alrededor de
8, alternativamente de alrededor de 5 independientemente a alrededor
15 de 7, y adicionalmente de forma alternativa alrededor de 7.

[0045] En determinadas modalidades ilustrativas, el polímero
biodegradable y el apuntalante pueden estar en forma de partículas y
el tamaño de partícula promedio de las partículas de polímero pueden
20 ser mayores que el tamaño de partícula promedio de las partículas de
apuntalante. En determinadas modalidades ilustrativas, el polímero
biodegradable y el apuntalante tendrá una distribución amplia de
tamaños de partícula, lo que tiene como resultado en un puenteo
satisfactorio y una disminución en la porosidad.

25

[0046] En determinadas modalidades ilustrativas, el polímero
biodegradable, en forma de partículas divergentes solubles, puede
utilizarse para los fines de desviación en operaciones de
acidificación o estimulación ácida. En general, la acidificación es
30 un tipo de tratamiento de estimulación que restaura la permeabilidad
natural de la roca del yacimiento mediante el bombeo de ácido hacia
el interior del pozo para disolver el cemento de piedra caliza,

dolomita y calcita entre los granos de sedimento de las rocas del yacimiento. En determinadas modalidades ilustrativas, un fluido de tratamiento que contiene el polímero biodegradable y apuntalante puede bombearse en el pozo en etapas alternativas y pueden estar separados por fluidos espaciadores. El fluido espaciador típicamente contiene una solución salina tal como NaCl, KCl y/o NH₄Cl. Cuando se utiliza una operación de estimulación ácido, puede ser deseable alternar el bombeo de fluidos de estimulación ácida y el fluido que contiene las partículas de polímero soluble y apuntalante. Un programa de bombeo de ejemplo puede ser (i) bombear un fluido de estimulación ácida; (ii) bombear opcionalmente un fluido espaciador; (iii) bombear un fluido que contiene las partículas de polímero y apuntalante; (iv) bombear opcionalmente un fluido espaciador; y luego repetir el ciclo de etapas (i), (ii), (iii) y (iv).

[0047] Para facilitar una mejor comprensión de la materia descrita en la presente, se proporcionan los siguientes ejemplos de determinados aspectos de determinadas modalidades. De ninguna forma debe entenderse que los siguientes ejemplos limitan o definen el alcance del objeto descrito en la presente.

[0048] EJEMPLOS

[0049] Ejemplo 1

[0050] El ejemplo 1 muestra la solubilidad de divergentes en agua DI en diversas temperaturas y en función del tiempo. Las siguientes pruebas se llevaron a cabo mediante el uso de recipientes de digestión a diferentes temperaturas. Las soluciones se prepararon mediante la adición de 16 mL de agua desionizada ("DI", por sus siglas en inglés) y 1 g de la muestra. Luego de calentar durante el tiempo deseado, la solución se dejó enfriar a temperatura ambiente ("TA"). Las soluciones se filtraron luego a través de papel 41

Whatman y se lavaron en no más de 50 mL de agua DI. El material sólido recuperado se dejó secar. El porcentaje de material en una solución se calculó en función de la cantidad del material recuperado.

5

[0051] La Tabla 1 muestra los datos de solubilidad obtenidos para Aonilex 131A y Aonilex 151A en función de la temperatura y tiempo y en comparación con ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés). Se observó que a 250 °F el producto Aonilex no se disuelve en agua, incluso luego de 24 horas mientras que PLA se disuelve casi completamente luego de 24 horas.

[0052] Cuando la temperatura aumenta a 300 °F, las muestras de Aonilex evaluadas no muestran disolución luego de 6 horas, pero la mayor parte se disuelve luego de 24 horas. Esto muestra que estos materiales pueden usarse a temperaturas superiores que PLA. A 350 °F estos materiales tienen el mismo comportamiento que a 300 °F.

[0053] Tabla 1 - Solubilidad de los divergentes en agua DI en diversas temperaturas, en función del tiempo.

Tiempo (horas)	Muestra	% de divergente disuelto
250 °F		
1	Aonilex X-131A	0
2	Aonilex X-131A	0.1
4	Aonilex X-131A	0
6	Aonilex X-131A	0
24	Aonilex X-131A	1.87
1	PLA	0.4
2	PLA	1.6
6	PLA	3.2
24	PLA	95.7

300 °F		
1	Aonilex X-131A	0.3
2	Aonilex X-131A	0
4	Aonilex X-131A	0
6	Aonilex X-131A	0
24	Aonilex X-131A	70.5
24	Aonilex X-151A	85.2
24	PLA	100.0
350 °F		
6	Aonilex X-131A	2.41
6	Aonilex X-151A	3.3
4	PLA	96.7

5

10

15 [0054] Ejemplo 2

[0055] El Ejemplo 2 muestra la solubilidad de los divergentes en una solución de HCl acuosa al 15 % en diversas temperaturas. Las siguientes pruebas se llevaron a cabo mediante el uso de recipientes de digestión a diferentes temperaturas. Las soluciones se prepararon mediante la adición de 16 mL de HCl al 15 % y 1 g de la muestra. Luego de calentar durante el tiempo deseado, la solución se dejó enfriar a temperatura ambiente ("TA"). La solución se filtró luego a través de papel 41 Whatman y se lavó en no más de 50 mL de agua DI, El material sólido recuperado se dejó secar. El porcentaje de material en una solución se calculó en función de la cantidad del material recuperado.

20

25

30

[0056] Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2. A 250 °F todas las muestras evaluadas se disolvieron luego de 24 horas incluido PLA mientras que a 300 °F todas las muestras se disolvieron totalmente luego de 4 horas. A 350 °F, el Aolínex X151A se disolvió

casi completamente luego de 4 horas. Estos datos muestran que estos materiales pueden aplicarse a temperaturas altas para la desviación ácida.

- 5 [0057] Tabla 2 - Solubilidad de los divergentes en HCl al 15 % a diversas temperaturas

10

Tiempo (horas)	Muestra	% de divergente disuelto
250 °F		
24	Aonilex X-131A	100
24	PLA	100
300 °F		
4	Aonilex X-131A	100
4	PLA	100
24	Aonilex X-131A	100
24	PLA	100
350 °F		
2	X151A	10.41
4	X151A	97.5

15

20

[0058] Ejemplo 3

- 25 [0059] El Ejemplo 3 muestra la solubilidad de divergentes en agua DI de las mezclas con apuntalante de peso ultraligero (LiteProp 175) a diversas temperaturas. La Tabla 3 muestra los datos de solubilidad de los divergentes cuando se mezclan con el apuntalante (LiteProp 175). Luego de 24 horas a 300 °F, todos los divergentes se
- 30 solubilizaron.

[0060] Tabla 3 - Solubilidad de los divergentes en agua DI de

mezclas con apuntalante de peso ultraligero (LiteProp 175) a diversas temperaturas

5	Tiempo (horas)	Muestra	% de divergente disuelto	Comentarios
	250 °F			
	24	Aonilex X- 131A/LiteProp 175	8.4	Solución trasparente
10	300 °F			
	24	Aonilex X- 131A/LiteProp 175	83.2	Solamente apuntalante
	24	Aonilex X- 151A/LiteProp 175	82.2	Solamente apuntalante
15	350 °F			
	4	Aonilex X- 131A/LiteProp 175	3.54	Solución trasparente
	4	Aonilex X- 151A/LiteProp 175	2.97	Solución trasparente
20	4	PLA/LiteProp 175	99.6	Solamente apuntalante

[0061] Ejemplo 4

25 [0062] En el Ejemplo 4, los datos de conductividad de una mezcla
de LiteProp 175 con PLA se midió a 275 °F. La evaluación se llevó a
cabo de acuerdo con ISO-13503-5. La conductividad de LiteProp 175
luego de que el divergente se disolvió se comparó con la
conductividad de una fractura sin apuntalante como se describe en
30 SPE-173347 (Sociedad de ingenieros de petróleo - 2015). La Figura 1
muestra que, cuando se utiliza la mezcla de partículas solubles con
LiteProp 175, la conductividad es órdenes de magnitudes mayor que la

de la fractura sin apuntalante.

[0063] Se entenderá que la mención de intervalos numéricos mediante sus extremos incluye todas las cifras incluidas dentro de los intervalos mencionados, así como los extremos del intervalo. También se entiende que el objeto descrito en la presente no se limita a los detalles exactos de la construcción, operación, materiales exactos o modalidades mostradas y descritas, como modificaciones y equivalentes obvios serán evidentes para el experto en la técnica. Por consiguiente, el objeto descrito en la presente es, por lo tanto, limitado solamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.