

AGENTE APUNTALANTE DE PESO LIGERO Y MÉTODOS PARA HACERLO Y USARLO

Campo

Las modalidades de la presente invención se relacionan generalmente a la
5 fracturación hidráulica de formaciones geológicas, y más particularmente a agentes
apuntalantes utilizados en la estimulación de fractura hidráulica de yacimientos de
petróleo y gas.

Antecedentes

10 Con el fin de estimular y producir más efectivamente hidrocarburos de
formaciones de fondo de pozo, especialmente formaciones con baja porosidad y/o baja
permeabilidad, la fracturación inducida (llamada “operaciones frac”, “fracturación
hidráulica” o simplemente “fracking”) de las formaciones portadoras de hidrocarburo ha
sido una técnica comúnmente utilizada. En una operación frac típica, los fluidos se
15 bombean en el fondo del pozo bajo alta presión, causando que las formaciones se
fracturen alrededor de la perforación de pozo, creando conductos de alta permeabilidad
que promueven el flujo de los hidrocarburos en la perforación de pozo. Estas operaciones
frac se pueden conducir en perforaciones de pozo horizontales y desviadas, así como
verticales, en ya sea intervalos de pozos no entubados, o en pozos entubados a través de
20 las perforaciones.

En las perforaciones de pozo entubadas en pozos verticales, por ejemplo,
los fluidos de alta presión salen de la perforación de pozo por la vía de las perforaciones a
través del entubado y el cemento circundante, y causan que las formaciones se fracturen,
usualmente en fracturas similares a láminas generalmente verticales, delgadas en las
25 formaciones más profundas en las cuales se encuentran comúnmente el petróleo y el gas.
Estas fracturas inducidas generalmente se extienden lateralmente una distancia
considerable afuera de la perforación de pozo en las formaciones circundantes, y se
extienden verticalmente hasta que la fractura alcanza una formación que no se fractura
fácilmente arriba y/o abajo del intervalo frac deseado. Las direcciones del esfuerzo
30 horizontal máximo y mínimo dentro de la formación determinan la orientación acimutal
de las fracturas inducidas. Normalmente, si el fluido, algunas veces llamado lechada,
bombeado en el fondo del pozo no contiene sólidos que permanecen alojados en la
fractura cuando se relaja la presión del fluido, entonces la fractura se vuelve a cerrar y se
pierde la mayoría de la ganancia de permeabilidad del conducto.

Estos sólidos, llamados agentes apuntalantes, están generalmente compuestos de granos de arena o partículas de cerámica, y el fluido utilizado para bombear estos sólidos en el fondo del pozo usualmente se diseña para ser suficientemente viscoso tal como que las partículas de agente apuntalante permanecen
5 arrastradas en el fluido a medida que se mueve en el fondo de pozo y afuera en las fracturas inducidas. Antes de producir las formaciones fracturadas, los materiales llamados “rompedores” se pueden bombear en el fondo del pozo en la lechada del fluido frac para reducir la viscosidad del fluido frac después de un retardo de tiempo deseado para permitir que estos fluidos sean removidos de las fracturas durante la producción. Sin
10 embargo, los polímeros reticulados todavía pueden acumularse en la fractura, para de esta manera reducir la permeabilidad del gas o petróleo a través de la fractura.

Por lo tanto, hay una necesidad por partículas de agente apuntalante que se puedan arrastrar en un fluido de fracturación sin la necesidad por polímeros reticulados viscosos que pueden acumularse en la fractura.

Descripción Detallada

En la siguiente descripción, se exponen numerosos detalles específicos. Sin embargo, se entiende que las modalidades de la invención se pueden llevar a la práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, estructuras y técnicas bien conocidas no se
20 han mostrado en detalle con el fin de no obstaculizar el entendimiento de esta descripción.

Se describen en la presente composiciones de agente apuntalante que tienen propiedades hidrofóbicas. En particular, las partículas de agente apuntalante que contienen un material hidrofóbico se describen en la presente. También se describen aquí
25 métodos para hacer agente apuntalante que tiene propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas. En particular, los métodos para infundir un material hidrofóbico en una porosidad interna de las partículas de agente apuntalante se describen en la presente. También se describen aquí métodos para utilizar las composiciones de agente apuntalante que tienen propiedades hidrofóbicas. En particular, los métodos de fracturación hidráulica, empaque
30 frac y/o empaque de grava con partículas de agente apuntalante que contienen un material hidrofóbico se describen en la presente.

Las composiciones de agente apuntalante descritas en la presente pueden ser o incluir agente apuntalante de peso ligero. El agente apuntalante de peso ligero puede tener un componente hidrofóbico. En una o más modalidades ejemplares, el

agente apuntalante de peso ligero puede tener un componente hidrofóbico y un componente anfifílico. Por ejemplo, el agente apuntalante de peso ligero puede incluir una partícula de agente apuntalante tratada con un material hidrofóbico y que tiene uno o más recubrimientos de un material anfifílico sobre una superficie exterior del mismo.

5 En una o más modalidades ejemplares, la partícula de agente apuntalante tiene una porosidad interna que es por lo menos parcialmente infundida con el material hidrofóbico. Por ejemplo, la estructura porosa interna de la partícula de agente apuntalante puede ser por lo menos parcialmente tratada con el material hidrofóbico y la superficie exterior de la partícula de agente apuntalante puede ser por lo menos
10 parcialmente recubierta con el material anfifílico. En una o más modalidades ejemplares, el tratamiento hidrofóbico y el recubrimiento anfifílico ambos son permeables al fluido. En una o más modalidades ejemplares, el tratamiento hidrofóbico y el recubrimiento anfifílico no atrapan aire dentro de la estructura porosa de la partícula de agente apuntalante. El tratamiento hidrofóbico puede ser o incluir cualquier modificación de una
15 tensión superficial del agente apuntalante con agua que da por resultado la disminución de una energía superficial de uno o más canales de cerámica de la estructura porosa interna de la partícula de agente apuntalante, que da por resultado la repelencia de agua de los canales.

 En una o más modalidades ejemplares, el material hidrofóbico puede ser o
20 incluir cualquier material adecuado que tiene propiedades hidrofóbicas. El material hidrofóbico puede ser o incluir cualquier compuesto que contiene silicio, que incluye materiales de silicona, silanos y siloxanos, compuestos orgánicos fluorados, politetrafluoroetileno (comúnmente conocido como Teflon^{MR}), aceites de plantas, tal como aceite de linaza, aceite de soja, aceite de maíz, aceite de semilla de algodón, aceite
25 vegetal (de manera amplia comercialmente disponible tal como que es Crisco[®]) y aceite de canola, hidrocarburos, tal como queroseno, diesel y petróleo crudo, destilados de petróleo, tales como líquidos de hidrocarburo que comprenden una mezcla de hidrocarburos alifáticos y alicíclicos de C₇-C₁₂ e hidrocarburos aromáticos (C₇-C₁₂), comúnmente conocida como Solvente Stoddard, solventes alifáticos, nafta de solvente
30 (medio alifático y aromático ligero), y parafina, tal como un solvente desparafinado del destilado de petróleo parafínico pesado y estearatos, tal como estearato de calcio. El material hidrofóbico también puede ser o incluir cualquiera de uno o más polímeros o copolímeros de acrilatos, met(acrilatos), uretanos, epoxis, amidas, imidas, ésteres, uno o más éteres, olefinas, fluorocarbonos y monómeros estirénicos. El uno o más polímeros o

copolímeros pueden ser o incluir cualquiera de los polímeros o copolímeros fluorados adecuados. En una o más modalidades ejemplares, el material hidrofóbico puede ser o incluir uno o más polidialquil siloxanos, tal como polidimetilsiloxano (PDMS), uno o más organosilanos, tales como tetraalcoxisilano y trialcóxisilano, uno o más siloxanos fluorados, uno o más uretanos fluorados, y uno o más silanos fluorados. En una o más modalidades ejemplares, el material hidrofóbico es PDMS. El PDMS puede incluir PDMS modificado, tal como PDMS terminado en iminopropilo, PDMS terminado en hidroxilo, PDMS terminado en acrilato, PDMS terminado en metacilato, PDMS terminado en silanol, PDMS terminado en silano y PDMS terminado en vinilo.

El material hidrofóbico puede tener cualquier grado adecuado de hidrofobicidad (repelencia al agua). En una o más modalidades ejemplares, la superficie exterior del material hidrofóbico tiene un valor de hidrofobicidad como se mide mediante un ángulo de contacto de gotita de agua de por lo menos aproximadamente 90°, por lo menos aproximadamente 100°, por lo menos aproximadamente 110°, por lo menos aproximadamente 120°, por lo menos aproximadamente 130° o por lo menos aproximadamente 150°.

El agente apuntalante de peso ligero puede incluir cualquier concentración adecuada de material hidrofóbico. En una o más modalidades ejemplares, el agente apuntalante de peso ligero tiene una concentración de material hidrofóbico de por lo menos aproximadamente 0.01% en peso, por lo menos aproximadamente 0.05% en peso, por lo menos aproximadamente 0.1% en peso, por lo menos aproximadamente 0.25% en peso, por lo menos aproximadamente 0.5% en peso, por lo menos aproximadamente 0.75% en peso o por lo menos aproximadamente 1% en peso, en base al peso de la partícula de agente apuntalante de peso ligero. En una o más modalidades ejemplares, el agente apuntalante de peso ligero tiene una concentración de material hidrofóbico de menor que 5% en peso, menor que 3% en peso, menor que 2% en peso, menor que 1.5% en peso o menor que 1% en peso, en base al peso de la partícula de agente apuntalante de peso ligero. El agente apuntalante de peso ligero puede tener una concentración de material hidrofóbico de aproximadamente 0.02% en peso, aproximadamente 0.08% en peso, aproximadamente 0.15% en peso, aproximadamente 0.3% en peso, o aproximadamente 0.6% en peso a aproximadamente 0.7 en peso, aproximadamente 0.8% en peso, aproximadamente 0.9% en peso, aproximadamente 1% en peso, aproximadamente 1.25% en peso, aproximadamente 1.5% en peso o aproximadamente 2% en peso o más en base al peso de la partícula de agente apuntalante de peso ligero.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, el recubrimiento anfifílico puede ser o incluir cualquiera de uno o más materiales de resina, materiales de resina epoxi, ceras, poliolefinas, poli(ácidos lácticos), polímeros estirénicos u otros materiales poliméricos. De acuerdo con varias modalidades ejemplares, el material de resina incluye cualquier resina adecuada capaz de ser recubierta sobre una partícula de agente apuntalante. Por ejemplo, el material de resina puede incluir una resina fenólica, tal como una resina de fenol-formaldehído.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la resina de fenol-formaldehído tiene una relación molar de formaldehído a fenol (F:P) de tan bajo de aproximadamente 0.6:1, aproximadamente 0.9:1 o aproximadamente 1.2:1 a tan alto de aproximadamente 1.9:1, aproximadamente 2.1:1, aproximadamente 2.3:1 o aproximadamente 2.8:1. Por ejemplo, la resina de fenol-formaldehído puede tener una relación molar de formaldehído a fenol de aproximadamente 0.7:1 a aproximadamente 2.7:1, aproximadamente 0.8:1 a aproximadamente 2.5:1, aproximadamente 1:1 a aproximadamente 2.4:1, aproximadamente 1.1:1 a aproximadamente 2.6:1 o aproximadamente 1.3:1 a aproximadamente 2:1. La resina de fenol-formaldehído también puede tener una molar relación de formaldehído a fenol de aproximadamente 0.8:1 a aproximadamente 0.9:1, aproximadamente 0.9:1 a aproximadamente 1:1, aproximadamente 1:1 a aproximadamente 1.1:1, aproximadamente 1.1:1 a aproximadamente 1.2:1, aproximadamente 1.2:1 a aproximadamente 1.3:1 o aproximadamente 1.3:1 a aproximadamente 1.4:1.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la resina de fenol-formaldehído tiene una relación molar de menor que 1:1, menor que 0.9:1, menor que 0.8:1, menor que 0.7:1, menor que 0.6:1 o menor que 0.5:1. Por ejemplo, la resina de fenol-formaldehído puede ser o incluir una resina novolac fenólica. Las resinas novolac fenólicas son bien conocidas para aquellos de habilidad ordinaria en la técnica, por ejemplo ver la Patente de los Estados Unidos No. 2,675,335 de Rankin, la Patente de los Estados Unidos N. 4,179,429 de Hanauye, la Patente de los Estados Unidos No. 5,218,038 de Johnson y la Patente de los Estados Unidos No. 8,399,597 de Pullichola, las descripciones completas de las cuales se incorporan en la presente por referencia. Ejemplos adecuados de resinas novolac comercialmente disponibles incluyen las resinas novolac disponibles de Plenco^{MR}, resinas Durite[®] disponibles de Momentive, y resinas novolac disponibles del Grupo S.I.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la resina de fenol-

formaldehído tiene un peso molecular promedio en peso de tan bajo de aproximadamente 200, aproximadamente 300 o aproximadamente 400 a tan alto de aproximadamente 1,000, aproximadamente 2,000 o aproximadamente 6,000. Por ejemplo, la resina de fenol-formaldehído puede tener un peso molecular promedio en peso de aproximadamente 250 a aproximadamente 450, aproximadamente 450 a aproximadamente 550, aproximadamente 550 a aproximadamente 950, aproximadamente 950 a aproximadamente 1,500, aproximadamente 1,500 a aproximadamente 3,500 o aproximadamente 3,500 a aproximadamente 6,000. La resina de fenol-formaldehído también puede tener un peso molecular promedio en peso de aproximadamente 175 a aproximadamente 800, aproximadamente 700 a aproximadamente 3,330, aproximadamente 1,100 a aproximadamente 4,200, aproximadamente 230 a aproximadamente 550, aproximadamente 425 a aproximadamente 875, o aproximadamente 2,750 a aproximadamente 4,500.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la resina de fenol-formaldehído tiene un peso molecular promedio en número de tan bajo de aproximadamente 200, aproximadamente 300 o aproximadamente 400 o tan alto de aproximadamente 1,000, aproximadamente 2,000 o aproximadamente 6,000. Por ejemplo, la resina de fenol-formaldehído puede tener un peso molecular promedio en número de aproximadamente 250 a aproximadamente 450, aproximadamente 450 a aproximadamente 550, aproximadamente 550 a aproximadamente 950, aproximadamente 950 a aproximadamente 1,500, aproximadamente 1,500 a aproximadamente 3,500 o aproximadamente 3,500 a aproximadamente 6,000. La resina de fenol-formaldehído también puede tener un peso molecular promedio en número de aproximadamente 175 a aproximadamente 800, aproximadamente 700 a aproximadamente 3,000, aproximadamente 1,100 a aproximadamente 2,200, aproximadamente 230 a aproximadamente 550, aproximadamente 425 a aproximadamente 875 o aproximadamente 2,000 a aproximadamente 2,750.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la resina de fenol-formaldehído tiene un peso molecular promedio $\bar{z}$ de tan bajo de aproximadamente 200, aproximadamente 300 o aproximadamente 400 o tan alto de aproximadamente 1,000, aproximadamente 2,000 o aproximadamente 9,000. Por ejemplo, la resina de fenol-formaldehído puede tener un peso molecular promedio $\bar{z}$ de aproximadamente 250 a aproximadamente 450, aproximadamente 450 a aproximadamente 550, aproximadamente 550 a aproximadamente 950, aproximadamente 950 a

aproximadamente 1,500, aproximadamente 1,500 a aproximadamente 3,500, aproximadamente 3,500 a aproximadamente 6,500 o aproximadamente 6,500 a aproximadamente 9,000. La resina de fenol-formaldehído también puede tener un peso molecular promedio $\bar{z}$ de aproximadamente 175 a aproximadamente 800, aproximadamente 700 a aproximadamente 3,330, aproximadamente 1,100 a aproximadamente 4,200, aproximadamente 230 a aproximadamente 550, aproximadamente 425 a aproximadamente 875 o aproximadamente 4,750 a aproximadamente 8,500.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la resina de fenol-formaldehído tiene cualquier viscosidad adecuada. La resina de fenol-formaldehído puede ser un sólido o líquido a 25°C. Por ejemplo, la viscosidad de la resina de fenol-formaldehído puede ser de aproximadamente 1 centipoise (cP), aproximadamente 100 cP, aproximadamente 250 cP, aproximadamente 500 cP, o aproximadamente 700 cP a aproximadamente 1,000 cP, aproximadamente 1,250 cP, aproximadamente 1,500 cP, aproximadamente 2,000 cP, o aproximadamente 2,200 cP a una temperatura de aproximadamente 25°C. En otro ejemplo, la resina de fenol-formaldehído puede tener una viscosidad de aproximadamente 1 cP a aproximadamente 125 cP, aproximadamente 125 cP a aproximadamente 275 cP, aproximadamente 275 cP a aproximadamente 525 cP, aproximadamente 525 cP a aproximadamente 725 cP, aproximadamente 725 cP a aproximadamente 1,100 cP, aproximadamente 1,100 cP a aproximadamente 1,600 cP, aproximadamente 1,600 cP a aproximadamente 1,900 cP, o aproximadamente 1,900 cP a aproximadamente 2,200 cP a una temperatura de aproximadamente 25°C. En otro ejemplo, la resina de fenol-formaldehído puede tener una viscosidad de aproximadamente 1 cP a aproximadamente 45 cP, aproximadamente 45 cP a aproximadamente 125, aproximadamente 125 cP a aproximadamente 550 cP, aproximadamente 550 cP a aproximadamente 825 cP, aproximadamente 825 cP a aproximadamente 1,100 cP, aproximadamente 1,100 cP a aproximadamente 1,600 cP, o aproximadamente 1,600 cP a aproximadamente 2,200 cP a una temperatura de aproximadamente 25°C. La viscosidad de la resina de fenol-formaldehído también puede ser de aproximadamente 500 cP, aproximadamente 1,000 cP, aproximadamente 2,500 cP, aproximadamente 5,000 cP, o aproximadamente 7,500 cP a aproximadamente 10,000 cP, aproximadamente 15,000 cP, aproximadamente 20,000 cP, aproximadamente 30,000 cP, o aproximadamente 75,000 cP a una temperatura de aproximadamente 150°C. Por ejemplo, la resina de fenol-formaldehído puede tener una viscosidad de

aproximadamente 750 cP a aproximadamente 60,000 cP, aproximadamente 1,000 cP a aproximadamente 35,000 cP, aproximadamente 4,000 cP a aproximadamente 25,000 cP, aproximadamente 8,000 cP a aproximadamente 16,000 cP, o aproximadamente 10,000 cP a aproximadamente 12,000 cP a una temperatura de aproximadamente 150°C. La viscosidad de la resina de fenol-formaldehído se puede determinar utilizando un viscosímetro Brookfield.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la resina de fenol-formaldehído puede tener un pH de tan bajo de aproximadamente 1, aproximadamente 2, aproximadamente 3, aproximadamente 4, aproximadamente 5, aproximadamente 6, aproximadamente 7 a tan alto de aproximadamente 8, aproximadamente 9, aproximadamente 10, aproximadamente 11, aproximadamente 12 o aproximadamente 13. Por ejemplo, la resina de fenol-formaldehído puede tener un pH de aproximadamente 1 a aproximadamente 2.5, aproximadamente 2.5 a aproximadamente 3.5, aproximadamente 3.5 a aproximadamente 4.5, aproximadamente 4.5 a aproximadamente 5.5, aproximadamente 5.5 a aproximadamente 6.5, aproximadamente 6.5 a aproximadamente 7.5, aproximadamente 7.5 a aproximadamente 8.5, aproximadamente 8.5 a aproximadamente 9.5, aproximadamente 9.5 a aproximadamente 10.5, aproximadamente 10.5 a aproximadamente 11.5, aproximadamente 11.5 a aproximadamente 12.5 o aproximadamente 12.5 a aproximadamente 13.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares de la presente invención, el recubrimiento anfifílico aplicado a las partículas de agente apuntalante es una resina epoxi. De acuerdo con tales modalidades, el recubrimiento anfifílico puede ser o incluir cualquier resina epoxi adecuada. Por ejemplo, la resina epoxi puede incluir bisfenol A, bisfenol F, resinas epoxi alifáticas o de glicidilamina y cualquiera de las mezclas o combinaciones de las mismas. Un ejemplo de una resina epoxi comercialmente disponible es la Resina Epoxi BE188, disponible de Chang Chun Plastics Co., Ltd.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la resina epoxi puede tener cualquier viscosidad adecuada. La resina epoxi puede ser un sólido o líquido a 25°C. Por ejemplo, la viscosidad de la resina epoxi puede ser de aproximadamente 1 cP, aproximadamente 100 cP, aproximadamente 250 cP, aproximadamente 500 cP, o aproximadamente 700 cP a aproximadamente 1,000 cP, aproximadamente 1,250 cP, aproximadamente 1,500 cP, aproximadamente 2,000 cP, o aproximadamente 2,200 cP a una temperatura de aproximadamente 25°C. En otro ejemplo, la resina epoxi puede tener una viscosidad de aproximadamente 1 cP a aproximadamente 125 cP, aproximadamente

125 cP a aproximadamente 275 cP, aproximadamente 275 cP a aproximadamente 525 cP, aproximadamente 525 cP a aproximadamente 725 cP, aproximadamente 725 cP a aproximadamente 1,100 cP, aproximadamente 1,100 a aproximadamente 1,600 cP, aproximadamente 1,600 cP a aproximadamente 1,900 cP, o aproximadamente 1,900 cP a aproximadamente 2,200 cP a una temperatura de aproximadamente 25°C. En otro ejemplo, la resina epoxi puede tener una viscosidad de aproximadamente 1 cP a aproximadamente 45 cP, aproximadamente 45 cP a aproximadamente 125 cP, aproximadamente 125 cP a aproximadamente 550 cP, aproximadamente 550 cP a aproximadamente 825 cP, aproximadamente 825 cP a aproximadamente 1,100 cP, aproximadamente 1,100 cP a aproximadamente 1,600 cP, o aproximadamente 1,600 cP a aproximadamente 2,200 cP a una temperatura de aproximadamente 25°C. La viscosidad de la resina epoxi también puede ser de aproximadamente 500 cP, aproximadamente 1,000 cP, aproximadamente 2,500 cP, aproximadamente 5,000 cP, o aproximadamente 7,000 cP a aproximadamente 10,000 cP, aproximadamente 12,500 cP, aproximadamente 15,000 cP, aproximadamente 17,000 cP, o aproximadamente 20,000 cP a una temperatura de aproximadamente 25°C. En otro ejemplo, la resina epoxi puede tener una viscosidad de aproximadamente 1,000 cP a aproximadamente 12,000 cP, aproximadamente 2,000 cP a aproximadamente 11,000 cP, aproximadamente 4,000 cP a aproximadamente 10,500 cP o aproximadamente 7,500 cP a aproximadamente 9,500 cP a una temperatura de aproximadamente 25°C. La viscosidad de la resina epoxi también puede ser de aproximadamente 500 cP, aproximadamente 1,000 cP, aproximadamente 2,500 cP, aproximadamente 5,000 cP, o aproximadamente 7,500 cP a aproximadamente 10,000 cP, aproximadamente 15,000 cP, aproximadamente 20,000 cP, aproximadamente 30,000 cP, o aproximadamente 75,000 cP a una temperatura de aproximadamente 150°C. Por ejemplo, la resina epoxi puede tener una viscosidad de aproximadamente 750 cP a aproximadamente 60,000 cP, aproximadamente 1,000 cP a aproximadamente 35,000 cP, aproximadamente 4,000 cP a aproximadamente 25,000 cP, aproximadamente 8,000 cP a aproximadamente 16,000 cP, o aproximadamente 10,000 cP a aproximadamente 12,000 cP a una temperatura de aproximadamente 150°C.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la resina epoxi puede tener un pH de tan bajo de aproximadamente 1, aproximadamente 2, aproximadamente 3, aproximadamente 4, aproximadamente 5, aproximadamente 6, aproximadamente 7 a tan alto de aproximadamente 8, aproximadamente 9, aproximadamente 10, aproximadamente 11, aproximadamente 12 o aproximadamente 13. Por ejemplo, la

resina epoxi puede tener un pH de aproximadamente 1 a aproximadamente 2.5, aproximadamente 2.5 a aproximadamente 3.5, aproximadamente 3.5 a aproximadamente 4.5, aproximadamente 4.5 a aproximadamente 5.5, aproximadamente 5.5 a aproximadamente 6.5, aproximadamente 6.5 a aproximadamente 7.5, aproximadamente 7.5 a aproximadamente 8.5, aproximadamente 8.5 a aproximadamente 9.5, aproximadamente 9.5 a aproximadamente 10.5, aproximadamente 10.5 a aproximadamente 11.5, aproximadamente 11.5 a aproximadamente 12.5 o aproximadamente 12.5 a aproximadamente 13.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, el recubrimiento anfifílico puede ser o incluir cualquiera de uno o más agentes humectantes. De acuerdo con varias modalidades ejemplares, el agente humectante es capaz de ser recubierto sobre una partícula de agente apuntalante. Ejemplos específicos de agentes humectantes pueden incluir, pero no están limitados a, sulfonatos de alquilo, sulfonatos de alquil arilo que incluyen sulfonatos de alquil bencilo tales como sales de ácido dodecylbenceno sulfónico, cloruro de alquil trimetilamonio, alcoholes alquil etoxilados ramificados, mezclas de resina no iónicas de fenol-formaldehído, cocobetainas, sulfosuccinato de dioctil sodio, imidazolinas, sulfonatos de alfa olefina, alcoholes etoxilado de alquilo lineal, cloruro de trialquil bencil amonio, ácidos grasos poliaminados y los similares. En una o más modalidades ejemplares, el agente humectante puede ser o incluir cocoamidopropil hidroxisultaina, cocoamidopropil betaína, alcohol laurílico etoxilado, alcohol tridecílico etoxilado, alcoholes etoxilados de C9-C11, alcoholes etoxilados de C11-C13, polietilenglicol, laurilamidopropil betaína, Dioctosulfosuccinato, alcohol alcoxilado lineal, aceite de ricino etoxilado, polisorbato o monolaurato de glicerol o cualquier combinación de los mismos.

El material anfifílico puede tener cualquier grado adecuado de humectabilidad con agua y/o humectabilidad con aceite. En una o más modalidades ejemplares, la superficie exterior del material anfifílico tiene un valor de humectabilidad con agua como se mide mediante un ángulo de contacto de gotita de agua de menor que 90°, menor que 80°, menor que 70°, menor que 60°, menor que 50°, o aproximadamente 45° o menor. En una o más modalidades ejemplares, la superficie exterior del material anfifílico tiene un valor de humectabilidad con aceite como se mide mediante un ángulo de contacto de gotita de aceite de menor que 90°, menor que 80°, menor que 70°, menor que 60°, menor que 50°, o aproximadamente 45° o menor.

El agente apuntalante de peso ligero puede incluir cualquier concentración

adecuada del material anfifílico. En una o más modalidades ejemplares, el agente apuntalante de peso ligero tiene una concentración de material anfifílico de por lo menos aproximadamente 0.05% en peso, por lo menos aproximadamente 0.1% en peso, por lo menos aproximadamente 0.5% en peso, por lo menos aproximadamente 1% en peso, por lo menos aproximadamente 1.5% en peso, por lo menos aproximadamente 2% en peso o por lo menos aproximadamente 2.5% en peso, en base al peso de la partícula de agente apuntalante de peso ligero. En una o más modalidades ejemplares, el agente apuntalante de peso ligero tiene una concentración de material hidrofóbico de menor que 10% en peso, menor que 8% en peso, menor que 6% en peso, menor que 4% en peso o menor que 3% en peso, en base al peso de la partícula de agente apuntalante de peso ligero. El agente apuntalante de peso ligero puede tener una concentración de material anfifílico de aproximadamente 0.08% en peso, aproximadamente 0.12% en peso, aproximadamente 0.25% en peso, aproximadamente 0.75% en peso, aproximadamente 1.25% en peso o aproximadamente 1.75% en peso o aproximadamente 2% en peso, aproximadamente 2.25% en peso, aproximadamente 2.5% en peso, aproximadamente 2.75% en peso, aproximadamente 3% en peso, aproximadamente 3.5% en peso o aproximadamente 5% en peso o más en base al peso de la partícula de agente apuntalante de peso ligero.

La partícula de agente apuntalante se puede seleccionar del grupo de agente apuntalante de cerámica, arena, cuentas o glóbulos de plástico y cuentas de vidrio.

En una o más modalidades ejemplares, la partícula de agente apuntalante puede ser o incluir arena natural. En una o más modalidades ejemplares, la partícula de agente apuntalante puede ser o incluir agente apuntalante de cerámica. El agente apuntalante de cerámica puede ser o incluir agente apuntalante de cerámica porosa y agente apuntalante de cerámica no porosa. Tales materiales particulados de agente apuntalante se pueden manufacturar de acuerdo con cualquier proceso adecuado que incluye, pero no limitado a la atomización de rocío continua, fluidización por rocío, vaciado por inmersión, secado por rocío o compresión. Los materiales particulados de agente apuntalante adecuados y métodos para manufactura se describen en las Patentes de los Estados Unidos Nos. 4,068,718, 4,427,068, 4,440,866, 5,188,175, 7,036,591, 8,865,631, 8,883,693 y 9,175,210 y las Solicitudes de Patente de los Estados Unidos Nos. 14/502,483 y 14/802,761, las descripciones completas de las cuales se incorporan en la presente por referencia.

La partícula de agente apuntalante puede ser o incluir sílice y/o alúmina en cualquiera de las cantidades adecuadas. De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la partícula de agente apuntalante incluye menor que 80% en peso, menor que 60% en peso,

menor que 40% en peso, menor que 30% en peso, menor que 20% en peso, menor que 10% en peso o menor que 5% en peso de sílice en base al peso total de la partícula de agente apuntalante. De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la partícula de agente apuntalante incluye de aproximadamente 0.1% en peso a aproximadamente 70% en peso de sílice, de aproximadamente 1% en peso a aproximadamente 60% en peso de sílice, de aproximadamente 2.5% en peso a aproximadamente 50% en peso de sílice, de aproximadamente 5% en peso a aproximadamente 40% en peso de sílice o aproximadamente 10% en peso a aproximadamente 30% en peso de sílice. De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la partícula de agente apuntalante incluye por lo menos aproximadamente 30% en peso, por lo menos aproximadamente 50% en peso, por lo menos aproximadamente 60% en peso, por lo menos aproximadamente 70% en peso, por lo menos aproximadamente 80% en peso, por lo menos aproximadamente 90% en peso o por lo menos aproximadamente 95% en peso de alúmina en base al peso total de la partícula de agente apuntalante. De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la partícula de agente apuntalante incluye de aproximadamente 30% en peso a aproximadamente 99.9% en peso de alúmina, de aproximadamente 40% en peso a aproximadamente 99% en peso de alúmina, de aproximadamente 50% en peso a aproximadamente 97% en peso de alúmina, de aproximadamente 60% en peso de aproximadamente 95% en peso de alúmina o de aproximadamente 70% en peso a aproximadamente 90% en peso de alúmina.

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, las composiciones de agente apuntalante descritas en la presente incluyen partículas de agente apuntalante que son sustancialmente redondas y esféricas que tienen un tamaño en un intervalo entre la Malla de E.U. de aproximadamente 6 y 270 (3360 y 53 micras). Por ejemplo, el tamaño de la partícula de agente apuntalante se puede expresar como un número de finura de grano (GFN) en un intervalo de aproximadamente 15 a aproximadamente 300, o de aproximadamente 30 a aproximadamente 110, o de aproximadamente 40 a aproximadamente 70. De acuerdo con tales ejemplos, una muestra de partículas de agente apuntalante se puede clasificar en un laboratorio para la separación por tamaño, por ejemplo, tamaños intermedios entre los tamaños de malla de E.U. 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, 200 y 270 (841, 595, 400, 297, 210, 149, 105, 74 y 53 micras) para determinar GFN. La correlación entre el tamaño de tamiz y GFN se puede determinar de acuerdo con el Procedimiento 106-87-S de la American Foundry Society Mold and Core Test Handbook, que es conocido para aquellos de habilidad ordinaria en la técnica.

Las partículas de agente apuntalante pueden tener cualquier tamaño adecuado. Por ejemplo, la partícula de agente apuntalante puede tener un tamaño de malla de por lo menos malla de aproximadamente 6 (aproximadamente 3360 micras), malla de por lo menos aproximadamente 10 (aproximadamente 2000 micras), malla de por lo menos aproximadamente 16 (aproximadamente 1190 micras), malla de por lo menos aproximadamente 20 (aproximadamente 841 micras), malla de por lo menos aproximadamente 25 (aproximadamente 707 micras), malla de por lo menos aproximadamente 30 (aproximadamente 595 micras), malla por lo menos aproximadamente 35 (aproximadamente 500 micras), malla de por lo menos aproximadamente 40 (aproximadamente 400 micras). De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la partícula de agente apuntalante tiene un tamaño de malla de malla de aproximadamente 6 (aproximadamente 3360 micras), malla de aproximadamente 10 (aproximadamente 2000 micras), malla de aproximadamente 16 (aproximadamente 1190 micras), o malla de aproximadamente 20 (aproximadamente 841 micras) a malla de aproximadamente 25 (aproximadamente 707 micras), malla de aproximadamente 30 (aproximadamente 595 micras), malla de aproximadamente 35 (aproximadamente 500 micras), malla de aproximadamente 40 (aproximadamente 400 micras), malla de aproximadamente 45 (aproximadamente 354 micras), malla de aproximadamente 50 (aproximadamente 297 micras), malla de aproximadamente 70 (aproximadamente 210 micras) o malla de aproximadamente 100 (aproximadamente 149 micras). De acuerdo con varias modalidades ejemplares, la partícula de agente apuntalante tiene un tamaño de malla de malla de aproximadamente 4 (aproximadamente 4760 micras) a malla de aproximadamente 120 (aproximadamente 125 micras), de malla de aproximadamente 10 (aproximadamente 2000 micras) a malla de aproximadamente 60 (aproximadamente 250 micras), de malla de aproximadamente 16 (aproximadamente 1190 micras) a malla de aproximadamente 20 (aproximadamente 841 micras), de malla de aproximadamente 20 (aproximadamente 841 micras) a malla de aproximadamente 40 (aproximadamente 400 micras) o de malla de aproximadamente 25 (aproximadamente 707 micras) a malla de aproximadamente 35 (aproximadamente 500 micras).

De acuerdo con varias modalidades ejemplares, las composiciones de agente apuntalante descritas en la presente incluyen partículas de agente apuntalante porosas y/o no porosas que tienen cualquier permeabilidad y conductividad adecuada de acuerdo con ISO 13503-5: "Procedures for Measuring the Long-term Conductivity of Proppants" y expresado en términos de unidades Darcy, o Darcies (D). Un empaque de las

partículas de agente apuntalante, que tiene un intervalo de tamaño de malla 20/40 (841/400 micras), puede tener una permeabilidad a largo plazo en 7,500 psi (51,711 kPa) de por lo menos aproximadamente 1 D, por lo menos aproximadamente 2 D, por lo menos aproximadamente 5 D, por lo menos aproximadamente 10 D, por lo menos aproximadamente 20 D, por lo menos aproximadamente 40 D, por lo menos aproximadamente 80 D, por lo menos aproximadamente 120 D, por lo menos aproximadamente 150 D, por lo menos aproximadamente 200 D o por lo menos aproximadamente 250 D. El empaque de las partículas de agente apuntalante, que tiene un intervalo de tamaño de malla 20/40 (841/400 micras), puede tener una permeabilidad a largo plazo en 12,000 psi (82,737 kPa) de por lo menos aproximadamente 1 D, por lo menos aproximadamente 2 D, por lo menos aproximadamente 3 D, por lo menos aproximadamente 4 D, por lo menos aproximadamente 5 D, por lo menos aproximadamente 10 D, por lo menos aproximadamente 25 D, por lo menos aproximadamente 50 D, por lo menos aproximadamente 100 D, por lo menos aproximadamente 150 D o por lo menos aproximadamente 200 D. El empaque de las partículas de agente apuntalante, que tiene un tamaño de intervalo de malla 20/40 (841/400 micras), pueden tener una permeabilidad a largo plazo en 15,000 psi (103,421 kPa) de por lo menos aproximadamente 1 D, por lo menos aproximadamente 2 D, por lo menos aproximadamente 3 D, por lo menos aproximadamente 4 D, por lo menos aproximadamente 5 D, por lo menos aproximadamente 10 D, por lo menos aproximadamente 25 D, por lo menos aproximadamente 50 D, por lo menos aproximadamente 75 D, por lo menos aproximadamente 100 D, o a por lo menos aproximadamente 150 D. El empaque de las partículas de agente apuntalante, que tiene un intervalo de tamaño de malla 20/40 (841/400 micras), puede tener una permeabilidad a largo plazo en 20,000 psi (137,895 kPa) de por lo menos aproximadamente 1 D, por lo menos aproximadamente 2 D, por lo menos aproximadamente 3 D, a por lo menos aproximadamente 4 D, por lo menos aproximadamente 5 D, por lo menos aproximadamente 10 D, por lo menos aproximadamente 25 D, por lo menos aproximadamente 50 D, por lo menos aproximadamente 75 D o por lo menos aproximadamente 100 D.

Un empaque de las partículas de agente apuntalante puede tener una conductividad a largo plazo en 7,500 psi (51,711 kPa) de por lo menos aproximadamente 100 milidarci-pie ((mD-pie), por lo menos aproximadamente 200 mD-pie, por lo menos aproximadamente 300 mD-pie, por lo menos aproximadamente 500 mD-pie, por lo menos

aproximadamente 1,000 mD-pie, por lo menos aproximadamente 1,500 mD-pie, por lo menos aproximadamente 2,000 mD-pie o por lo menos aproximadamente 2,500 mD-pie. Por ejemplo, un empaque de las partículas de agente apuntalante puede tener una conductividad a largo plazo en 12,000 psi (82,737 kPa) de por lo menos aproximadamente 50 mD-pie, por lo menos aproximadamente 100 mD-pie, por lo menos aproximadamente 200 mD-pie, por lo menos aproximadamente 300 mD-pie, por lo menos aproximadamente 500 mD-pie, por lo menos aproximadamente 1,000 mD-pie o por lo menos aproximadamente 1,500 mD-pie.

Las composiciones de agente apuntalante descritas en la presente incluyen partículas de agente apuntalante que tienen cualquier forma adecuada. Las partículas de agente apuntalante pueden ser sustancialmente redondas, cilíndricas, cuadradas, rectangulares, elípticas, ovaladas, en forma de huevo o en forma de píldora. En una o más modalidades ejemplares, las partículas de agente apuntalante son sustancialmente redondas y esféricas.

Las partículas de agente apuntalante pueden tener cualquier gravedad específica aparente adecuada. Como se utiliza en la presente, el término “gravedad específica aparente” se refiere al peso por volumen unitario (gramos por centímetro cúbico) de un objeto, en donde el volumen del objeto es el volumen del agua desplazada al sumergir el objeto en agua. En las partículas de agente apuntalante pueden tener una gravedad específica aparente de por lo menos aproximadamente 1.5 g/cc, por lo menos aproximadamente 1.7 g/cc, por lo menos aproximadamente 1.9 g/cc, por lo menos aproximadamente 2.1 g/cc, por lo menos aproximadamente 2.3 g/cc, por lo menos aproximadamente 2.5 g/cc, por lo menos aproximadamente 2.7 g/cc, por lo menos aproximadamente 3 g/cc, por lo menos aproximadamente 3.3 g/cc o por lo menos aproximadamente 3.5 g/cc. En una o más modalidades ejemplares, las partículas de agente apuntalante pueden tener una gravedad específica aparente de menor que 4 g/cc, menor que 3.5 g/cc, menor que 3 g/cc, menor que 2.75 g/cc, menor que 2.5 g/cc o menor que 2.25 g/cc. Por ejemplo, las partículas de agente apuntalante pueden tener una gravedad específica aparente de aproximadamente 1.6 g/cc a aproximadamente 3.5 g/cc, aproximadamente 1.8 g/cc a aproximadamente 3.2 g/cc, aproximadamente 2.0 g/cc a aproximadamente 2.7 g/cc, aproximadamente 2.1 g/cc a aproximadamente 2.4 g/cc o aproximadamente 2.2 g/cc a aproximadamente 2.6 g/cc.

Las partículas de agente apuntalante pueden tener cualquier densidad en volumen. Como se utiliza en la presente, el término “densidad en volumen” se refiere al

peso por volumen unitario (gramos por centímetro cúbico) de una pluralidad de objetos que incluyen los espacios huecos entre las partículas en el volumen considerado. En una o más modalidades ejemplares, las partículas de agente apuntalante tienen una densidad en volumen de menor que 3 g/cc, menor que 2.5 g/cc, menor que 2.2 g/cc, menor que 2 g/cc, menor que 1.8 g/cc, menor que 1.6 g/cc o menor que 1.5 g/cc. Las partículas de agente apuntalante pueden tener una densidad en volumen de aproximadamente 1 g/cc, aproximadamente 1.15 g/cc, aproximadamente 1.25 g/cc, aproximadamente 1.35 g/cc, o aproximadamente 1.45 g/cc a aproximadamente 1.5 g/cc, aproximadamente 1.6 g/cc, aproximadamente 1.75 g/cc, aproximadamente 1.9 g/cc o aproximadamente 2.1 g/cc o más. Por ejemplo, las partículas de agente apuntalante pueden tener una densidad en volumen de aproximadamente 1.3 g/cc a aproximadamente 1.8 g/cc, aproximadamente 1.35 g/cc a aproximadamente 1.65 g/cc o aproximadamente 1.5 g/cc a aproximadamente 1.9 g/cc.

Las partículas de agente apuntalante pueden tener cualquier rugosidad superficial adecuada. Las partículas de agente apuntalante pueden tener una rugosidad superficial de menor que 5 μm , menor que 4 μm , menor que 3 μm , menor que 2.5 μm , menor que 2 μm , menor que 1.5 μm o menor que 1 μm . Por ejemplo, las partículas de agente apuntalante pueden tener una rugosidad superficial de aproximadamente 0.1 μm a aproximadamente 4.5 μm , aproximadamente 0.4 μm a aproximadamente 3.5 μm o aproximadamente 0.8 μm a aproximadamente 2.8 μm .

Las partículas de agente apuntalante pueden tener cualquier porosidad adecuada. De acuerdo con varias modalidades ejemplares, las partículas de agente apuntalante pueden ser o incluir agente apuntalante de cerámica poroso que tiene cualquier porosidad adecuada. El agente apuntalante de cerámica poroso puede tener una porosidad interconectada interna de aproximadamente 1%, aproximadamente 2%, aproximadamente 4%, aproximadamente 6%, aproximadamente 8%, aproximadamente 10%, aproximadamente 12%, o aproximadamente 14% a aproximadamente 18%, aproximadamente 20%, aproximadamente 22%, aproximadamente 24%, aproximadamente 26%, aproximadamente 28%, aproximadamente 30%, aproximadamente 34%, aproximadamente 38%, aproximadamente 45%, aproximadamente 55%, aproximadamente 65% o aproximadamente 75% o más. En varias modalidades ejemplares, la porosidad interconectada interna del agente apuntalante de cerámica poroso es de aproximadamente 5% a aproximadamente 75%, aproximadamente 5% a aproximadamente 15%, aproximadamente 10% a

aproximadamente 30%, aproximadamente 15% a aproximadamente 35%,
aproximadamente 25% a aproximadamente 45%, aproximadamente 30% a
aproximadamente 55% o aproximadamente 35% a aproximadamente 70%. De acuerdo
con varias modalidades ejemplares, el agente apuntalante de cerámica poroso puede
5 tener cualquier tamaño de poro promedio adecuado. Por ejemplo, el agente apuntalante
de cerámica poroso puede tener un tamaño de poro promedio de aproximadamente 2
nm, aproximadamente 10 nm, aproximadamente 15 nm, aproximadamente 55 nm,
aproximadamente 110 nm, aproximadamente 520 nm o aproximadamente 1,100 a
aproximadamente 2,200 nm, aproximadamente 5,500 nm, aproximadamente 11000 nm,
10 aproximadamente 17,000 nm o aproximadamente 25,000 nm o más en su dimensión más
grande. Por ejemplo, el agente apuntalante de cerámica poroso puede tener un tamaño
de poro promedio de aproximadamente 3 nm a aproximadamente 30,000 nm,
aproximadamente 30 nm a aproximadamente 18,000 nm, aproximadamente 200 nm a
aproximadamente 9,000, aproximadamente 350 nm a aproximadamente 4,500 nm o
15 aproximadamente 850 nm a aproximadamente 1,800 nm en su dimensión más larga.

El material hidrofóbico se puede adicionar al material particulado de agente
apuntalante en cualquier manera adecuada. En una o más modalidades ejemplares, el
material particulado de agente apuntalante se puede tratar con el material hidrofóbico al
recubrir el material hidrofóbico sobre por lo menos una porción de la superficie exterior
20 del material particulado de agente apuntalante. El material hidrofóbico puede cubrir por
lo menos aproximadamente 10%, por lo menos aproximadamente 20%, por lo menos
aproximadamente 35%, por lo menos aproximadamente 50%, por lo menos
aproximadamente 65%, por lo menos aproximadamente 75%, por lo menos
aproximadamente 85% o por lo menos aproximadamente 95% de las superficies
25 exteriores de la partícula de agente apuntalante. El material hidrofóbico puede cubrir, por
ejemplo, 100% de las superficies exteriores de la partícula de agente apuntalante.

En una o más modalidades ejemplares, el material hidrofóbico puede cubrir
menor que 100%, menor que 99%, menor que 95%, menor que 90%, menor que 85%,
menor que 80%, menor que 75%, menor que 65%, menor que 50%, menor que 40% o
30 menor que 35% de las superficies exteriores de la partícula de agente apuntalante. En una
o más modalidades ejemplares, aproximadamente 25%, aproximadamente 30%,
aproximadamente 35%, o aproximadamente 45% a aproximadamente 55%,
aproximadamente 65%, aproximadamente 75%, aproximadamente 85%,
aproximadamente 90%, aproximadamente 95% o aproximadamente 99% o más de la

superficie exterior de la partícula de agente apuntalante se puede cubrir por el material hidrofóbico. Por ejemplo, el material hidrofóbico puede cubrir de aproximadamente 10% a aproximadamente 99%, de aproximadamente 15% a aproximadamente 95%, de aproximadamente 20% a aproximadamente 75%, de aproximadamente 25% a aproximadamente 65%, de aproximadamente 30% a aproximadamente 45%, de aproximadamente 35% a aproximadamente 75%, de aproximadamente 45% a aproximadamente 90%, o de aproximadamente 40% a aproximadamente 95% de la superficie exterior de la partícula de agente apuntalante.

En una o más modalidades ejemplares, el material particulado de agente apuntalante se puede tratar con el material hidrofóbico al infundir el material hidrofóbico en uno o más poros y/o uno o más canales del material particulado de agente apuntalante. En una o más modalidades ejemplares, el material particulado de agente apuntalante se puede tratar con el material hidrofóbico mediante el recubrimiento del material hidrofóbico sobre el uno o más poros y /o uno o más canales del material particulado de agente apuntalante. Por ejemplo, el material hidrofóbico se puede aplicar como un recubrimiento sobre las paredes de los poros y canales contenidos en la estructura porosa interna, también referida en la presente como “paredes de poro”.

En una o más modalidades ejemplares, el recubrimiento del material hidrofóbico puede cubrir por lo menos 0.1%, por lo menos aproximadamente 1%, por lo menos aproximadamente 2%, por lo menos aproximadamente 5%, por lo menos aproximadamente 7%, por lo menos aproximadamente 10%, por lo menos aproximadamente 20%, por lo menos aproximadamente 35%, por lo menos aproximadamente 50%, por lo menos aproximadamente 65%, por lo menos aproximadamente 75%, por lo menos aproximadamente 85% o por lo menos aproximadamente 95% de las superficies exteriores de las paredes de poro. El material hidrofóbico puede cubrir, por ejemplo, 100% de las superficies exteriores de las paredes de poro de la partícula de agente apuntalante.

En una o más modalidades ejemplares, el recubrimiento del material hidrofóbico puede cubrir menor que 100%, menor que 99%, menor que 95%, menor que 90%, menor que 85%, menor que 80%, menor que 75%, menor que 65%, menor que 50%, menor que 40% o menor que 35% de las superficies exteriores de las paredes de poro. En una o más modalidades ejemplares, aproximadamente 25%, aproximadamente 30%, aproximadamente 35%, o aproximadamente 45% a aproximadamente 55%, aproximadamente 65%, aproximadamente 75%, aproximadamente 85%,

aproximadamente 90%, aproximadamente 95% o aproximadamente 99% o más de las superficies exteriores de las paredes de poro se puede cubrir por el material hidrofóbico. Por ejemplo, el recubrimiento del material hidrofóbico puede cubrir de aproximadamente 10% a aproximadamente 99%, de aproximadamente 15% a aproximadamente 95%, de

5 aproximadamente 20% a aproximadamente 75%, de aproximadamente 25% a aproximadamente 65%, de aproximadamente 30% a aproximadamente 45%, de aproximadamente 35% a aproximadamente 75%, de aproximadamente 45% a aproximadamente 90% o de aproximadamente 40% a aproximadamente 95% de la superficie exterior de las paredes de poro.

10 En una o más modalidades ejemplares, por lo menos una porción de los poros y/o canales de la estructura porosa interna del material particulado de agente apuntalante ubicadas en o cerca de la superficie del material particulado de agente apuntalante se puede recubrir con el material hidrofóbico. Por ejemplo, el recubrimiento del material hidrofóbico puede cubrir por lo menos 10%, por lo menos aproximadamente

15 20%, por lo menos aproximadamente 30%, por lo menos aproximadamente 50%, por lo menos aproximadamente 70%, por lo menos aproximadamente 90% o por lo menos aproximadamente 95% de las superficies exteriores de las paredes de poro ubicadas en o cerca de la superficie del material particulado de agente apuntalante. En una o más modalidades ejemplares, el recubrimiento del material hidrofóbico cubre por lo menos

20 10%, por lo menos aproximadamente 20%, por lo menos aproximadamente 30%, por lo menos aproximadamente 50%, por lo menos aproximadamente 70%, por lo menos aproximadamente 90% o por lo menos aproximadamente 95% de las superficies exteriores de las paredes de poro ubicadas en o cerca de la superficie del material particulado de agente apuntalante y menor que 50%, menor que 30%, menor que 20%,

25 menor que 15%, menor que 10%, menor que 5% o menor que 1% de las paredes de poro no ubicadas en o cerca de la superficie del material particulado de agente apuntalante. En una o más modalidades ejemplares, únicamente los poros y/o canales de la estructura porosa interna del material particulado de agente apuntalante ubicadas en o cerca de la superficie del material particulado de agente apuntalante se recubren con el material

30 hidrofóbico.

El recubrimiento hidrofóbico puede tener cualquier espesor adecuado. En una o más modalidades ejemplares, el recubrimiento hidrofóbico tiene un espesor promedio que varía de aproximadamente 1 nm, aproximadamente 5 nm, aproximadamente 10 nm, aproximadamente 25 nm, aproximadamente 50 nm,

aproximadamente 100 nm, o aproximadamente 200 nm a aproximadamente 300 nm, aproximadamente 400 nm, aproximadamente 500 nm, aproximadamente 750 nm, aproximadamente 1,000 nm o aproximadamente 5,000 nm o más. Por ejemplo, el espesor promedio del recubrimiento hidrofóbico puede ser menor que 1,000 nm, menor que 500 nm, menor que 300 nm, menor que 250 nm, menor que 200 nm o menor que 100 nm.

La partícula de agente apuntalante que tiene el material hidrofóbico, o agente apuntalante hidrofóbico, se puede recubrir con el material anfifílico para proporcionar el agente apuntalante de peso ligero. Por ejemplo, el agente apuntalante de peso ligero puede tener una capa hidrofóbica dispuesta entre el material anfifílico y la partícula de agente apuntalante. El recubrimiento del material anfifílico puede cubrir por lo menos aproximadamente 10%, por lo menos aproximadamente 15%, por lo menos aproximadamente 20%, por lo menos aproximadamente 30%, por lo menos aproximadamente 40% o por lo menos aproximadamente 50% de las superficies exteriores de la partícula de agente apuntalante hidrofóbico. En una o más modalidades ejemplares, el recubrimiento del material anfifílico puede cubrir menor que 100%, menor que 99%, menor que 95%, menor que 90%, menor que 85%, menor que 80%, menor que 75%, menor que 65%, menor que 50%, menor que 40% o menor que 35% de las superficies exteriores de la partícula de agente apuntalante hidrofóbico. En una o más modalidades ejemplares, aproximadamente 25%, aproximadamente 30%, aproximadamente 35%, o aproximadamente 45% a aproximadamente 55%, aproximadamente 65%, aproximadamente 75%, aproximadamente 85%, aproximadamente 90%, aproximadamente 95% o aproximadamente 99% o más de la superficie exterior de la partícula de agente apuntalante hidrofóbico se puede cubrir por el material anfifílico. Por ejemplo, el recubrimiento de material anfifílico puede cubrir de aproximadamente 10% a aproximadamente 99%, de aproximadamente 15% a aproximadamente 95%, de aproximadamente 20% a aproximadamente 75%, de aproximadamente 25% a aproximadamente 65%, de aproximadamente 30% a aproximadamente 45%, de aproximadamente 35% a aproximadamente 75%, de aproximadamente 45% a aproximadamente 90% o de aproximadamente 40% a aproximadamente 95% de la superficie exterior de la partícula de agente apuntalante hidrofóbico.

El recubrimiento anfifílico del agente apuntalante de peso ligero puede tener cualquier espesor adecuado. En una o más modalidades ejemplares, el recubrimiento anfifílico tiene un espesor promedio que varía de aproximadamente 1 nm,

aproximadamente 5 nm, aproximadamente 10 nm, aproximadamente 25 nm, aproximadamente 50 nm, aproximadamente 100 nm, aproximadamente 250 nm, aproximadamente 500 nm, aproximadamente 1,000 nm, o aproximadamente 2,000 nm a aproximadamente 3,000 nm, aproximadamente 4,000 nm, aproximadamente 5,000 nm, aproximadamente 7,500 nm, aproximadamente 10,000 nm, aproximadamente 15,000 nm, aproximadamente 20,000 nm o aproximadamente 30,000 nm o más. Por ejemplo, el espesor promedio del recubrimiento anfifílico puede ser menor que 30,000 nm, menor que 25,000 nm, menor que 20,000 nm, menor que 15,000 nm, menor que 10,000 nm o menor que 5,000 nm.

El agente apuntalante de peso ligero puede tener cualquier densidad en volumen adecuada. En una o más modalidades ejemplares, el agente apuntalante de peso ligero puede tener una densidad en volumen de por lo menos aproximadamente 0.8 g/cc, por lo menos aproximadamente 1 g/cc, por lo menos aproximadamente 1.5 g/cc, por lo menos aproximadamente 1.8 g/cc, por lo menos aproximadamente 2 g/cc, por lo menos aproximadamente 2.2 g/cc o por lo menos aproximadamente 2.4 g/cc. El agente apuntalante de peso ligero puede tener una densidad en volumen de aproximadamente 1.15 g/cc, aproximadamente 1.25 g/cc, aproximadamente 1.35 g/cc, o aproximadamente 1.45 g/cc a aproximadamente 1.5 g/cc, aproximadamente 1.6 g/cc, aproximadamente 1.75 g/cc, aproximadamente 1.9 g/cc, aproximadamente 2.1 g/cc o aproximadamente 2.5 g/cc o más. Por ejemplo, el agente apuntalante de peso ligero puede tener una densidad en volumen de aproximadamente 1.3 g/cc a aproximadamente 1.8 g/cc, aproximadamente 1.35 g/cc a aproximadamente 1.65 g/cc, aproximadamente 1.5 g/cc a aproximadamente 1.9 g/cc o aproximadamente 1.6 g/cc a aproximadamente 2.1 g/cc. En una o más modalidades ejemplares, el agente apuntalante de peso ligero tiene una densidad en volumen menor que la densidad en volumen de la partícula de agente apuntalante.

El agente apuntalante de peso ligero puede tener cualquier gravedad específica aparente adecuada. En una o más modalidades ejemplares, el agente apuntalante de peso ligero puede tener una gravedad específica aparente menor que 3 g/cc, menor que 2.8 g/cc, menor que 2.5 g/cc, menor que 2.2 g/cc, menor que 2 g/cc, menor que 1.8 g/cc o menor que 1.6 g/cc. El agente apuntalante de peso ligero puede tener una gravedad específica aparente de aproximadamente 1.25 g/cc, aproximadamente 1.45 g/cc, aproximadamente 1.65 g/cc, o aproximadamente 1.85 g/cc a aproximadamente 1.95 g/cc, aproximadamente 2 g/cc, aproximadamente 2.1 g/cc,

aproximadamente 2.2 g/cc o aproximadamente 2.4 g/cc o más. Por ejemplo, el agente apuntalante de peso ligero puede tener una gravedad específica aparente de aproximadamente 1.5 g/cc a aproximadamente 2.5 g/cc, aproximadamente 1.65 g/cc a aproximadamente 2.25 g/cc, aproximadamente 1.4 g/cc a aproximadamente 1.8 g/cc o aproximadamente 1.8 g/cc a aproximadamente 2.1 g/cc. En una o más modalidades ejemplares, el agente apuntalante de peso ligero tiene una gravedad específica aparente menor que la gravedad específica aparente de la partícula de agente apuntalante. La gravedad específica aparente de agente apuntalante de peso ligero puede ser menor que 95%, menor que 90%, menor que 85%, menor que 80%, menor que 75% o menor que 70% de la gravedad específica aparente de la partícula de agente apuntalante.

El agente apuntalante de peso ligero puede tener cualquier grado adecuado de humectabilidad con agua y/o humectabilidad con aceite. En una o más modalidades ejemplares, la superficie exterior del agente apuntalante de peso ligero tiene un valor de humectabilidad con agua como se mide por un ángulo de contacto de gotita de agua de menor que 90°, menor que 80°, menor que 70°, menor que 60°, menor que 50° o aproximadamente 45° o menos. En una o más modalidades ejemplares, la superficie exterior del agente apuntalante de peso ligero tiene un valor de humectabilidad con aceite como se mide por un ángulo de contacto de gotita de aceite de menor que 90°, menor que 80°, menor que 70°, menor que 60°, menor que 50° o aproximadamente 45° o menos.

El agente apuntalante de peso ligero descrito en la presente puede ser selectivamente impermeable a soluciones de base acuosa. En una o más modalidades ejemplares, el tratamiento hidrofóbico puede prevenir al agua o cualquiera de otras soluciones de base acuosa adecuadas, tales como fluidos de fracturación hidráulica, de entrar y/o saturan la porosidad interna de las partículas de agente apuntalante, mientras que mantiene la permeabilidad del fluido abierto de la porosidad interna a las composiciones gaseosas, tal como aire. En una o más modalidades ejemplares, el tratamiento hidrofóbico puede prevenir al agua u otras soluciones de base acuosa adecuadas, tales como fluidos de fracturación hidráulica, de entrar y/o saturan la porosidad interna de las partículas de agente apuntalante, mientras que mantiene la permeabilidad de fluido abierto de la porosidad interna a las soluciones de fase orgánica, tales como los líquidos de hidrocarburo producidos, y composiciones gaseosas, tal como aire.

El agente apuntalante de peso ligero se puede preparar de cualquier

manera adecuada. Por ejemplo, el agente apuntalante de peso ligero se puede preparar al tratar las partículas de agente apuntalante en bruto con el material hidrofóbico para proporcionar partículas de agente apuntalante hidrofóbico. En el tratamiento el agente apuntalante de peso ligero con el material hidrofóbico, el material hidrofóbico se puede recubrir sobre las paredes de poro de las partículas de agente apuntalante. En una o más modalidades ejemplares, el material hidrofóbico se puede recubrir sobre las paredes de poro ubicadas en o cerca de la superficie de agente apuntalante. Las partículas de agente apuntalante hidrofóbico luego se pueden recubrir con el material anfifílico para proporcionar el agente apuntalante de peso ligero.

Las partículas de agente apuntalante se pueden tratar con el material hidrofóbico mediante el recubrimiento del material hidrofóbico sobre y/o infundir el material hidrofóbico en las partículas de agente apuntalante de cualquier manera adecuada para proporcionar las partículas de agente apuntalante hidrofóbico. Los métodos adecuados para tratar partículas de agente apuntalante con material hidrofóbico para proporcionar las partículas de agente apuntalante hidrofóbico incluyen métodos descritos en la Patente de los Estados Unidos No. 2,378,817 de Wrightsman, la Patente de los Estados Unidos No. 4,873,145 de Okada y la Patente de los Estados Unidos No. 4,888,240 de Graham, las descripciones completas de las cuales se incorporan en la presente por referencia. En una o más modalidades ejemplares, el material hidrofóbico se puede recubrir sobre y/o infundir en las partículas de agente apuntalante al mezclar las partículas de agente apuntalante con el material hidrofóbico o una solución que contiene el material hidrofóbico. Por ejemplo, las partículas de agente apuntalante se pueden sumergir en una solución o baño del material hidrofóbico para proporcionar las partículas de agente apuntalante hidrofóbico. En una o más modalidades ejemplares, el material hidrofóbico se puede introducir en los espacios intersticiales o porosos de las partículas de agente apuntalante con sistemas y métodos seleccionados del grupo de mezclado de microondas, infusión con vacío, infusión térmica, acción capilar, mezclado con cinta en temperatura ambiente o elevada, y procesamiento de molienda de trozos, y cualquier combinación de los mismos.

El material anfifílico se puede recubrir sobre la partícula de agente apuntalante hidrofóbico en cualquier manera adecuada. El material anfifílico se puede recubrir sobre la partícula de agente apuntalante hidrofóbico en 1, 2, 3 o 4 o más recubrimientos o capas. Los métodos para recubrir partículas de agente apuntalante con resinas y/o resinas epoxi son bien conocidos para aquellos de habilidad ordinaria en la

técnica, por ejemplo ver la Patente de los Estados Unidos No. 2,378,817 de Wrightsman, la Patente de los Estados Unidos No. 4,873,145 de Okada y la Patente de los Estados Unidos No. 4,888,240 de Graham, las descripciones completas de las cuales se incorporan en la presente por referencia.

5 Cuando se utiliza como un agente apuntalante, las partículas descritas en la presente se pueden manejar en la misma manera como los agentes apuntalantes ordinarios. Por ejemplo, las partículas se pueden suministrar al sitio del pozo en bolsas o en forma de granel junto con otros materiales utilizados en el tratamiento de fracturación. El equipo y las técnicas convencionales se pueden utilizar para colocar las partículas en la
10 formación como un agente apuntalante. Por ejemplo, las partículas se mezclan con un fluido de fractura, que luego se inyecta en una fractura en la formación.

En un método ejemplar de fracturación de una formación subterránea, un fluido hidráulico se inyecta en la formación a una velocidad y presión suficiente para abrir una fractura en el mismo, y un fluido que contiene el agente apuntalante de peso ligero
15 como es descrito en la presente y que tiene una o más de las propiedades como es descrito en la presente se inyectan en una fractura para apuntalar la fractura en una condición abierta. En un método ejemplar de empaque con grava de una perforación de pozo, un fluido hidráulico que contiene el agente apuntalante de peso ligero como es descrito en la presente y que tiene una o más de las propiedades como es descrito en la
20 presente se inyecta en la región de empaque de grava de una perforación de pozo bajo una velocidad y presión adecuada para la colocación del agente apuntalante de peso ligero como un empaque de grava en la región de empaque de grava de la perforación de pozo. En un método ejemplar de empaque de fracturación de una perforación de pozo, un fluido hidráulico que contiene el agente apuntalante de peso ligero se inyecta en una
25 región de empaque de fracturación de una perforación de pozo a una velocidad y presión suficientes para abrir una fractura en la formación que extiende desde y/o adyacente a la región de empaque de fracturación de la perforación de pozo y bajo una velocidad y presión adecuadas para la colocación del agente apuntalante de peso ligero como un empaque de fracturación en la región de empaque de fracturación de la perforación de
30 pozo.

El agente apuntalante de peso ligero se puede combinar con o mezclar con agente apuntalante estándar o convencional tal como agente apuntalante de arena o cerámica en bruto. En un método ejemplar de la fracturación de una formación subterránea, un fluido hidráulico se inyecta en la formación a una velocidad y presión

suficientes para abrir una fractura en la misma, y un fluido que contiene el agente apuntalante de peso ligero se inyecta en la fractura para apuntalar la fractura en una condición abierta seguido por una inyección en el extremo de un fluido que contiene agente apuntalante convencional en la fractura. En otro método ejemplar de fracturación de una formación subterránea, un fluido hidráulico se inyecta en la formación en una velocidad y presión suficientes para abrir una fractura en la misma, y un fluido que contiene el agente apuntalante convencional se inyecta en la fractura para apuntalar la fractura en una condición abierta seguido por una inyección en el extremo de un fluido que contiene el agente apuntalante de peso ligero. En todavía otro método ejemplar de fracturación de una formación subterránea, un fluido hidráulico se inyecta en la formación en una velocidad y presión suficientes para abrir una fractura en la misma, y un fluido que contiene una mezcla del agente apuntalante de peso ligero y el agente apuntalante convencional se inyecta en la fractura para apuntalar la fractura en una condición abierta.

En otro método ejemplar del empaque de grava de una perforación de pozo, un fluido hidráulico que contiene una mezcla del agente apuntalante de peso ligero y el agente apuntalante convencional se inyecta en una región de empaque de grava de una perforación de pozo bajo una velocidad y presión adecuada para la colocación del agente apuntalante de peso ligero y/o el agente apuntalante convencional como un empaque de grava en la región de empaque de grava de la perforación de pozo. En otro método ejemplar de empaque de fracturación de una perforación de pozo, un fluido hidráulico que contiene una mezcla del agente apuntalante de peso ligero y el agente apuntalante convencional se inyecta en una región de empaque de fracturación de una perforación de pozo a una velocidad y presión suficientes para abrir una fractura en la formación que se extiende desde y/o adyacente a la región de empaque de fractura de la perforación de pozo y bajo una velocidad y presión adecuadas para la colocación del agente apuntalante de peso ligero y/o el agente apuntalante convencional como un empaque de fractura en la región de empaque de fractura de la perforación de pozo.

Ejemplos

Estos ejemplos se llevaron a cabo utilizando materiales ejemplares con el fin de determinar la gravedad específica aparente del agente apuntalante de peso ligero que tiene varias concentraciones de recubrimiento de material hidrofóbico y material anfifílico. Estos ejemplos se proponen para ser ilustrativos de modalidades ejemplares de la presente invención y no se proponen para ser exhaustivos.

Ejemplo 1

Un lote de 1000 gramos (primer lote) de 30/50 CARBO UltraLite, un agente apuntalante de cerámica de ultra-peso ligero que tiene una gravedad específica aparente de 2.71 y que tiene una porosidad de 20-25% que es comercialmente disponible de CARBO Ceramics Inc. se pesó en un tazón de mezclado.

El primer lote de agente apuntalante se calentó en un horno ajustado a 250°C (482°F) durante aproximadamente dos horas. El primer lote calentado de agente apuntalante luego se removi6 del horno y se dejó enfriar hasta que alcanzó una temperatura de entre 445 y 455°F (229-235°C). Después de que el primer lote de agente apuntalante se ha enfriado a la temperatura del proceso, el agente apuntalante se recubrió con un recubrimiento fen6lico permeable. El primer lote de agente apuntalante se recubrió con el recubrimiento fen6lico permeable en un proceso de una etapa con una resina de reactividad estandar de fenol formaldehído que es comercialmente disponible de Plastics Engineering Company bajo el nombre comercial Plenco 14941.

El proceso de recubrimiento inici6 con la adici6n de 16.73 gramos de la resina de fenol formaldehído al agente apuntalante y la resina se dejó fundir y dispersarse sobre el agente apuntalante. Siete segundos después de la adici6n de la resina de fenol formaldehído, 0.8 gramo de un promotor de adhesi6n Silquest A1000, que es comercialmente disponible de Momentive Performance Materials, Inc. se adicion6 al lote. Quince segundos después de la adici6n de la resina de fenol formaldehído, 5.44 gramos de una soluci6n de hexametilentetramina al 40% (que tambi6n es conocida como y ser6 referida en la presente como "hexamina") y que es comercialmente disponible de The Chemical Company, se adicion6 para reticular y curar la resina de fenol formaldehído y se dejó mezclar durante 1 minuto y 15 segundos. Finalmente, 1.2 gramos de un surfactante de cocoamidopropil hidroxisultaina al 50-60%, que es comercialmente disponible de The Lubrizol Corporation bajo el nombre comercial "Chembetaina^{MR} CAS", se adicion6 y se dejó mezclar durante 1 minuto 30 segundos. Después de este procedimiento de recubrimiento, el primer lote de agente apuntalante incluy6 2.0% en peso del recubrimiento polimérico. La gravedad específica aparente para el producto del primer lote fue 2.52 g/cc.

Ejemplo 2

Un lote de 750 gramos (segundo lote) de 30/50 CARBO UltraLite se pes6 en el taz6n de mezclado. El segundo lote de agente apuntalante se calent6 en un horno ajustado a 250°C (482°F) durante aproximadamente dos horas. El segundo lote calentado

de agente apuntalante luego se removió del horno y se dejó enfriar hasta que alcanzó una temperatura de entre 445 y 455°F (229-235°C). Después de que los materiales particulados de agente apuntalante se han enfriado a la temperatura del proceso, el agente apuntalante se recubrió con un recubrimiento fenólico permeable. El segundo lote de agente apuntalante se recubrió con el recubrimiento fenólico permeable en un proceso de una etapa con Plenco 14941.

El proceso de recubrimiento inició con la adición de 22.8 gramos de la resina de fenol formaldehído al agente apuntalante y la resina se dejó fundir y dispersarse sobre el agente apuntalante. Siete segundos después de la adición de la resina de fenol formaldehído, 0.8 gramos de Silquest A1000 se adicionó al lote. Quince segundos después de la adición de la resina de fenol formaldehído, 7.4 gramos de una solución de hexamina al 40% se adicionó para reticular y curar la resina de fenol formaldehído y se dejó mezclar durante 1 minuto 15 segundos. Finalmente, 1.2 gramos de Chembetaine^{MR} CAS se adicionó y se dejó mezclar durante 1 minuto 30 segundos. Después del procesamiento de recubrimiento, el segundo lote de agente apuntalante incluyó 3.5% en peso del recubrimiento polimérico. La gravedad específica aparente de este producto del segundo lote fue 2.38 g/cc.

Ejemplo 3

Un lote de 742.5 gramos (tercer lote) de 30/50 CARBO UltraLite se trató con un producto químico hidrofóbico, BYK LPD 22287, que tiene un contenido de sólidos de 100%, que es comercialmente disponible de BYK, y luego se recubrió con un recubrimiento fenólico permeable en un proceso de una etapa como es descrito enseguida.

El tercer lote de agente apuntalante se calentó en un horno ajustado a 250°C (482°) durante aproximadamente dos horas. El tercer lote calentado de agente apuntalante luego se removió del horno y se dejó enfriar hasta que alcanzó una temperatura de entre 445 y 455°F (229-235°C) como es monitoreado por un termopar. Una vez que el tercer lote de agente apuntalante alcanzó la temperatura deseada, 7.5 gramos de BYK LPD 22287 se adicionó al tercer lote para llevar el peso del lote hasta 750 g. El BYK LPD 22287 se dejó recubrir en los canales interiores del sustrato poroso durante 20 segundos para proporcionar el agente apuntalante tratado, tal que el BYK LPD 22287 constituyó 1% en peso del agente apuntalante tratado. Después de que los materiales particulados de agente apuntalante se trataron con el producto químico BYK LPD 22287, el tercer lote luego se recubrió con un recubrimiento fenólico permeable.

El tercer lote tratado de agente apuntalante se recubrió en un proceso de una etapa con Plenco 14941. Inmediatamente después de que se trató el lote de agente apuntalante con el producto químico hidrofóbico, 22.82 gramos de la resina de fenol formaldehído se adicionó al agente apuntalante tratado y se dejó fundir y dispersarse sobre el agente apuntalante. Siete segundos después de la adición de la resina de fenol formaldehído, 0.8 gramos de Silquest A1000 se adicionó al lote. Quince segundos después de la adición de la resina de fenol formaldehído, 7.42 gramos de solución de hexamina al 40% se adicionó para reticular y curar la resina de fenol formaldehído y se dejó mezclar durante 1 minuto 15 segundos. Finalmente, 1.2 gramos de Chembetaine^{MR} CAS, se adicionó y se dejó mezclar durante 1 minuto y 30 segundos. Después del procedimiento de recubrimiento, el tercer lote de agente apuntalante incluyó 3.5% en peso del recubrimiento polimérico. La gravedad específica aparente para este producto del tercer lote fue 2.05 g/cc.

Ejemplo 4

Un lote de 750 gramos (cuarto lote) de 30/50 CARBO UltraLite se trató con BYK LPD 22287 y luego se recubrió con un recubrimiento fenólico permeable en un proceso de dos etapas como es descrito enseguida. El cuarto lote de agente apuntalante se calentó en un horno ajustado a 250°C (482°F) durante aproximadamente una hora. El cuarto lote calentado de agente apuntalante luego se removió del horno y se dejó enfriar hasta que alcanzó una temperatura de entre 450 y 460°F (229-238°C) como es monitoreada por un termopar. Una vez que el cuarto lote de agente apuntalante alcanzó la temperatura deseada, 7.5 gramos de BYK LPD 22287 se adicionó al lote y se dejó recubrir en los canales interiores del substrato poroso durante 20 segundos, tal que el BYK LPD 22287 constituyó 1% en peso de agente apuntalante tratado. Después de que los materiales particulados de agente apuntalante se trataron con el producto químico BYK LPD 22287, el lote se recubrió con un recubrimiento fenólico permeable.

El cuarto lote tratado de agente apuntalante se recubrió en un proceso de dos etapas de acuerdo con el siguiente procedimiento con Plenco 14941. 30 segundos después de que el lote de agente apuntalante se trató con el producto químico hidrofóbico y se dejó mezclar con el substrato de agente apuntalante en el tazón, 15.2 gramos de resina de fenol formaldehído se adicionó al agente apuntalante tratado y se dejó fundir y dispersarse sobre el agente apuntalante. Diez segundos después de la primera adición de la resina de fenol formaldehído, 0.8 gramos de Silquest A1000 se adicionó al lote. Veinte segundos después de la primera adición de la resina de fenol

formaldehído, 4.94 gramos de solución de hexamina al 40% se adicionó para reticular y curar la resina de fenol formaldehído y se dejó mezclar durante 20 segundos. Una segunda adición de fenol formaldehído se adicionó al lote en 30 segundos después de la primera adición de la resina de fenol formaldehído en una cantidad de 7.61 gramos. Diez segundos después de la segunda adición de la resina de fenol formaldehído, 2.47 gramos de solución de hexamina al 40% se adicionó para reticular y curar la resina de fenol formaldehído restante y se dejó mezclar durante 1 minuto 50 segundos. Finalmente, 1.2 gramos de Chembetaine^{MR} CAS se adicionó y se dejó mezclar durante 30 segundos. Después del procedimiento de recubrimiento, el cuarto lote de agente apuntalante incluyó 3.5% en peso del recubrimiento polimérico. La gravedad específica aparente para este producto del cuarto lote fue 1.98 g/cc.

La Tabla 1 enseguida muestra una comparación de las rutas de proceso y las gravedades específicas aparentes finales (ASG) obtenidas con cada proceso.

Ruta de Proceso	Infusión de BYK-22287 (% en peso)	Capa de Resina (% en peso)	ASG Final (g/cc)
Ejemplo 1	NIL	2.0	2.52
Ejemplo 2	NIL	3.5	2.38
Ejemplo 3	1	3.5	2.05
Ejemplo 4	1	3.5	1.98

Ejemplo 5

Los Lotes 1A-D y 2A-D de 30/50 CARBO UltraLite primero se trataron con varias cantidades del producto químico BYK LPD 22287 y luego se recubrieron con varias cantidades del recubrimiento de resina de fenol-formaldehído (Plenco 14941) utilizando el proceso de una etapa descrito en los Ejemplos 1-3 anteriores. En particular, el Lote 1A fue una primera muestra de CARBO UltraLite 30/50 tratado con una cantidad del producto químico BYK LPD 22287 que dio por resultado una concentración de BYK LPD 22287 de 0.25% en peso. El Lote 1B fue una segunda muestra de 30/50 CARBO UltraLite tratado con una cantidad de producto químico BYK LPD 22287 que dio por resultado una concentración de BYK LPD 22287 de 0.5% en peso. El Lote 1C fue una tercera muestra de CARBO UltraLite 30/50 tratado con una cantidad del producto químico BYK LPD 22287 que dio por resultado una concentración de BYK LPD 22287 de 0.75% en peso. El Lote 1D fue una cuarta muestra de 30/50 CARBO UltraLite tratado con una cantidad de producto químico BYK LPD 22287 que dio por resultado una concentración de BYK LPD 22287 de 1.0% en peso. Los Lotes 1A-D luego se recubrieron con un recubrimiento de resina de

fenol-formaldehído (Plenco 14941) utilizando el proceso de una etapa descrito en el Ejemplo 1 anterior para proporcionar muestras de agente apuntalante de peso ligero, cada muestra que tiene una concentración de resina de fenol-formaldehído de 2.0% en peso.

El Lote 2A fue una quinta muestra de 30/50 CARBO UltraLite tratado con una cantidad del producto químico BYK LPD 22287 que dio por resultado una concentración de BYK LPD 22287 de 0.25% en peso. El Lote 2B fue una sexta muestra de 30/50 CARBO UltraLite tratado con una cantidad del producto químico BYK LPD 22287 que dio por resultado una concentración de BYK LPD 22287 de 0.5% en peso. El Lote 2C fue una séptima muestra de CARBO UltraLite 30/50 tratado con una cantidad del producto químico BYK LPD 22287 que dio por resultado una concentración de BYK LPD 22287 de 0.75% en peso. El Lote 2D fue una octava muestra de CARBO UltraLite 30/50 tratado con una cantidad del producto químico BYK LPD 22287 que dio por resultado una concentración de BYK LPD 22287 de 1.0% en peso. Los Lotes 2A-D luego se recubrieron con un recubrimiento de resina de fenol-formaldehído (Plenco 14941) utilizando el proceso de una etapa descrito en los Ejemplos 2-3 anteriores para proporcionar muestras de agente apuntalante de peso ligero, cada muestra que tiene una concentración de resina de fenol-formaldehído de 3.5% en peso.

Los Lotes 1 AD y 2A-D, el primer lote del Ejemplo 1 y el segundo lote del Ejemplo 2 cada uno se sumergieron en agua bajo condiciones atmosféricas para determinar la gravedad específica aparente de cada muestra. Los resultados de esta prueba se representan en la Tabla 1 enseguida.

Tabla 1		
Lote No.	Concentración de Siloxano (% en peso)	Gravedad Específica Aparente (g/cc)
1 (Capa de Resina de 2.0% en peso)		
Control-1	0	2.52
1A	0.25	0.018
1B	0.5	1.989
1C	0.75	0.024
1D	1	0.011
2 (Capa de Resina de 3.5% en peso)		
Control-2	0	2.38
2A	0.25	1.991
2B	0.5	1.982

2C	0.75	1.975
2D	1	2.008

Los Lotes 1 A-D y 2A-D luego se sumergieron en agua y se colocaron en una celda de presión donde la presión en los lotes se incrementó a 2,000 psi (13,790 kPa) durante 4 minutos para determinar si el agente apuntalante podría fluir en el agua bajo presión al medir la gravedad específica aparente de cada muestra bajo presión. Los resultados de esta prueba se representan en la Tabla 2 enseguida. Puesto que no se observó cambio significativo en la gravedad específica aparente, los resultados indicaron que la aplicación de 2,000 psi (13,790 kPa) no produjo una afluencia significativa de agua en el agente apuntalante de cerámica poroso.

Tabla 2		
Lote No.	Concentración de Siloxano (% en peso)	Gravedad Específica Aparente (g/cc)
1 (Capa de Resina de 2.0% en peso)		
1A	0.25	1.945
1B	0.5	1.940
1C	0.75	2.384
1D	1	1.893
2 (Capa de Resina de 3.5% en peso)		
2A	0.25	2.150
2B	0.5	1.980
2C	0.75	1.891
2D	1	1.995

La descripción anterior y las modalidades se proponen para ilustrar la invención sin limitarla de esta manera. Será entendido que varias modificaciones se pueden hacer en la invención sin apartarse del espíritu o alcance de la misma.