

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 677 871**

51 Int. Cl.:

E21B 43/267 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.03.2007 PCT/CA2007/000342**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.09.2007 WO07098606**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2007 E 07710678 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 2027362**

54 Título: **Sistema de fracturación de gas licuado de petróleo**

30 Prioridad:

03.03.2006 CA 2538936

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

07.08.2018

73 Titular/es:

**STEP ENERGY SERVICES LIMITED (100.0%)
Bow Valley Square II, 1200, 205-5th Ave SW
Calgary, AB T2P 2V7, CA**

72 Inventor/es:

**LOREE, DWIGHT, N. y
MESHER, SHAUN, T.**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 677 871 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de fracturación de gas licuado de petróleo

5 **Antecedentes**

En la fracturación convencional de pozos, la producción de formaciones, nuevos pozos o pozos con baja producción que se han puesto fuera de producción, se puede fracturar una formación para intentar alcanzar mayores tasas de producción. El fluido de sustentación y fracturación se mezclan en una mezcladora y entonces se bombea en un pozo que penetra en una formación petrolífera o gaseosa. Al pozo se aplica alta presión, la formación se fractura y el agente de sustentación portado por el fluido de fracturación fluye en las fracturas. El agente de sustentación en las fracturas mantiene las fracturas abiertas después de que se haya relajado la presión y se reanuda la producción. Se han divulgado diversos fluidos para su uso como el fluido de fracturación, incluyendo diversas mezclas de hidrocarburos, nitrógeno y dióxido de carbono.

Se debe tener cuidado en la elección del fluido de fracturación. El fluido de fracturación debe tener suficiente viscosidad para portar el agente de sustentación en las fracturas, debe reducir al mínimo el daño en la formación y su utilización ha de ser segura. Un fluido de fracturación que permanezca en la formación después de la fracturación no es conveniente debido a que puede bloquear los poros y reducir la producción del pozo. Por esta razón, se ha utilizado dióxido de carbono como un fluido de fracturación debido a que, cuando se reduce la presión de fracturación, el dióxido de carbono se gasifica y se elimina fácilmente del pozo.

También se han propuesto como fluidos de fracturación alcanos de orden menor tales como propano. De esta forma, la patente de los Estados Unidos con n.º 3.368.627, describe un método de fracturación que utiliza, como el fluido de fracturación, una combinación de una mezcla de hidrocarburo C2 - C6 licuado y dióxido de carbono. Al igual que un alcano de orden menor, el propano y el butano no dañan inherentemente a la formación. No obstante, esta patente no describe la forma de alcanzar una inyección segura de propano y butano o cómo inyectar el agente de sustentación en el fluido de fracturación con propano o butano. La patente de los Estados Unidos con n.º 5.899.272 también describe el propano como un fluido de fracturación, pero el sistema de inyección que se describe en esa patente no se ha comercializado. De esta forma, a pesar de que el propano y el butano son fluidos de fracturación convenientes debido a su volatilidad, bajo peso y fácil recuperación, estas propiedades tienden a hacer que el propano y el butano sean peligrosos.

35 **Sumario**

De acuerdo con una forma de realización de un sistema de fracturación de gas licuado de petróleo (LPG, *liquefied petroleum gas*), se proporciona un aparato para fracturar una formación en la que penetra un pozo. Se conecta a un pozo una bomba de presión de fracturación. Se conecta una fuente de fluido de fracturación para suministrar un fluido de fracturación que comprende propano y/o butano a la bomba de presión de fracturación. En una forma de realización, una fuente de suministro de agente de sustentación que contiene agente de sustentación se conecta para suministrar el agente de sustentación en la corriente de fluido de fracturación desde la fuente de fluido de fracturación. En algunas formas de realización, la fuente de suministro de agente de sustentación es un recipiente de presión positiva, y en otras formas de realización incluye bombas centrifugas. Una fuente de gas inerte se conecta para suministrar gas inerte al recipiente de presión y otros componentes del sistema. Un controlador controla el funcionamiento los componentes del sistema, tales como la fuente de fluido de fracturación, la fuente de suministro de agente de sustentación, la fuente de gas inerte y la bomba de presión de fracturación para suministrar una corriente de fluido de fracturación al pozo. El propano y el butano proporcionan las ventajas de los gases licuados para las fracturaciones, al tiempo que también proporcionan una viscosidad mayor que el dióxido de carbono para portar el agente de sustentación profundamente en la formación. Esta propiedad del propano y el butano proporciona una ampliación de fracturación eficaz. Entonces, el propano o el butano se evaporan y se mezclan con el gas de formación. El propano o el butano se pueden producir entonces con el gas de formación. En el fluido de fracturación también se pueden incluir pentano y cantidades menores de otros hidrocarburos.

Se describe adicionalmente un método para fracturar un pozo utilizando una mezcla de LPG como un fluido de fracturación. Se utiliza gas inerte tal como nitrógeno como una atmósfera gaseosa y fluido de prueba de presión para asegurar la inocuidad de la utilización de LPG como el fluido de fracturación. Cuando se agrega nitrógeno al fluido de fracturación, el método tiene una utilidad particular para la fracturación de formaciones de carbón o de lutita.

60 **Breve descripción de las figuras**

A continuación se describirán algunas formas de realización haciendo referencia a las figuras, en las que números de referencia similares denotan elementos similares, a modo de ejemplo, y en las que:

la figura 1 es un diagrama que ilustra los componentes principales de un sistema de fracturación de acuerdo con una primera forma de realización de una fracturación de la mezcla de LPG;
la figura 2 es un diagrama que ilustra un controlador para el sistema de fracturación de la figura 1;

la figura 3 es un diagrama que ilustra los componentes principales de un sistema de fracturación de acuerdo con una forma de realización de una fracturación de la mezcla de LPG para fracturar una formación de lecho de carbón o de lutita;

la figura 4 muestra un sistema de bombeo de sello dinámico para bombear un agente de sustentación y la mezcla de LPG en la bomba de alta presión;

la figura 5 muestra otra vista de un sistema de introducción de agente de sustentación de sello dinámico;

la figura 6 muestra una vista en sección de un depósito de mezcla de LPG aislado;

la figura 7 es un diagrama que ilustra los componentes principales del sistema de fracturación de acuerdo con otra forma de realización de una fracturación de la mezcla de LPG;

la figura 8 muestra el lado de entrada de una estación de agente de sustentación que aloja un sistema de introducción de agente de sustentación para el sistema de fracturación de la figura 7;

la figura 9 muestra el lado de salida de una estación de agente de sustentación que aloja un sistema para la introducción de agente de sustentación para el sistema de fracturación de la figura 7; y

la figura 10 muestra una formación terrestre que se ha fracturado.

Descripción detallada

En las reivindicaciones, la expresión “que comprende”, se utiliza en su sentido inclusivo y no excluye otros elementos que estén presentes. El artículo indefinido “uno” antes de una característica de reivindicación no excluye más de una de las características que estén presentes. Cada una de las características individuales que se describen en el presente documento se puede utilizar en una o más formas de realización y, en virtud únicamente de lo que se describe en el presente documento, no se interpretará como esencial para todas las formas de realización tal como se definen por medio de las reivindicaciones.

Haciendo referencia a la figura 1, se muestra un aparato por fracturar una formación en la que penetra un pozo. Una bomba de presión de fracturación 10, que podría ser una o más bombas montadas en uno o más remolques, se conecta a través de un conducto 12 a un pozo 14. El conducto 12, similar a otros conductos mostrados en la figura 1, es una tubería o tubo flexible convencional con un índice de presión y capacidad anticorrosión adecuados para las presiones que se aplicarán a la tubería. La presión aplicada por la bomba de presión de fracturación 10 es una presión adecuada para fracturar la formación. Un ejemplo de bomba de presión de fracturación es una bomba Quinflex™ diésel con turbinas enfriadas con agua o una bomba con pistón Triplex™ alimentada eléctricamente, a pesar de que se puede utilizar cualquier bomba adecuada. Como la bomba 10 se puede utilizar más de un dispositivo de bombeo.

Una fuente de fluido de fracturación 16 se conecta para suministrar una corriente de fluido de fracturación, que comprende una mezcla de LPG presurizada de propano, butano, o una mezcla de propano y butano a la bomba de presión de fracturación 10 a través del conducto 18 y una válvula de control de propano V1 en el conducto 18. Con fines de rentabilidad, es probable que el fluido de fracturación en la práctica sea una mezcla predominantemente de propano y butano debido a que es costoso separar propano y butano. La mezcla de LPG, también puede contener cantidades menores de pentano e hidrocarburos mayores. La válvula de control V1, controla el flujo de fluido de fracturación proveniente de la fuente de fluido de fracturación 16. La válvula V1, también es una válvula convencional para el control del flujo del fluido de fracturación. La fuente de fracturación 16 es uno o más depósitos de propano, butano, o propano y butano a una presión adecuada para suministrar propano y/o butano a la bomba de presión de fracturación 10, así como también portar el agente de sustentación en la corriente en el conducto 18. En una forma de realización, la fuente de fracturación 16 se mantiene a una presión de aproximadamente 0,345 - 0,684 MPa (50 - 100 psi), y puede subir tanto como 1,723 MPa (250 psi). A medida que el fluido de fracturación proveniente de la fuente de fracturación 16 se consume durante una fracturación, este se puede calentar para mantener la presión de vapor o se puede presurizar con un gas inerte tal como nitrógeno con el fin de mantener una presión suficiente en la fuente de fracturación 16 que sea capaz de suministrar una corriente de fluido de fracturación que porta el agente de sustentación a la bomba de presión de fracturación 10. El propano y/o butano juntos pueden comprender un 50 %, un 80 %, un 90 %, un 95 % y hasta un 100 % en volumen del fluido de fracturación de la mezcla de LPG.

Una fuente de suministro de agente de sustentación 22 que contiene el agente de sustentación se conecta para suministrar el agente de sustentación a través del conducto 24 en la corriente de fluido de fracturación en el conducto 18. En una forma de realización, la fuente de suministro de agente de sustentación 22 es un recipiente de presión positiva, que debe ser capaz de soportar las presiones de funcionamiento, las cuales, por ejemplo, una presión suficiente puede ser de 1,38 MPa (200 psi) para un funcionamiento seguro. El término presión positivos significa que el recipiente de presión tiene una presión de funcionamiento superior a la presión atmosférica. El flujo de agente de sustentación proveniente de la fuente de suministro de agente de sustentación 22 se controla mediante una válvula de control de agente de sustentación V2. La fuente de fluido de fracturación 16 de preferencia también se conecta a través del conducto 23 y la válvula V4 para suministrar el fluido de fracturación a la fuente de suministro de agente de sustentación 22. En una forma de realización, un recipiente de presión utilizado como la fuente de suministro de agente de sustentación 22 se puede orientar para suministrar el agente de sustentación mediante gravedad a través de la válvula de control V2, o a través de uno o más tornillos sinfín que están situados dentro y a lo largo del fondo de la fuente de suministro de agente de sustentación 22 o situadas fuera de la fuente de

suministro de agente de sustentación 22. Se pueden utilizar otros sistemas de medición para el suministro de agente de sustentación proveniente de la fuente de suministro de agente de sustentación en la corriente de fluido de fracturación tales como diversos tipos de bombas. La fuente de suministro de agente de sustentación 22 se puede dividir en compartimientos para proporcionar diferentes tamices de arena u otro agente de sustentación, tal como se indica en el programa de fracturación más adelante. Como alternativa, se puede proporcionar más de una fuente de suministro de agente de sustentación 22 para proporcionar más agente de sustentación para fracturaciones más grandes o para diferentes tamaños de agente de sustentación. La fuente de suministro de agente de sustentación 22 también puede ser un sistema de bomba de presión contenida tal como se describe en relación a las figuras 4 y 5 respectivamente.

Se conecta una fuente de gas inerte 28 para suministrar el gas inerte a la fuente de suministro de agente de sustentación 22. El suministro de gas inerte se controla mediante una válvula de control de gas inerte V3. Un gas inerte preferido es nitrógeno. El gas inerte debe estar a una presión suficiente para mantener el fluido de fracturación de la mezcla de LPG como un líquido, para evitar el reflujo de fluido de fracturación de la mezcla de LPG en la fuente de suministro de agente de sustentación 22 y ayudar a impulsar el fluido de fracturación hacia las bombas de alta presión 10. La fuente de gas inerte 28 también se puede conectar para suministrar una cantidad controlada de gas inerte a través de la canalización 29 y la válvula V5 hacia la fuente de fluido de fracturación 16. El fluido de gelificación para el fluido de fracturación se puede suministrar desde la fuente de fluido para gelificación 30 a través de la canalización 31 con la válvula V6 hacia la canalización de fluido de fracturación 18. El fluido para gelificación se suministra al fluido de fracturación antes que a la bomba de presión de fracturación 10 y se puede suministrar antes o después de la fuente de agente de sustentación 22. El fluido para gelificación, incluyendo el activador y el agente de ruptura, puede ser cualquier fluido para gelificación adecuado para gelificar propano o butano. El agente de gelificación en el fluido de gelificación puede ser cualquier agente de gelificación adecuado para gelificar propano, butano, pentano o mezclas de propano, butano y pentano, y se puede adecuar para ajustar la composición actual del fluido de fracturación. Un ejemplo de un agente de gelificación adecuado se crea al hacer reaccionar en primer lugar pentóxido de fosforoso con fosfato de trietilo y un alcohol que tenga cadenas de hidrocarburo de 3 - 7 átomos de carbono de largo, o en por ejemplo en alcoholes adicionales que tengan cadenas de hidrocarburo de 4 - 6 átomos de carbono de largo. El éster de ácido de ortofosfato formado entonces se hace reaccionar con sulfato de aluminio para crear al agente de gelificación deseado. El agente de gelificación creado tendrá cadenas de hidrocarburo de 3 - 7 átomos de carbono de largo o, como en el ejemplo adicional, 4 - 6 átomos de carbono de largo. Las cadenas de hidrocarburo del agente de gelificación de esta forma se igualan en longitud con las cadenas de hidrocarburos del gas de petróleo líquido utilizado para el fluido de fracturación. Este agente de gelificación es más eficaz en la gelificación de un fluido de propano o butano que un agente de gelificación con cadenas de hidrocarburo más largas. La proporción del agente de gelificación en el fluido de fracturación se ajusta para obtener una viscosidad adecuada en el fluido de fracturación gelificado.

Para la liberación del fluido de fracturación en las diversas tuberías, se proporciona una línea de descarga de fracturación 34 que conduce al quemador de gas residual 38. El flujo en la canalización de descarga de fracturación 34 se controla mediante una o más válvulas de descarga V1. El flujo en la canalización 12 hacia el pozo 14 se controla mediante una válvula de control de cabezal de pozo V8. El nitrógeno se almacenará, por lo general, como nitrógeno líquido refrigerado y se suministrará a las diversas canalizaciones mostradas en las figuras a través de un intercambiador térmico para proporcionar presión a los depósitos del fluido de fracturación 16, y la fuente de suministro de agente de sustentación 22. El intercambiador térmico se debe mantener a una distancia segura del equipo de LPG. Las fuentes de suministro de agente de sustentación 22 se pueden soportar sobre patas con sensores de carga para proporcionar una indicación de la cantidad del agente de sustentación restante, y de esta forma también una indicación de la cantidad del agente de sustentación suministrado al pozo.

Tal como se muestra en la figura 2, se conecta un controlador 32 para controlar el funcionamiento de válvula de control de fluido de fracturación V1, la válvula de control de agente de sustentación V2, la válvula de control de gas inerte V3, y la bomba de presión de fracturación 10 con el fin de suministrar una corriente del agente de sustentación y fluido de fracturación al pozo. El controlador 32, también se conecta a las válvulas V4, V5, V6, V7, V8, V9 y otras válvulas requeridas para controlar su funcionamiento. Las válvulas V1 - V9 de esta forma se pueden operar remotamente de tal forma que se puedan controlar durante una emergencia sin exponer al personal a un peligro. El controlador 32 es cualquier ordenador o procesador adecuado, equipado con pantallas convencionales y una consola de entrada del operador. Las líneas que indican la conexión entre el controlador 32 y las porciones controladas representan líneas de control convencional. El sistema total se controla remotamente a través del controlador 32. El controlador 32 lleva a cabo algoritmos para proceso de fracturación que son convencionales excepto según se describe en este documento de patente. El controlador 32, también se conecta mediante canalizaciones de control a bombas (no mostradas) que pueden, en algunas formas de realización, estar asociadas con la fuente de fluido gelificado 30, la fuente de suministro de agente de sustentación 22 y la fuente de gas inerte 28.

Durante el funcionamiento del aparato mostrado en las figuras 1 y 2, el controlador 32 se utiliza para llevar a cabo las siguientes etapas. Se agrega agente de sustentación a la fuente de suministro de agente de sustentación 22 a través de, por ejemplo, una compuerta adecuada, que entonces se cierra después de esto. El agente de sustentación puede ser cualquier agente de sustentación natural o artificial. Se puede utilizar una tolva (no mostrada

en la figura 1, a pesar de que se observa en las figuras 9 y 10 como un ejemplo) u otro dispositivo adecuado para agregar el agente de sustentación a la fuente de suministro de agente de sustentación 22. El pozo 14 se cierra utilizando la válvula V8. Se inyecta gas inerte desde la fuente de gas inerte 28 en la fuente de suministro de agente de sustentación 22 para formar una atmósfera gaseosa al abrir la válvula V3. El gas inerte también se inyecta desde la fuente de gas inerte 28 en todos los componentes del sistema que entrarán en contacto con la mezcla de LPG, incluyendo las canalizaciones 12, 18, 24, 29, 31 y 34, las válvulas V1 - V8, la bomba de presión de fracturación 10, y los componentes del sistema, para limpiar cualquier prueba para fugas de aire y presión. Las fugas se pueden detectar por visión, olor, sonido o dispositivos electrónicos tales como dispositivos de láser y detectores. Solo cuando se haya probado la presión del sistema se puede inyectar el fluido de fracturación en los componentes del sistema.

La fuente de fluido de fracturación 16 se encuentra, por lo general, a 0,345 - 0,689 MPa (50 - 100 psi), a pesar de que la fuente de fluido de fracturación 16 también se puede cargar en el sitio desde una fuente de propano y/o butano por separado. Una vez que se haya probado la presión del sistema por seguridad, incluyendo la prueba de presión con la mezcla de LPG, se abre la válvula de control de cabezal de pozo V8. El sistema de quemador de gas residual se puede probar con un quemado. La válvula de control de fluido de fracturación V1 se abre bajo el control del controlador 32 para suministrar el fluido de fracturación a la bomba de presión de fracturación 10, y la bomba de presión de fracturación 10 se enciende para llenar al pozo con la mezcla de LPG. Se agrega agente gelificante desde la fuente de gel 30 a través de la canalización 31 al fluido de fracturación en el conducto 18 al abrir la válvula V6 mientras el pozo se está llenando con el fluido de fracturación. La presión en el pozo 14 entonces se aumenta gradualmente utilizando la bomba de presión de fracturación 10, y se establece un caudal de inyección para aumentar gradualmente la presión en el fluido de fracturación en el pozo 14, y continuar llenando el pozo con el fluido de fracturación. De esta forma se aplica al pozo 14 un patín de fluido de fracturación en estado líquido para iniciar la fracturación. Los patines de fracturación son bien conocidos en la técnica, y pueden consumir una porción variable del fluido de fracturación dependiendo del procedimiento de fracturación para el pozo que se haya decidido por el operador. La presión de fracturación se aumenta gradualmente para romper la formación y permitir que se propaguen fracturas en la formación.

Después de que el patín se haya inyectado en el pozo 14, se agrega agente de sustentación a la corriente de fluido de fracturación. En una forma de realización, la válvula control V4 se abre bajo el control del controlador 32 para suministrar el fluido de fracturación líquido en la fuente de suministro de agente de sustentación 22. El fluido de fracturación líquido se mezcla con el agente de sustentación en la fuente de suministro de agente de sustentación 22. La válvula de control de agente de sustentación V2 entonces se abre para permitir que el agente de sustentación entre a la corriente de fluido de fracturación en el conducto 18, mediante la fuerza de la gravedad o métodos mecánicos tales como utilizar un tornillo sinfín. Se puede requerir presión proveniente de la fuente de gas inerte 28 para forzar la mezcla de LPG y el agente de sustentación en el conducto 18. También se puede requerir una bomba (no mostrada) en la canalización 23 para asegurar el suministro del fluido de fracturación en la fuente de suministro de agente de sustentación 22 para oponerse a la presión de la fuente de gas inerte 28. En otra forma de realización, no se abre la válvula de control V4, a pesar de que se suministra el agente de sustentación directamente desde el recipiente de presión 22 en la canalización 18 mediante gravedad y el uso de un tornillo sinfín en la salida del recipiente de presión 22. En la presente forma de realización, se puede aplicar un excedente de gas inerte proveniente de la fuente 28 al recipiente de presión 22 para evitar que el fluido de fracturación fluya de regreso en el recipiente de presión 22. Se pueden utilizar otros métodos de presión contenida para inyectar el agente de sustentación en la fracturación con la mezcla de LPG; por ejemplo, tal como se analizará más adelante con respecto a las figuras 4 y 5. La bomba de presión de fracturación 10 entonces bombea el agente de sustentación que contiene la corriente de fluido de fracturación gelificado en el pozo 14. La cantidad del agente de sustentación que se agregará se determina por el operador de la fracturación.

En un punto adecuado durante la fracturación, cuando el operador de fracturación determina que se ha agregado al pozo bastante agente de sustentación, el cabezal de pozo se cierra, y se utiliza nuevamente gas inerte tal como nitrógeno para purgar todos los componentes, incluyendo todas las canalizaciones, válvulas, bombas y depósitos que hayan entrado en contacto con la mezcla de LPG, distintos de los depósitos de propano/butano, para eliminar todo el propano y el butano proveniente de los componentes del sistema.

Después de una cantidad de tiempo determinada por el operador según sea adecuado para el pozo que será fracturado, la presión se libera del pozo. El tiempo para que el gel se descomponga es aproximadamente el mismo tiempo (por lo general, 2 - 4 horas). El fluido de fracturación líquido en el pozo entonces se evapora debido a la pérdida de presión y la absorción de calor desde el recipiente. El propano y/o butano gaseoso en el pozo se mezcla con gas en formación, y se desplaza fácilmente hacia la superficie mediante el calor y presión de la formación, dejando tras de sí el agente de sustentación en las fracturas creadas por la presión de fracturación. El gas propano y/o butano que se liberó del pozo se puede producir o suministrar a la canalización de descarga de gases 34 donde se pueden quemar a través del quemador de gas residual 38, o se producen o se hacen fluir a una tubería para gases para venta a otros. Como es convencional, en cualquiera de las formas de realización de las figuras 1, 3 ú 8 se puede proporcionar un densímetro en la canalización 12 para proporcionar realimentación al operador de fracturación sobre la cantidad de agente de sustentación y fluido de fracturación que entra en el pozo.

A medida que el fluido de fracturación se extrae desde la fuente de fluido de fracturación 16, se puede agregar una cantidad controlada de gas inerte a la fuente de fluido de fracturación 16 para reemplazar el fluido de fracturación utilizando la válvula V5, para mantener la presión en la fuente de fluido de fracturación 16, y ayudar a reducir el riesgo de explosión.

5 La fracturación con gas también se puede llevar a cabo sobre filones de carbón o de lutita para mejorar la producción de gas de carbón o gas de lutita. En una fracturación con gas de carbón o una fracturación con gas de lutita, la carga hidrostática en la formación producción se debe reducir a un mínimo. El nitrógeno se ha utilizado para este fin, con altos volúmenes del orden de 70.000 m³ por fracturación, y unos caudales correspondientemente altos.
10 En la aplicación de una fracturación con gas para una formación de carbón o de lutita, la mezcla de LPG se combina con nitrógeno.

15 Tal como se muestra en la figura 3, en una forma de realización de una fracturación de la mezcla de LPG aplicada a una formación de carbón o de lutita, la fuente de gas inerte 28 se conecta a la canalización 12 a través del conducto 42 bajo el control de la válvula V9 para suministrar nitrógeno al pozo. Se emplean los mismos procedimientos de seguridad y equipo que se emplean para la fracturación utilizando el aparato de la figura 1, y tal como se ha descrito en lo que antecede. Asimismo, la introducción de agente de sustentación en la corriente de fluido de fracturación puede utilizar diversos dispositivos, tales como aquellos mostrados en las figuras 4, 5 y 6. En general, la fracturación se lleva a cabo utilizando procedimientos convencionales para la fracturación de formaciones de carbón o de lutita con nitrógeno, con la adición de utilizar un fluido de la mezcla de LPG para portar el agente de sustentación en la formación de carbón o de lutita.
20

25 En algunas formas de realización de una fracturación con la mezcla de LPG de una formación de carbón o de lutita, cuando la formación se ha presurizado mediante un alto flujo de nitrógeno a alta presión, (utilizando nitrógeno proveniente de la fuente 28 suministrado en el pozo 14 con el fin de crear fracturación en la formación) la válvula V1 se abre y la bomba 10 se activa para bombear el fluido de fracturación de LPG en la corriente de nitrógeno que entra al pozo 14. La mezcla de LPG en conducto 18 se gelifica con un agente gelificante proveniente de la fuente de agente gelificante 30. Cuando una cantidad deseada del fluido de fracturación de LPG gelificado se haya bombeado en el pozo 14, se abre la válvula V4, en una forma de realización, para permitir que el fluido de fracturación fluya en la fuente de suministro de agente de sustentación 22. En una forma de realización, también se suministra gas inerte proveniente de la fuente de gas inerte 28 en la fuente de suministro de agente de sustentación 22. Con la abertura de la válvula V2, el agente de sustentación fluye en el conducto 18 y se mezcla con el fluido de fracturación. Se puede requerir una bomba (no mostrada) en la canalización 23 para asegurar un suministro de fluido de fracturación en la fuente de suministro de agente de sustentación 22, al oponer la presión proveniente de la fuente de gas inerte 28. La bomba 10 entonces bombea el fluido de fracturación de LPG gelificado que contiene el agente de sustentación en la corriente de nitrógeno que entra al pozo 14. La mezcla de nitrógeno-LPG gelificado resultante puede portar el agente de sustentación desde la fuente del agente de sustentación 22 en el pozo y en el yacimiento. Una vez que se haya suministrado suficiente agente de sustentación al pozo 14, se termina la adición del agente de sustentación. El fluido de fracturación LPG puede continuar para ser agregado después del término del flujo del agente de sustentación. La proporción de nitrógeno al fluido de fracturación proveniente de la fuente de fluido de fracturación 16 se controla de acuerdo con la cantidad deseada de agente de sustentación que será colocado en la formación. A un tiempo controlado, aproximadamente cuando el gel se descompone, la presión proporcionada por la bomba 10 y la fuente de gas inerte 28 se reduce para permitir un reflujo. La mezcla de LPG en el pozo 14 que ha portado el agente de sustentación en las fracturas generadas por el fluido de fracturación y el nitrógeno entonces se gasifica, y se puede producir desde el pozo 14 junto con el nitrógeno y el gas de formación. El agente de sustentación que queda en la formación permite la permeabilidad de la formación de carbón o de lutita, a pesar de que el uso de LPG y nitrógeno proporciona baja presión de gas hidrostático que permite la formación para seguir produciendo gas.
30
35
40
45

50 A continuación se proporciona un ejemplo de un tratamiento de fracturas con tubería descendente de propano - butano con agente de sustentación de 30 toneladas de un pozo con perforaciones a 2500 m de profundidad, que tiene 129,7 mm de tuberías de revestimiento de 23,06 kg/m, 88,9 mm de tubería de 12,84 kg/m y BHT de 89 °C. El objetivo del tratamiento es estimular la formación de gases al nivel de las perforaciones al realizar un tratamiento de propano butano gelificado de 31 toneladas. Los criterios de diseño para la fracturación especifican:
55

Prelavado con ácido:	1 m ³ de prelavado con ácido HCl al 15 %
Agente de sustentación:	1 tonelada de arena 50/140
Agente de sustentación:	30 toneladas de EconoProp 30/50
Fluido de base requerido:	117,0 m ³ de propano/butano
Caudal máximo:	4,0 m ³ /min
Presión de bombeo est.:	37,9 MPa
Potencia de fluido máxima requerida:	2525 kW

Se llevan a cabo procedimientos de pretratamiento, seguridad y operacionales normales, incluyendo conducir una seguridad de pretratamiento y operacional que cumpla con todo el personal en la ubicación, en detalle: procedimientos de tratamiento, responsabilidades del personal, áreas seguras designadas, limitaciones de presión,

ES 2 677 871 T3

precauciones de seguridad, posición y equipo de seguridad, plan de seguridad y evacuación, y una identificación de peligros.

5 La preparación en el sitio adicional incluye el montaje en el equipo de fracturación para tubería de bombeo descendente, aparejo en el bombeo de la corona circular para mantener la presión de regreso para el tratamiento, ajustar la válvula para alivio de presión de la corona circular, y probar la presión de las canalizaciones de superficie para ajustar el límite de presión por el operador del pozo.

10 La fracturación por gas se realiza de acuerdo con el programa de fluido de sustentación posterior, incluyendo el prelavado con ácido. Si se presenta una falta de selección, el bombeo no se debe volver a iniciar. El pozo se debe lavar con el volumen de fluido especificado según se calcula con un sublavado de 0,5 m³. Al final del lavado, todas las bombas se deben apagar, el ISIP se registra, y se apareja el equipo de fracturación con gas. Los procedimientos después del tratamiento incluyen: reflujos en el pozo a unos caudales controlados tan pronto como sea posible con seguridad. Asegurarse que el pozo tiene reflujos siguiendo los lineamientos reglamentarios. Continuar el flujo hasta que el pozo se haya limpiado. Situar el pozo en producción y evaluar los resultados.

Programa de fluido de sustentación							
Etapa	Suspensión	Fluido			Agente de sustentación		
		Caudal de mezcladora (m ³ /min)	Caudal de fluido (m ³ /min)	Fluido acum. (m ³)	Fluido de etapa (m ³)	Estado de mezcladora (kg/m ³)	Etapa de agente de sust. (kg)
Prelavado con ácido HCl al 15 %			1,0	1,0			
Patín (gel de P/B)	4,00	4,00	18,0	18,0			
Inicio de arena 50/140	4,00	3,85	28,0	10,0	100	1.000	1.000
Patín (gel de P/B)	4,00	4,00	36,0	8,0			
Inicio de EconoProp 30/50	4,00	3,85	45,0	9,0	100	900	900
Aumento de EconoProp 30/50	4,00	3,72	54,0	9,0	200	1.800	2.700
Aumento de EconoProp 30/50	4,00	3,48	63,0	9,0	400	3.600	6.300
Aumento de EconoProp 30/50	4,00	3,26	72,5	9,5	600	5.700	12.000
Aumento de EconoProp 30/50	4,00	3,07	82,5	10,0	800	8.000	20.000
Aumento de EconoProp 30/50	4,00	2,90	92,5	10,0	1.000	10.000	<u>30.000</u>
Lavado (gel de P/B)	4,00	4,00	103,6	11,1			

Requisitos de fluido de tratamiento							
Tratamiento de fract. (m ³)	Abertura	Prepatín	Patín	Agente de sust.	Lavado	Bttms	Total
Propano/butano			36,0	56,5	11,1	13,4	117,0 m ³

Programa de aditivos químicos sin parar la máquina						
Tratamiento de fract. agregado a propano/butano	Conc. en abertura	Conc. de prepatín	Conc. de patín	Conc. de agente de sust.	Conc. de lavado	Prod. quím. totales
Agente gelificante (gel de P/B) l/m ³		6,0	6,0		4,0	599,4 l
Activador l/m ³		3,5	3,5		2,0	346,0 l
Agente de ruptura de líquido l/m ³		3,0	3,0		5,0	333,0 l

Programa de agente de sustentación en rampa					
Etapa	Fluido		Agente de sustentación		
	Fluido acum. (m ³)	Fluido (m ³)	Conc. (kg/m ³)	Agente de sust. (kg)	Agente de sust. acum. (kg)
Antes del agente de sustentación principal	36,0	36			
Antes del punto de inflexión	62,5	26,5	430	5.699	5.699
Después del punto de inflexión	82,5	20,0	1.000	14.301	20.000
Etapa de retención	92,5	10,0	1.000	10.000	30.000
Lavado	103,6	11,1			30.000

ES 2 677 871 T3

Cálculos

Profundidad a la perforación superior	2554,0 m
Gradiente de fract.	18,0 kPa/m
Gradiente de fricción	4,6 kPa/m
Densidad relativa del fluido de fract.	0,508
Caudal de la mezcladora	4,00 m ³ /min

Presión de fractura en el fondo de la perforación:

= Gradiente de fract. x Profundidad (**BHFP**) = 18,0 kPa/m x 2554 m = 45.970 kPa

Presión de fricción de bombeo:

= Gradiente de fricción x Profundidad (**FP**) = 4,6 kPa/m x 2554 m = 11.748 kPa

Carga hidrostática:

= Densidad relativa x 9,81 kPa/m x Profundidad (**HH**) = 0,508 x 9,81 kPa/m x 2554 m = 12.728 kPa

Presión de bombeo de superficie:

= BHFP + FP - HH (**SPP**) = 45.970 kPa + 11.748 kPa - 12.728 kPa = 44.990 kPa

Potencia de bombeo requerida: = (SPP x caudal)/60 = (44.990 kPa x 4,00 m³/min)/60 = 2999 kW

Volumen a la perforación superior

	Longitud del intervalo (m)	Factor de volumen (m ³ /m)	Volumen (m ³)
Tubería =	2554	0,00454	11,5
Revestimiento =	10	0,012417	0,1
Total (m ³)	11,6		
Sublavado (m ³)		0,5	
No sobrelavar		Volumen de lavado (m³)	11,1

La figura 4 muestra un sistema para bombeo de agente de sustentación que se puede utilizar en una forma de realización de una fracturación con mezcla de LPG para utilizarse como una fuente de suministro de agente de sustentación 22. La bomba centrífuga 44 se conecta a través de la canalización 46 al suministro de la mezcla de LPG 16. Se proporciona una salida desde la bomba centrífuga 44 a través de la canalización 48 a la bomba centrífuga 50. La bomba centrífuga 50 se conecta a través de la canalización 52 a la bomba de alta presión 10. El funcionamiento de bomba 44 proporciona succión en su puerto de entrada 45 que extrae la mezcla de LPG en la bomba 44. La bomba 50, opera a una rpm superior a la bomba 44, y bombea la mezcla de LPG en la canalización 48 en la canalización 52. La canalización 52 se comunica con un conducto, tal como un conducto 18 en la figura, 1 que conduce a la bomba de alta presión 10. La bomba 50, también establece la succión en su puerto de entrada central 51, que extrae el agente de sustentación desde el sistema de introducción de agente de sustentación en la figura 5. La bomba centrífuga 50, funciona como un recipiente de presión en el cual la baja presión generada por la bomba en el puerto de entrada 51, sella dinámicamente la bomba 50 de la liberación de la mezcla de LPG de regreso del puerto de entrada de la bomba 50. Para la purga del sistema de bombeo de agente de sustentación mostrado en la figura 4, se puede conectar una canalización 47 a la fuente de gas inerte 28. Una válvula en la canalización 52, equivalente a la válvula V2 de la figura 1, controla el flujo de la mezcla de LPG.

En la figura 5 se detalla un sistema de suministro de agente de sustentación para la bomba 50 de la figura 4, que de esta forma puede funcionar como una fuente de suministro de agente de sustentación 22. El agente de sustentación se canaliza en la tolva cónico 72 utilizando un tornillo sinfín 58. El gas de nitrógeno o CO₂ se pueden suministrar al sistema a través de una boquilla 80 con el fin de mantener la presión de funcionamiento o una atmósfera inerte. La tolva cónica 72 suministra el agente de sustentación a la entrada 82, donde pasa a una válvula de control 84 y a una válvula de frenado 86. El pentano se puede suministrar mediante la boquilla 87 debido a que la eficiencia de introducción del agente de sustentación mejora si la canalización está húmeda. En la presente forma de realización, el agente de sustentación entra a la bomba 50 al viajar a través de la entrada 51. La bomba 50 opera tal como se muestra en la figura 4, extrayendo el fluido de fracturación en la bomba 50 desde la canalización 48 mediante fuerza centrífuga donde se mezcla con el agente de sustentación. La bomba 50 se alimenta por medio del motor 53, que hace girar al propulsor 55. En la figura 5, el fluido de fracturación se suministra en la bomba 50 mediante la canalización 48 que viene del suministro de la mezcla de LPG 16 tal como se describe con relación a la figura 4. Tal como se muestra en la figura 4, la mezcla del agente de sustentación y el fluido de fracturación entonces se envían fuera de la bomba 50 en la canalización 52. El anillo externo de la bomba centrífuga 50 se conoce como voluta. El

propulsor giratorio 55 crea una fuerza centrífuga que genera un sello dinámico alrededor de la circunferencia del propulsor 55. Este mantiene la presión en la voluta de la bomba 50. La velocidad del propulsor 55 y la presión de flujo de entrada se deben controlar a un equilibrio para evitar el reflujo a través del propulsor 55.

5 Haciendo referencia a la figura 5, bajo las presiones normales de funcionamiento del sistema, la válvula de frenado 86 permanece abierta y permite un flujo estable del agente de sustentación en la bomba 50. En caso de que la bomba 50 falle o se apague, el aumento inmediato de presión dentro del puerto de entrada 51 provocará que la válvula de frenado 86 y la válvula de control 84 se cierren. Un aumento en la presión podría provocar que la mezcla de LPG rompa el sello dinámico y provoque un reflujo a través de la entrada del agente de sustentación, formando una mezcla gaseosa inflamable que puede crear una situación peligrosa. Al insertar las válvulas 84 y 86, esta situación peligrosa se puede prevenir. La válvula de control 84 se opera hidráulicamente mediante un controlador remoto 32. Se puede instalar un sensor de gas 89 por encima de la válvula de control 84 que podría informar al controlador 32 cerrar la válvula de control 84 en caso de una afluencia de gases de regreso a través del sistema. La válvula de frenado 86 y la válvula de control 84, pueden operar automáticamente en respuesta a los cambios de presión, o pueden estar bajo el control de un ordenador mediante el controlador 32. La válvula de control 84 funciona como una válvula de respaldo para la válvula de frenado 86. Cualquier otra combinación o uso de válvulas se puede incorporar para alcanzar la función de la válvula de frenado 86 y válvula de control 84. Antes y después de una fracturación, el sistema de introducción de agente de sustentación de las figuras 4 y 5 se puede purgar mediante la introducción de nitrógeno a través de las canalizaciones 47 y 80, El aparato de la figura 5, también puede utilizar para suministrar fluidos de fracturación tales como hidrocarburos a presión de vapor superior, tales como los hidrocarburos C5, C6 C7, C02 líquido y alcoholes a una bomba de fracturación de alta presión. El suministro de estos fluidos provenientes de la fuente de fluido de fracturación a la bomba centrífuga 50 se puede suministrar al utilizar gas inerte como un fluido de impulsión o al utilizar una bomba adecuada. Estos otros fluidos también se pueden mezclar con el fluido de fracturación con la mezcla de LPG y almacenar en la fuente de fluido de fracturación 16, o en el caso de dióxido de carbono, en depósitos de dióxido de carbono por separado.

En otra forma de realización, la mezcla de LPG se enfría antes de la introducción en el pozo para disminuir su presión de vapor. Con el fin de mantener una mezcla de LPG presurizada de propano, butano o una mezcla de propano y butano en un estado líquido, se requieren presiones del orden de 0,345 - 1,723 MPa (50 - 250 psi). Esto es debido a que tanto el propano como el butano son gases a temperatura ambiente y presión atmosférica. Al enfriar la mezcla de LPG antes de la introducción en el sistema de fracturación, se requieren presiones reducidas, lo cual disminuye el potencial de explosiones o daño al sistema de fracturación que se podrían provocar por altas presiones. El enfriamiento puede evitar el tapón de vapor de las bombas del pistón. Para mantener fácilmente la mezcla de LPG en un estado enfriado, la mezcla de LPG se puede almacenar en un depósito aislado 88, tal como se detalla en la figura 6. El depósito aislado 88 tiene un forro metálico 90 que está circundado por una capa aislante 92. Una capa secundaria 94 puede rodear la capa aislante 92, y se puede formar de metal, plástico, o cualquier otro material adecuado. El depósito aislado se puede montar en la parte posterior de un remolque para un camión, o como parte de un remolque. Como alternativa, el depósito aislado 88 puede ser un depósito removible. Todos los componentes que constituyen el fluido de fracturación, incluyendo la fuente de agente gelificante 30, se pueden almacenar en depósitos aislados similares al depósito aislado 88. La capa secundaria 94, puede ser un forro flexible colocado alrededor del depósito 88, y la capa aislante 92 se puede rociar con espuma aislante que se inyecta en el forro flexible 94. El depósito aislado 88 tiene varias ventajas. El LPG suministrado al depósito 88 se encontrará, por lo general, a una temperatura de enfriamiento de aproximadamente 10 - 20 °C, y permanece frío debido a que los depósitos aislados 88 mantendrán el LPG a una temperatura casi igual a través del proceso de fracturación. De esta forma, incluso en un día soleado, se pueden evitar los problemas de calentamiento del LPG y que provocan tapones de vapor en las bombas de pistón. En el invierno, también se evitan los problemas con baja presión debido al enfriamiento del LPG, tal como la necesidad de calentamiento.

La figura 7 muestra otra forma de realización de un sistema de fracturación con mezcla de LPG, donde cada componente del proceso de fracturación se monta sobre una serie de remolques que portan la fuente de gas inerte 28, la fuente de fluido de fracturación 16, la fuente de agente de sustentación 22, la unidad química 30 y las bombas 10 y 110. Como alternativa, cada componente se puede almacenar como cualquier otro tipo de unidad portátil o permanente. Una canalización 96 conecta la fuente de gas inerte 28 a la estación de agente de sustentación 98, y una bifurcación 111 de la canalización 96 conecta la fuente de gas inerte 28 a la canalización de suministro de fluido de fracturación 108. La estación de agente de sustentación 98 incluye fuentes de suministro de agente de sustentación 22, y la canalización 96, junto con la bifurcación 104 de la canalización 96, se pueden utilizar para suministrar gas inerte a las fuentes de suministro de agente de sustentación 22. Las salidas de gas inertes 102 y 106 provenientes de las fuentes de agente de sustentación 22 se conectan a la canalización 101 que conduce al quemador de gas residual 38. El gas inerte se puede suministrar a las bombas 10 y 110 a través de las canalizaciones 96, 111, 108, 133, 128, 131 y 112, y regresar al quemador de gas residual 38 a través de las canalizaciones 100 y 101.

La fuente de mezcla de LPG 16 puede suministrar fluido de la mezcla de LPG a la estación de agente de sustentación 98 a través de las canalizaciones 108, los puertos de entrada 134, la canalización 133 y la canalización central 128, formando una corriente de fluido de fracturación. La canalización 108 se puede formar como un grupo de tres canalizaciones conectadas a los tres puertos de entrada 134 tal como se muestra, proporcionando de este

modo diferentes caudales de fluido de fracturación. El fluido de la mezcla de LPG consiste de una mezcla de LPG tal como se describe para las formas de realización anteriores. El gas inerte se puede suministrar a la fuente de mezcla de LPG 16 a través de la canalización 109. El gas inerte se puede suministrar a la corriente de fluido de fracturación en la canalización 108 a través de la canalización 111. Con el suministro del fluido de la mezcla de LPG a la estación de agente de sustentación 98, el agente de sustentación proveniente de la fuente de suministro de agente de sustentación 22 puede entrar a la corriente de fluido de fracturación y mezclarse con la mezcla de LPG.

El agente de sustentación se suministra a lo largo de los conductos 127 y 129, que contiene tornillos sinfín que reciben el agente de sustentación desde los extremos inferiores cónicos respectivos de las fuentes de suministro de agente de sustentación 22. Los tornillos sinfín en las canalizaciones 127 y 129 transportan el agente de sustentación hacia la canalización de fluido de fracturación central 128. El agente gelificante se puede suministrar desde el remolque para productos químicos 30 a lo largo de la canalización 114 hacia una o más de las canalizaciones 108 o hacia la canalización 128 antes o después de los conductos 127 y 129. La corriente de fluido de fracturación entonces se puede hacer fluir hacia cualquiera o tanto a la bomba de alta presión 10 como a la bomba de alta presión 110 a través de la canalización 128, la canalización 131, los puertos de salida 130 y la canalización 112. Como alternativa, solo la mezcla de LPG se puede enviar a las bombas 10 o 110 a través de las mismas canalizaciones y puertos, sin agente de sustentación o agente gelificante agregado. El agente de sustentación se suministra cuando se necesita para la fuente de suministro de agente de sustentación 22 desde un remolque de suministro de agente de sustentación 116 a través de la canalización 118. Por lo general, esto se llevará a cabo casi en el proceso de fracturación y entonces se puede separar el remolque 116.

En la presente forma de realización, el fluido de fracturación se puede suministrar a las bombas 10 y 110, tal como se describió en las formas de realización anteriores. El gas inerte también se puede suministrar a cualquier componente individual del sistema, así como también se puede utilizar para purgar el sistema total como un todo antes y después de iniciar una fracturación. El gas inerte se puede suministrar a cualquiera o ambas de las bombas 10 y 110 a través de la canalización 112. Las bombas 10 y 110 se conectan en paralelo a la corriente de fluido de fracturación a través de la canalización 112. Las bombas 10 y 110 pueden enviar fluido de fracturación a un pozo 14 a través de la canalización 12. El flujo en la canalización 12 al pozo 14 se controla mediante una válvula de control de cabezal de pozo V8. Como alternativa, las bombas 10 y 110 pueden enviar el fluido de fracturación a un quemador de gas residual 38 a través de la canalización 34. La canalización 34 también se conecta a la canalización 101, de tal forma que el sistema total se pueda aclarar fácilmente del fluido de fracturación a través del quemador de gas residual 38 después de una fracturación. La canalización 34 también se conecta a un depósito de limpieza con arena 37 antes de que alcance el quemador de gas residual 38. El depósito para limpieza con arena 37 evita que el agente de sustentación se envíe al quemador de gas residual 38, y se almacene dentro de su capacidad. Los productos químicos de gelificación también se pueden recuperar en el depósito de limpieza 37. Se puede proporcionar un difusor en la canalización 34 para mantener la presión sobre el agente de sustentación y mantenerlo líquido durante el reflujó. El flujo en la canalización 34 se controla mediante una o más válvulas de descarga V7. Se pueden utilizar muchas otras combinaciones de canalizaciones y conexiones de suministro para llevar a cabo el método y aparato que se describen para suministrar una fracturación con mezcla de LPG a un pozo 14, dentro del alcance de los métodos y aparatos reivindicados en el presente documento. Los mismos procedimientos y equipos de seguridad se emplean al igual que se emplean para la fracturación utilizando el aparato de las formas de realización que se han descrito en lo que antecede. Asimismo, la introducción de agente de sustentación en la corriente de fluido de fracturación puede utilizar diversos dispositivos, tales como aquellos mostrados en las figuras 1, 4 y 5. El sistema de fracturación tal como se ha descrito en lo que antecede se controla remotamente mediante el controlador 32. El controlador 32 puede consistir de una estación de control por ordenador situada en un remolque. En general, la fracturación se lleva a cabo utilizando procedimientos convencionales para la fracturación de cualquier formación, modificado de acuerdo con las técnicas que se describen en el presente documento.

Las figuras 8 y 9 muestran una vista más detallada del lado de entrada y el lado de salida, respectivamente, de la estación de agente de sustentación 98. En estas vistas, la estación de agente de sustentación 98 se proporciona como un remolque de cama plana 120 para un camión de semirremolque, a pesar de que se podrían utilizar otros vehículos o dispositivos para llevar a cabo el mismo fin. En la presente forma de realización, el remolque 120 contiene dos fuentes de suministro de agente de sustentación 22, que tienen al menos una de las conexiones para gas 122 conectadas a la fuente de gas inerte 28. Por ejemplo, las conexiones de gas superior 122 de un suministro de agente de sustentación 22 pueden funcionar como una entrada para el gas inerte, conectándose al suministro para gas inerte 28, mientras la conexión de gas inferior 122 puede funcionar como una salida para el gas inerte, enviando el gas inerte a la canalización 101 a través de cualquier canalización 102 o 106. Cada fuente de suministro de agente de sustentación 22 es un recipiente de presión positiva, utilizada para almacenar agentes de sustentación. Las tapaderas 124 y conexiones 126 de pozos de registro se colocan en cada suministro de agente de sustentación 22, con las conexiones 126 utilizadas para rellenar el suministro de agente de sustentación 22.

Haciendo referencia a la figura 9, el fluido de fracturación se suministra a los puertos de entrada 134 y entonces a través de la canalización 133 hacia la canalización de fluido de fracturación central 128. En el otro lado de la estación de agente de sustentación 98, la canalización de fluido de fracturación 128 se conecta a través de la canalización 131 a los puertos de salida 130. El agente gelificante se puede suministrar a las canalizaciones del fluido de fracturación en cualquier punto adecuado desde la canalización 114. Las canalizaciones predichas 127 y

129 transportan el agente de sustentación desde la base de las tolvas cónicas 22 en la canalización de fluido de fracturación central 128. Tanto en la figura 9 como en la 10, se colocan manómetros 136 en las canalizaciones 131 y 133 respectivas para supervisar la presión del sistema de fracturación antes y después de las canalizaciones de suministro de agente de sustentación 127 y 129. El mezclado del agente gelificante con el fluido de fracturación se puede presentar en o antes de la estación de agente de sustentación 98 o en otra parte entre la estación de agente de sustentación 98 y las bombas 10 y 110.

El sistema de las figuras 7 - 9, se puede utilizar tal como se describió en relación a las figuras 1 - 3. La fuente de agente de sustentación 22 se carga con agente de sustentación, por ejemplo, arena. El gas inerte se suministra desde la fuente de gas inerte 28 a través de todas las canalizaciones funcionales para purgar el sistema de componentes volátiles y para prueba de presión. En una forma de realización, el gas inerte se suministra a recipientes de cono 22 de tal forma que la presión en los recipientes de cono 22 sea mayor que la presión en los depósitos de LPG 16. El gas inerte entonces se hace pasar a través de las bombas 10 y 110. Después, el fluido de fracturación se suministra a través de las canalizaciones 108, 133, 128, 131 y 112 según se requiera por el programa de fracturación, iniciando con una prueba de presión de fluido de fracturación. El agente gelificante se suministra según se requiera a través de la canalización 114 y el agente de sustentación se suministra mediante las canalizaciones con tornillo sinfin 127 y 129 cuando se requiera por el programa de fracturación. La mezcla de LPG que regresa del pozo se puede enviar al quemador de gas residual 14. Al término de la introducción del fluido de fracturación en el pozo, cuando se haya introducido suficiente agente de sustentación a la formación, se suministra nuevamente gas inerte a todas las canalizaciones funcionales y hacia fuera a través de la canalización 34 hacia el quemador de gas residual 38 para purgar el gas de petróleo licuado de los componentes del sistema. El gas inerte se extrae de los componentes del sistema. El pozo entonces se hace fluir de regreso para permitir que el LPG gaseoso se produzca o se queme. Cuando exista una línea de ventas, la mezcla de LPG en lugar de quemarse se puede suministrar a la línea de ventas. Se puede colocar una válvula de disparo en la canalización 112 para evitar el exceso de presión en la canalización 112 que dañe los recipientes de presión 22.

Haciendo referencia a la figura 10, el método de fracturación divulgado genera unas fracturas artificiales 138 que tienen su origen en el sondeo 146 penetrando en una formación terrestre 140 delimitada por las canalizaciones 142 por debajo de una superficie terrestre 147. Las fracturas 138 hacen la formación 140 porosa y permeable. Las fracturas se extienden a través de la formación terrestre fuera de la tubería 144 a través de la cual se introduce el fluido de fracturación. Menos del 10 %, o incluso menos del 5 % o el 1 % en peso de residuos de la cantidad del fluido de hidrocarburos de fracturación que se aplica al pozo y la formación permanece en la formación terrestre. Dicho de otra forma, se puede recuperar casi todo el fluido de fracturación. El LPG tiene aproximadamente la mitad de la carga hidrostática de agua, de esta forma probablemente la presión de formación excederá considerablemente la carga del fluido de fracturación de LPG, y de esta forma ayudará en el reflujo. El LPG también crea una fase individual en el reflujo mediante mezclado con el gas del yacimiento. Este proceso puede eliminar, por lo tanto, el CO₂ como gas para ayudar en el reflujo. Debido a que el LPG vaporizado esencialmente no tiene viscosidad, el hidrocarburo gelificado no permanece en el pozo.

En caso de una extracción de arena del pozo, el pozo 14 se cierra, el quemador de gas residual se abre y todos los componentes extraídos con arena se arrastran con nitrógeno.

El aparato de las figuras 1, 3 u 8 se puede operar sin agente de sustentación adicional, o sin agente gelificante adicional, pero al coste de una eficacia reducida en el tratamiento de fracturación.

Se pueden realizar modificaciones no importantes a las formas de realización que se describen en el presente documento sin apartarse de lo que se reivindica.

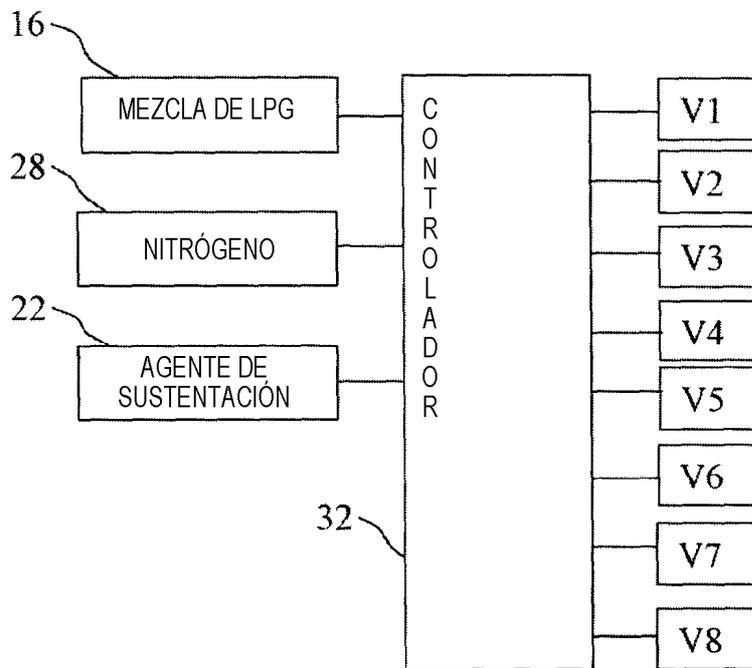
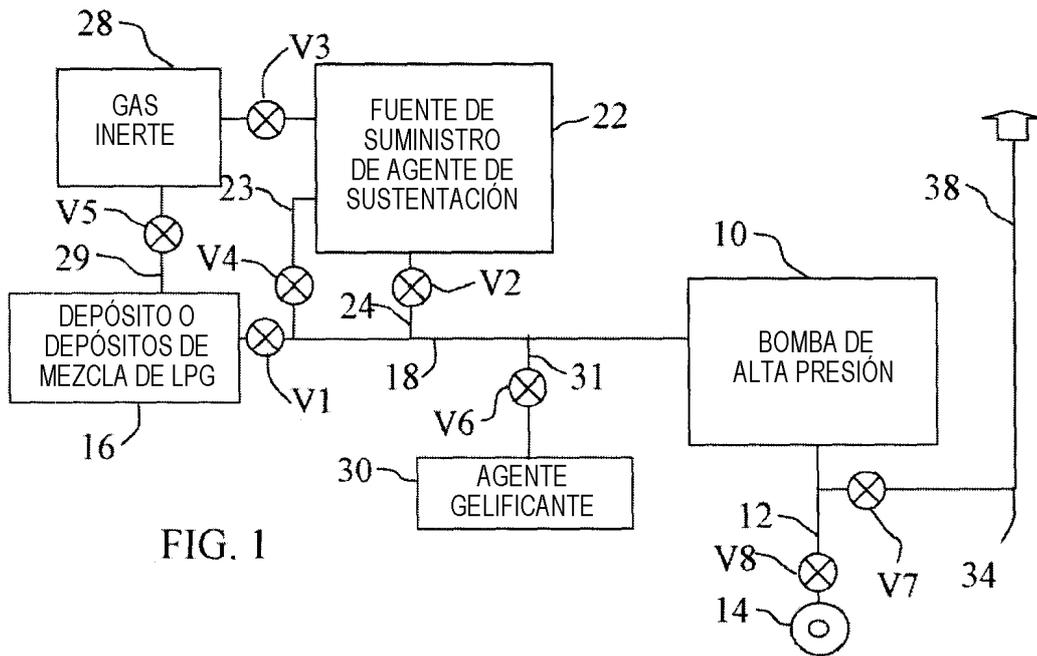
REIVINDICACIONES

1. Un aparato para fracturar una formación (140) en la que penetra un pozo (14, 146), comprendiendo el aparato:
 - 5 una bomba de presión de fracturación (10, 110) conectada a un pozo (14, 146);
 una fuente de fluido de fracturación (16) conectada para suministrar a la bomba de presión de fracturación (10, 110) una corriente de fluido de fracturación que comprende propano, butano o una mezcla de propano y butano;
 una fuente de gas inerte (28) conectada para suministrar gas inerte a la fuente de fluido de fracturación (16); y
 un controlador (32) conectado para controlar el funcionamiento de la fuente de fluido de fracturación (16), la
 10 bomba de presión de fracturación (10, 110) y la fuente de gas inerte (28).
2. El aparato de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
 - 15 una fuente de suministro de agente de sustentación (22) conectada para suministrar agente de sustentación a la corriente de fluido de fracturación desde la fuente de fluido de fracturación (16), controlándose la fuente de suministro de agente de sustentación (22) mediante el controlador (32).
3. El aparato de la reivindicación 2, que comprende adicionalmente una fuente de suministro de agente gelificante (30) conectada para suministrar agente gelificante a la corriente de fluido de fracturación desde la fuente de fluido de fracturación (16), controlándose la fuente de suministro de agente gelificante (30) mediante el controlador (32).
 - 20 4. El aparato de las reivindicaciones 2 o 3, en el que la fuente de suministro de agente de sustentación (22) comprende una bomba (50) para bombear en la corriente de fluido de fracturación un fluido de fracturación mezclado con agente de sustentación.
5. El aparato de la reivindicación 4, en el que la bomba (50) está precedida de una válvula de control (84, 86) para evitar el reflujo de fluido.
 - 25 6. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que un suministro de fluido de fracturación (87) está conectado a la fuente de suministro de agente de sustentación (22) para humedecer el agente de sustentación en la fuente de suministro de agente de sustentación (22).
7. El aparato de la reivindicación 6, en el que el suministro de fluido de fracturación (87) conectado a la fuente de suministro de agente de sustentación (22) comprende hidrocarburos C5, C6 y C7.
 - 30 8. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, en el que la fuente de suministro de agente de sustentación (22) comprende un recipiente de presión positiva (88).
9. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, en el que la fuente de gas inerte (28) está conectada para suministrar gas inerte a la fuente de suministro de agente de sustentación (22).
 - 35 10. El aparato de la reivindicación 9, en el que la fuente de suministro de agente de sustentación (22) comprende gas licuado de petróleo mezclado con agente de sustentación.
11. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 10, en el que la fuente de suministro de agente de sustentación (22) comprende al menos una válvula (84, 86) para evitar el reflujo procedente de la corriente de fluido de fracturación.
 - 40 12. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 11, en el que la fuente de fluido de fracturación (16) está conectada para suministrar fluido de fracturación a la fuente de suministro de agente de sustentación (22).
13. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 12, en el que la fuente de suministro de agente de sustentación (22) comprende un tornillo sinfín (58) en cooperación con una bomba (50) para suministrar agente de sustentación a la corriente de fluido de fracturación.
 - 45 14. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 13, en el que la fuente de suministro de agente de sustentación (22) comprende adicionalmente uno o más sensores de carga que están conectados para enviar como salida al controlador (32) unas señales que indican la cantidad de agente de sustentación en la fuente de suministro de agente de sustentación (22).
15. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en el que la fuente de fluido de fracturación (16) comprende un depósito aislado (88).
 - 50 16. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, en el que el suministro de gas inerte (28) está conectado para suministrar gas inerte a la fuente de fluido de fracturación (16) para ayudar a impulsar la corriente de fluido de fracturación.

17. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, que comprende adicionalmente un orificio de ventilación (34) que está conectado para suministrar la corriente de fluido de fracturación a un quemador de gas residual (38), controlándose el suministro de fluido de fracturación al quemador de gas residual (38) a través del orificio de ventilación (34) mediante el controlador (32).

5 18. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, en el que el gas inerte está conectado para suministrar gas inerte a la bomba de presión de fracturación (10, 110).

10 19. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en el que la fuente de gas inerte (28) está conectada para suministrar gas inerte a la corriente de fluido de fracturación y al pozo (14, 146) después de la bomba de presión de fracturación (10, 110).



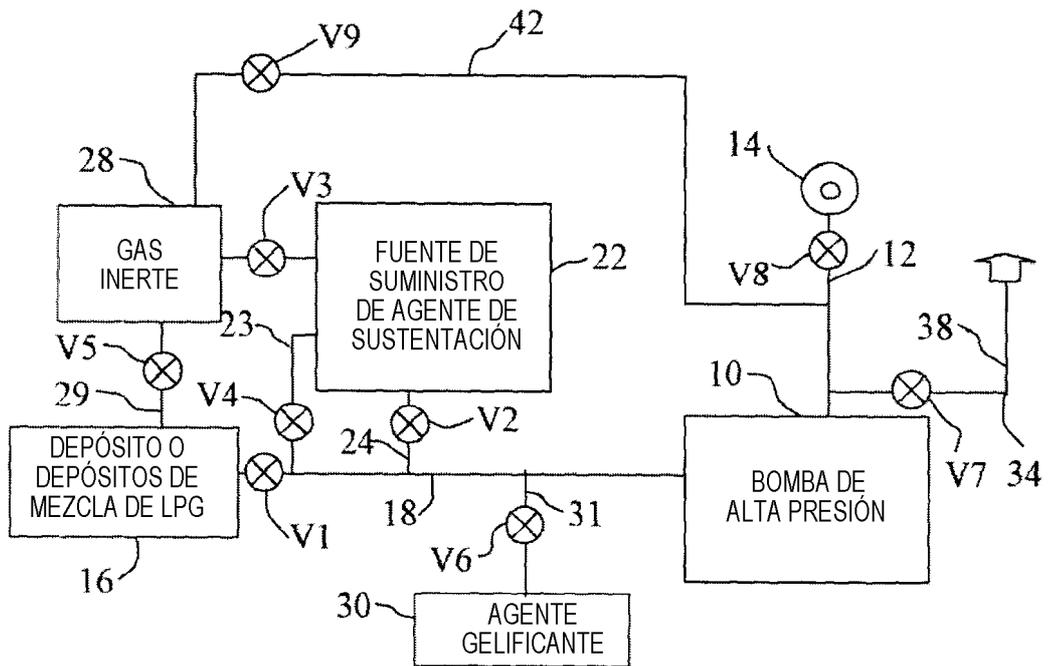


FIG. 3

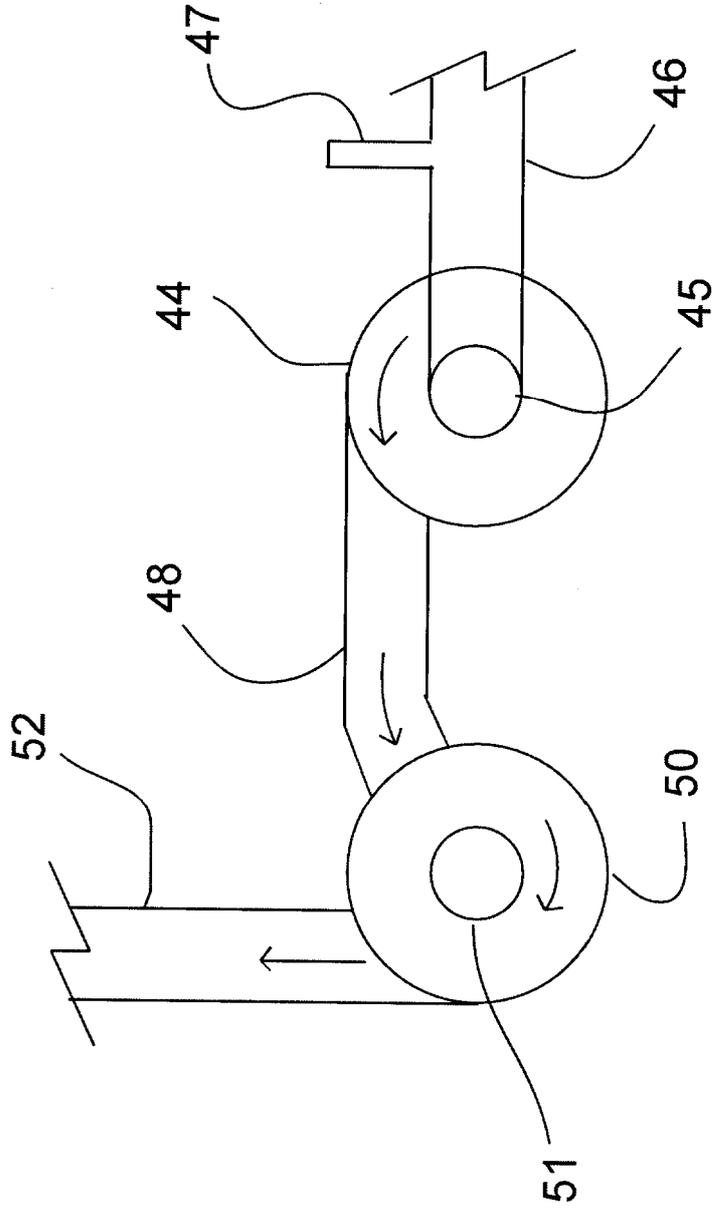


FIG. 4

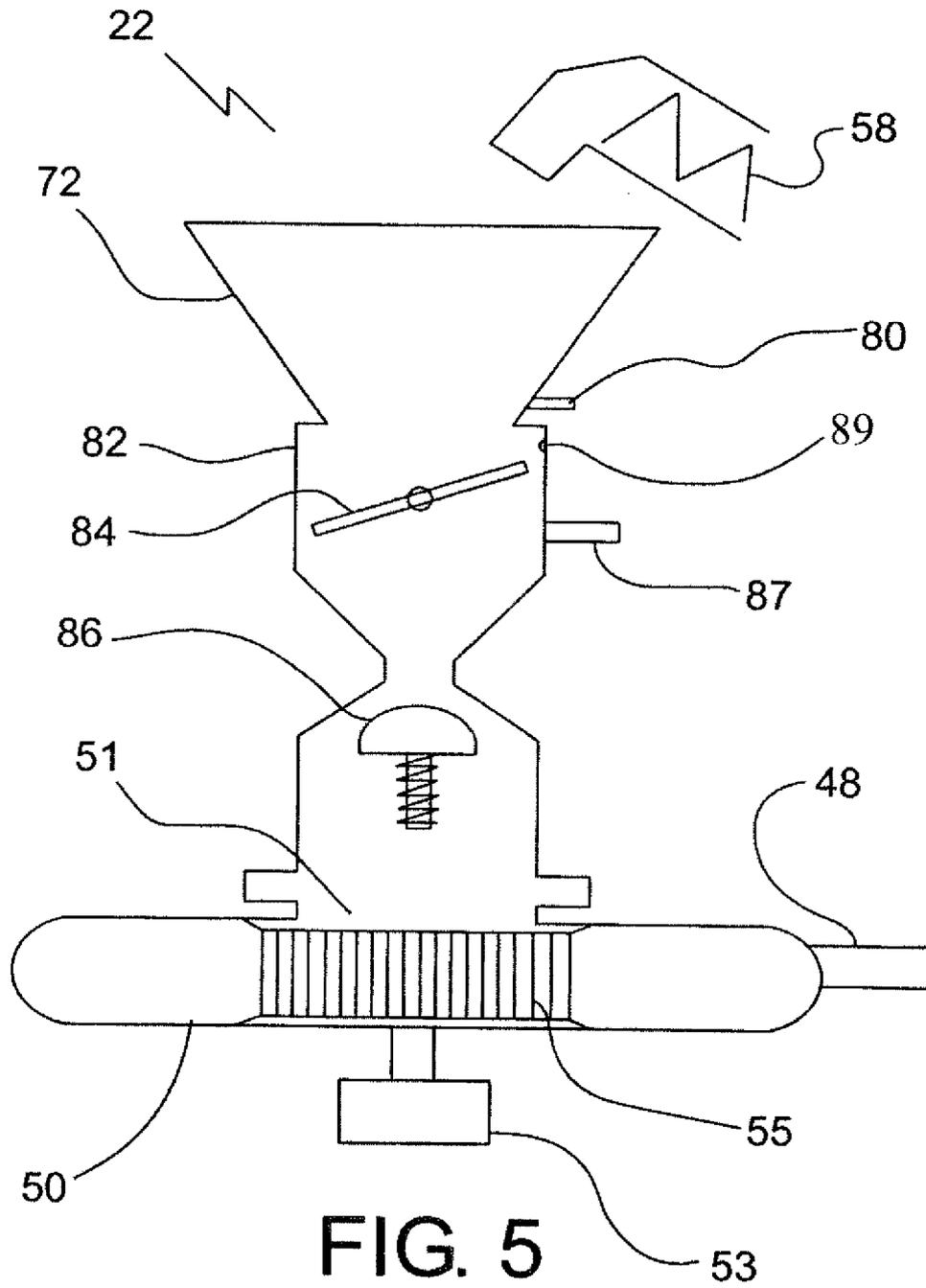


FIG. 5

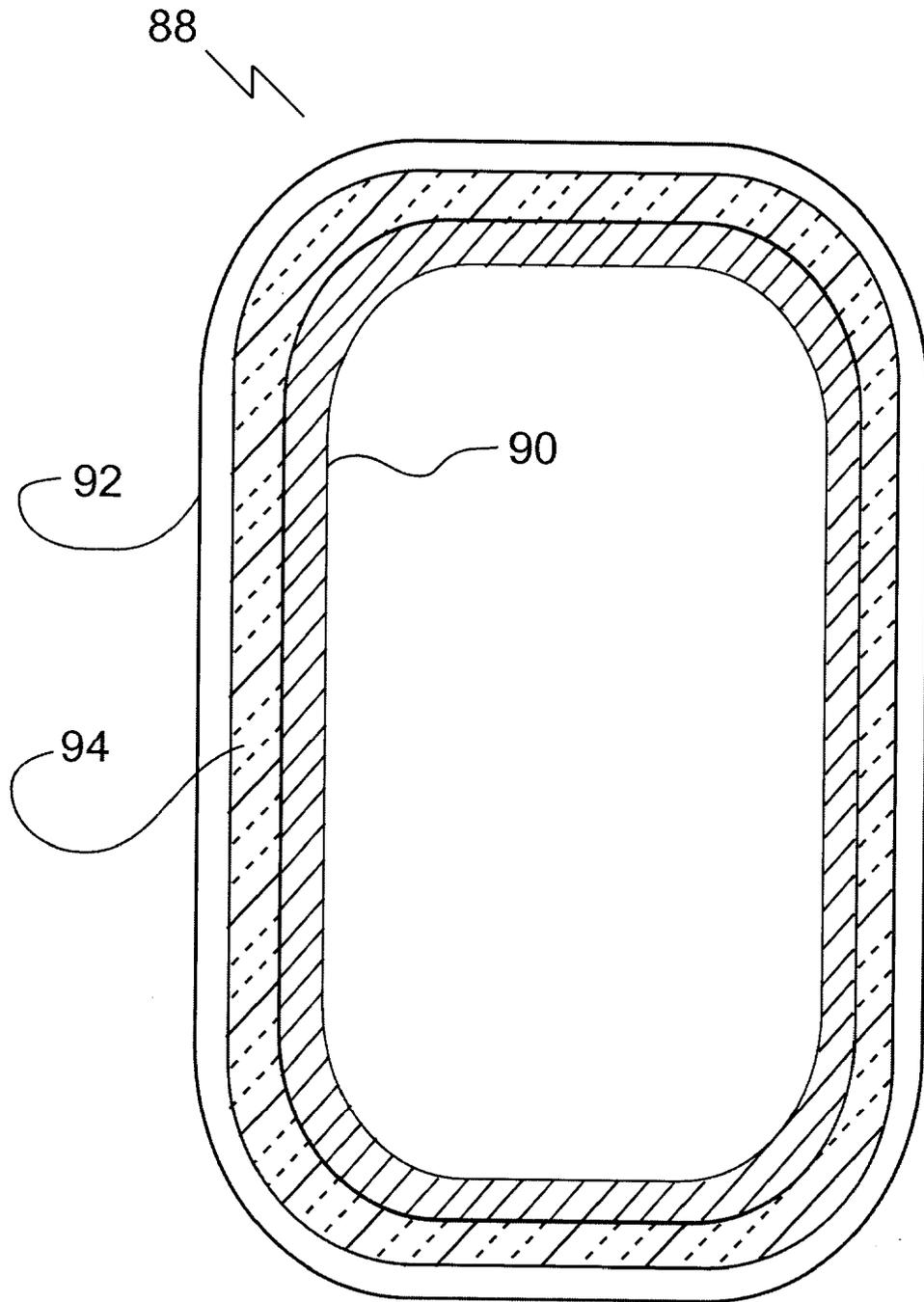


FIG. 6

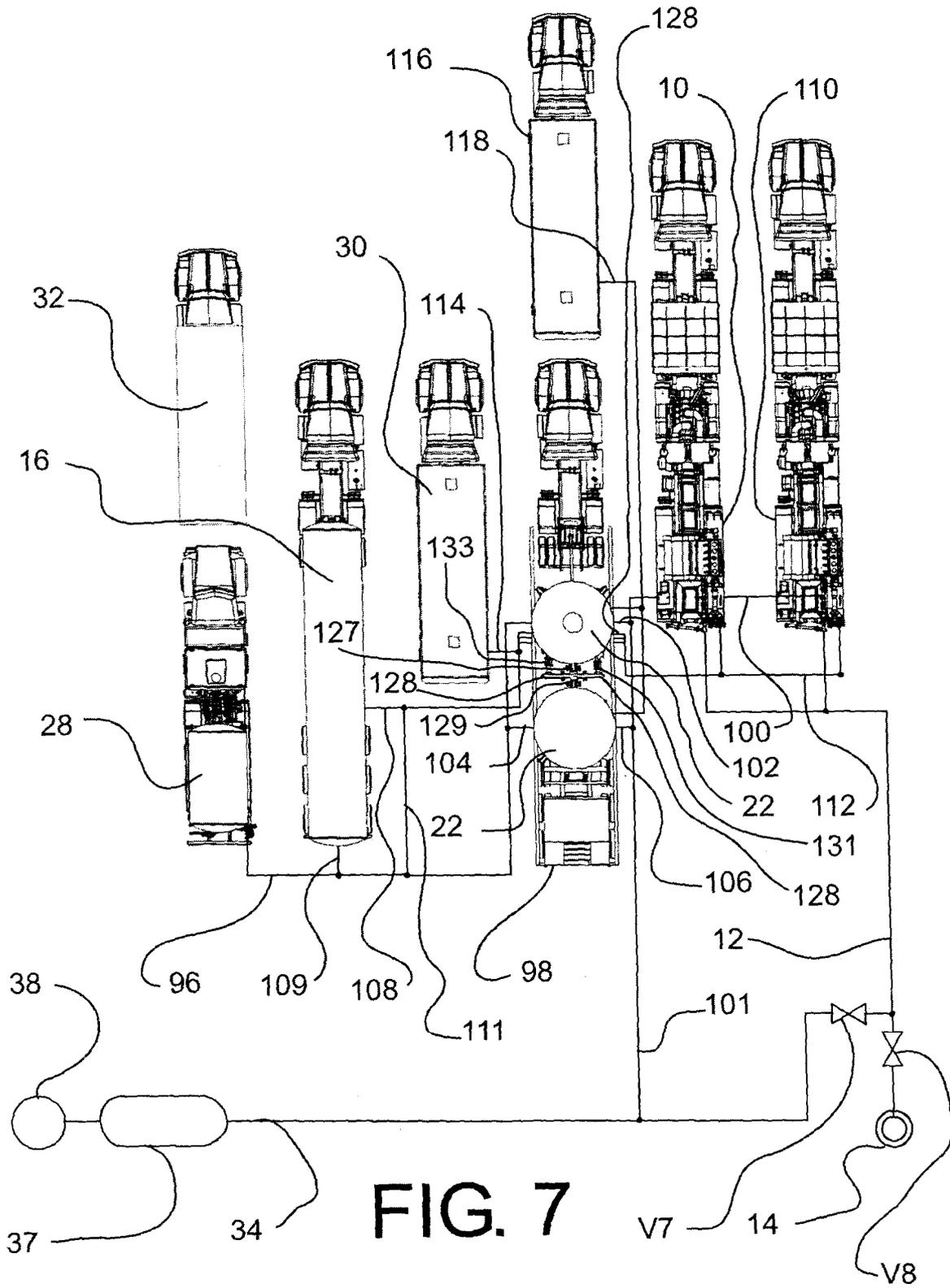
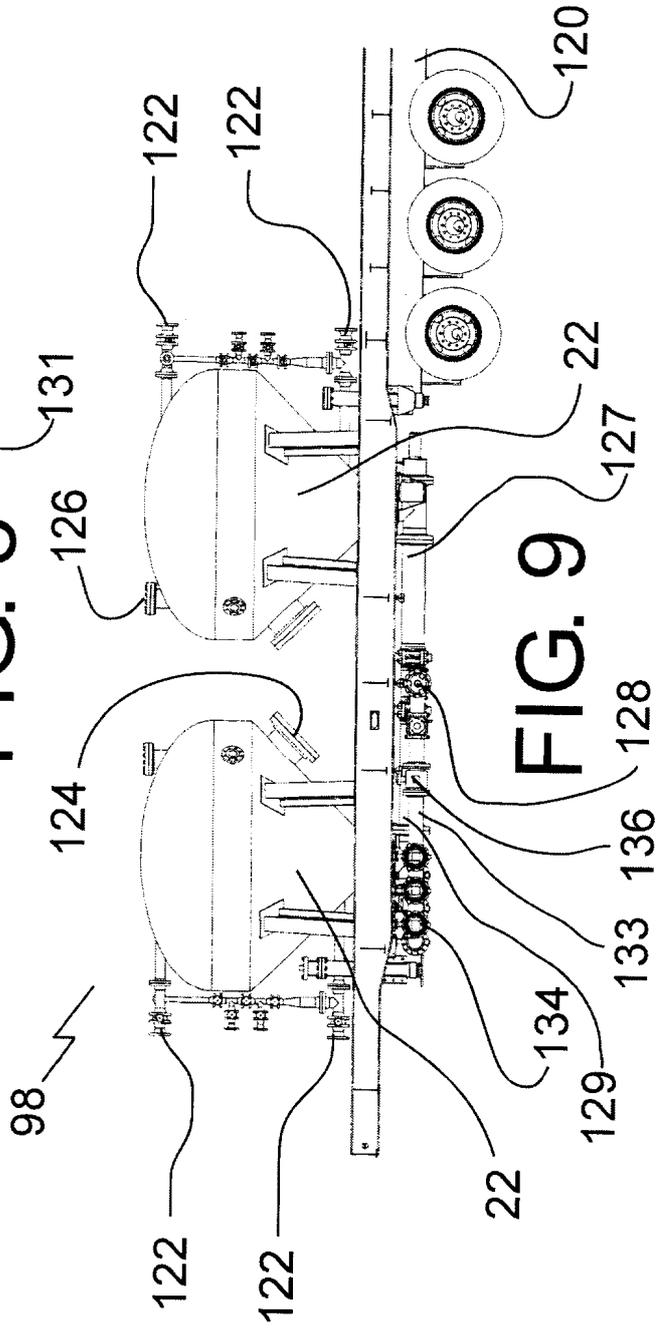
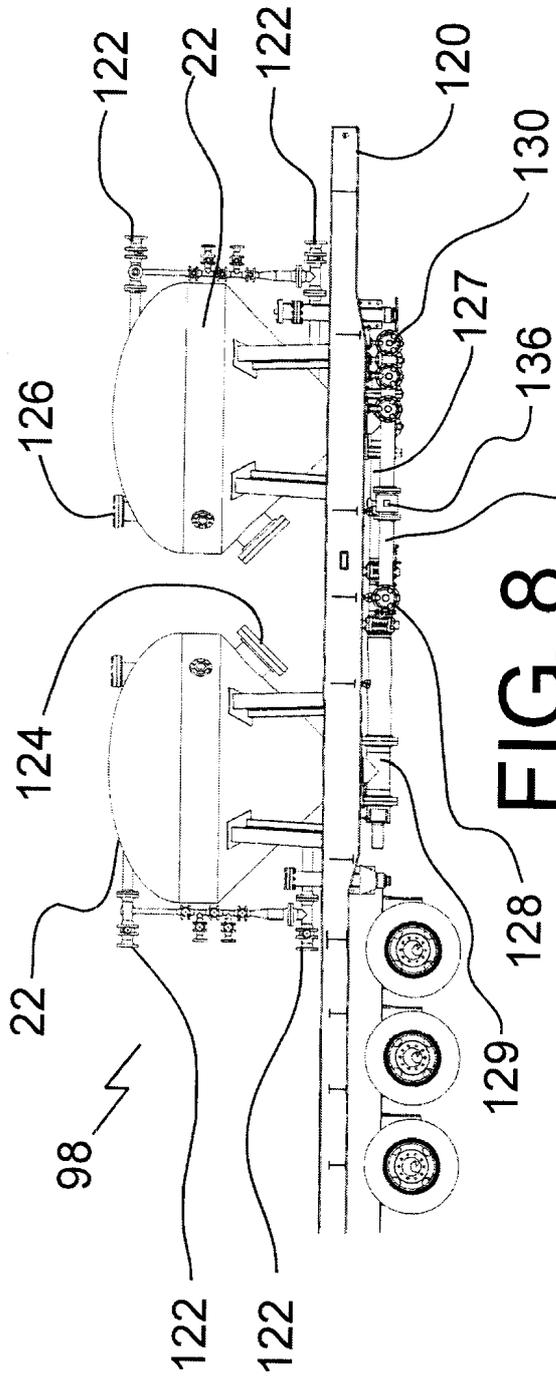


FIG. 7



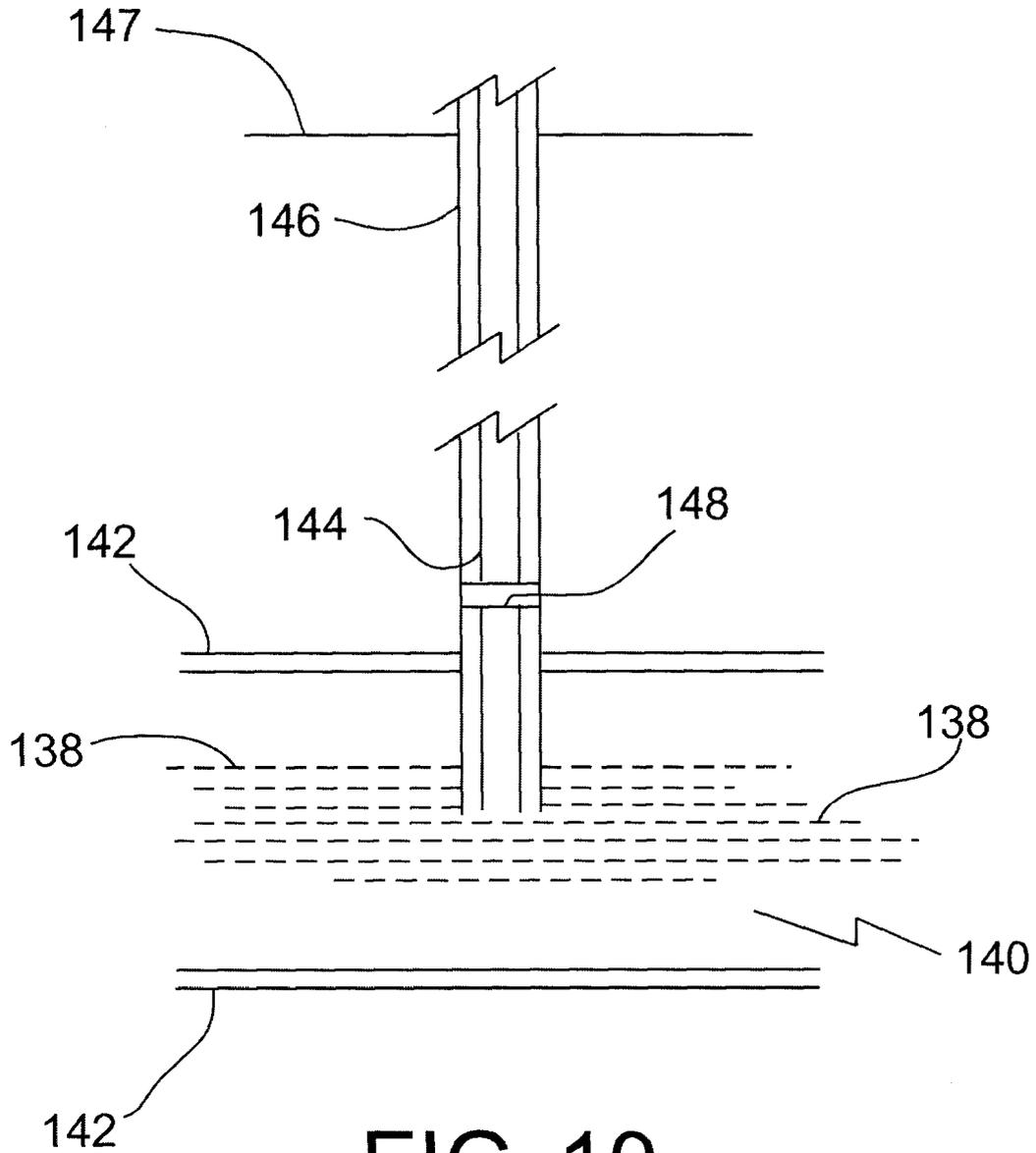


FIG. 10