

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 003 869**

51 Int. Cl.:

**E21B 43/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.10.2013 PCT/CA2013/000845**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.04.2014 WO14053056**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.10.2013 E 13843467 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2024 EP 2904200**

54 Título: **Sistema móvil, modular, alimentado eléctricamente para su uso en la fracturación de formaciones subterráneas usando gas licuado de petróleo**

30 Prioridad:

**05.10.2012 US 201261710393 P**  
**14.03.2013 US 201313804906**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.03.2025**

73 Titular/es:

**TYPHON TECHNOLOGY SOLUTIONS, LLC**  
**(100.00%)**  
**3 Hughes Landing 1780 Hughes Landing Blvd.,**  
**Suite 100**  
**The Woodlands, TX 77380, US**

72 Inventor/es:

**COLI, TODD y**  
**SCHELSKE, ELDON**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 3 003 869 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 móvil, modular, alimentado eléctricamente para su uso en la fracturación de formaciones subterráneas usando gas licuado de petróleo

**Antecedentes**

5 **1. Campo de la invención**

Esta invención se refiere en general a la estimulación hidráulica de formaciones subterráneas que contienen hidrocarburos, y más particularmente, a la generación y uso de energía eléctrica para suministrar fluido de fracturación a un pozo.

**2. Descripción de la técnica relacionada**

10 Durante el ciclo de vida de un típico pozo de producción de hidrocarburos, se pueden suministrar diversos fluidos (junto con aditivos, agentes de apuntalamiento, geles, cemento, etc.) al pozo bajo presión e inyectarse en el pozo. Los sistemas de bombeo de superficie deben ser capaces de acomodar estos diversos fluidos. Tales sistemas de bombeo se movilizan típicamente sobre patines o tractores con remolques y se alimentan usando motores diésel.

15 Los avances tecnológicos han mejorado en gran medida la capacidad de identificar y recuperar recursos de petróleo y gas no convencionales. Notablemente, la perforación horizontal y la fracturación en múltiples etapas han llevado a la aparición de nuevas oportunidades para la producción de gas natural a partir de formaciones de esquistos. Por ejemplo, se han descrito más de veinte intervalos fracturados en un único pozo horizontal en una formación de gas natural compacta. Sin embargo, se requieren operaciones de fracturación significativas para recuperar estos recursos.

20 Actualmente, las oportunidades de recuperación de gas natural contempladas requieren una infraestructura operativa considerable, incluyendo grandes inversiones en equipo de fracturación y personal relacionado. Notablemente, las bombas de fluido estándar requieren grandes volúmenes de combustible diésel y frecuentes programas de mantenimiento de equipos. De forma típica, cada bomba de fluido está alojada en una configuración dedicada de camión y remolque. Con operaciones de fracturación promedio que requieren hasta cincuenta bombas de fluido, el área en el emplazamiento, o "espacio ocupado", que se requiere para acomodar estas operaciones de fracturación es enorme. Como resultado, la infraestructura operativa requerida para soportar estas operaciones de fracturación es extensa. Sería deseable una mayor eficiencia operativa en la recuperación de gas natural.

El documento US 2007/204991 A1 se refiere a un sistema de fracturación de gas licuado del petróleo.

El documento US 2012/085541 A1 se refiere a la fracturación hidráulica de pozos de petróleo y gas.

30 El documento US 2008/267785 A1 se refiere a aparatos de plataforma de perforación (máquinas, dispositivos, aparatos, sistemas) con un eje accionado por un motor de CA conectado directamente al eje accionado sin el uso de reducciones de engranajes intermedias o multiplicadores de par; sistemas de bomba de fluido de perforación usados en la perforación de pozos en la tierra; y a métodos de uso de tales aparatos y sistemas.

El documento US 2010/310384 A1 se refiere al equipo de mantenimiento de pozos y a los métodos de mantenimiento de un pozo.

35 El documento US 2007/201305 A1 se refiere a operaciones en el pozo.

40 Cuando se planifican grandes operaciones de fracturación, una preocupación logística importante es la disponibilidad de combustible diésel. Los excesivos volúmenes de combustible diésel requeridos necesitan un transporte constante de camiones cisterna hacia el emplazamiento, y dan como resultado significativas emisiones de dióxido de carbono. Otros han intentado disminuir el consumo y las emisiones de combustible haciendo funcionar motores de grandes bombas con "Bi-combustible", mezclar gas natural y combustible diésel, pero con un éxito limitado. Además, los intentos de disminuir el número de personal en el emplazamiento mediante la implementación de monitorización remota y control operativo no han tenido éxito, ya que aún se requiere personal en el emplazamiento para transportar el equipo y el combustible hacia y desde el emplazamiento.

45 La invención se describe en las reivindicaciones independientes. Las implementaciones preferidas de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes. En el presente documento se proporcionan diversas formas de realización ilustrativas de un sistema y método para la estimulación hidráulica de formaciones subterráneas que contienen hidrocarburos. Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para suministrar fluido de fracturación a un pozo de perforación según la reivindicación independiente 1.

50 En ciertas formas de realización ilustrativas, la fuente dedicada de energía eléctrica es un generador de turbina. Puede estar prevista una fuente de gas natural, accionando el gas natural el generador de turbina en la generación de energía eléctrica. Por ejemplo, el gas natural puede proporcionarse mediante una tubería, o el gas natural producido en el emplazamiento. También se pueden proporcionar combustibles líquidos tales como condensado para accionar el generador de turbina.

En ciertas formas de realización ilustrativas, el motor eléctrico puede ser un motor de imán permanente de CA y/o un motor de velocidad variable. El motor eléctrico puede ser capaz de funcionar en el intervalo de hasta 1 500 rpm y hasta 27 116,36 Nm (20 000 pies/lb) de par. La bomba puede ser una bomba de fluido de tipo émbolo triple o quintuple.

5 En ciertas formas de realización ilustrativas, el método puede comprender adicionalmente las etapas de: proporcionar un módulo mezclador eléctrico continuo y/o asociado operativamente con la bomba de fluido, comprendiendo el módulo mezclador: una fuente de fluido, una fuente de aditivo de fluido y una cubeta mezcladora centrífuga, y suministrar energía eléctrica desde la fuente dedicada al módulo mezclador para efectuar la mezcla del fluido con aditivos de fluido para generar el fluido de tratamiento.

10 Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un sistema para su uso en el suministro de fluido presurizado a un pozo de perforación según la reivindicación independiente 3.

15 En ciertas formas de realización ilustrativas, la fuente de fluido de tratamiento puede comprender un módulo mezclador alimentado eléctricamente asociado operativamente con la fuente dedicada de electricidad. El sistema puede comprender además un remolque de fracturación en el emplazamiento del pozo para alojar uno o más módulos de fracturación. Cada módulo de fracturación puede adaptarse para su montaje de forma desmontable en el remolque. El sistema puede comprender además un módulo de bombeo de sustitución que comprende una bomba y un motor eléctrico, estando adaptado el módulo de bombeo de sustitución para su montaje de forma desmontable en el remolque. En ciertas formas de realización ilustrativas, el módulo de bombeo de sustitución puede ser un módulo de bombeo de nitrógeno, o un módulo de bombeo de dióxido de carbono. El módulo de bombeo de sustitución puede ser, por ejemplo, un motor de alto par, de baja velocidad o un motor de bajo par, de alta velocidad.

20 Según otro aspecto de la materia objeto descrita, se proporciona un módulo de fracturación para su uso en el suministro de fluido presurizado a un pozo. El módulo de fracturación puede comprender: un motor de imán permanente de CA capaz de funcionar en el intervalo de hasta 1 500 rpm y hasta 27 116,36 Nm (20 000 pies/lb) de par; y una bomba de fluido de tipo émbolo acoplada al motor.

25 Según otro aspecto de la materia objeto descrita, se proporciona un método de mezcla de un fluido de fracturación para su suministro a un pozo que se va a fracturar. Se puede proporcionar una fuente dedicada de energía eléctrica en un emplazamiento que contiene un pozo a fracturar. Al menos un módulo mezclador eléctrico puede estar provisto en el emplazamiento. El módulo mezclador eléctrico puede incluir una fuente de fluido, una fuente de aditivo de fluido y una cubeta de mezclado. La energía eléctrica puede suministrarse desde la fuente dedicada al módulo mezclador eléctrico para efectuar la mezcla de un fluido de la fuente de fluido con un aditivo de fluido de la fuente de aditivo de fluido para generar el fluido de fracturación. La fuente dedicada de energía eléctrica puede ser un generador de turbina. Puede estar prevista una fuente de gas natural, en donde el gas natural se usa para accionar el generador de turbina en la producción de energía eléctrica. El fluido de la fuente de fluido puede mezclarse con el aditivo de fluido de la fuente de aditivo de fluido en la cubeta de mezclado. El módulo mezclador eléctrico también puede incluir al menos un motor eléctrico que está asociado operativamente con la fuente dedicada de energía eléctrica y que efectúa la mezcla del fluido de la fuente de fluido con el aditivo de fluido de la fuente de aditivo de fluido.

35 En ciertas formas de realización ilustrativas, el módulo mezclador eléctrico puede incluir un primer motor eléctrico y un segundo motor eléctrico, cada uno de los cuales está asociado operativamente con la fuente dedicada de energía eléctrica. El primer motor eléctrico puede efectuar el suministro del fluido desde la fuente de fluido a la cubeta de mezclado. El segundo motor eléctrico puede efectuar la mezcla del fluido de la fuente de fluido con el aditivo de fluido de la fuente de aditivo de fluido en la cubeta de mezclado. En ciertas formas de realización ilustrativas, también puede estar presente un tercer motor eléctrico opcional, que también puede estar asociado operativamente con la fuente dedicada de energía eléctrica. El tercer motor eléctrico puede efectuar el suministro del aditivo de fluido desde la fuente de aditivo de fluido a la cubeta de mezclado.

45 En ciertas formas de realización ilustrativas, el módulo mezclador eléctrico puede incluir una primera unidad mezcladora y una segunda unidad mezcladora, dispuesta cada una adyacente a la otra en el módulo mezclador y cada una capaz de funcionar independientemente, o colectivamente capaz de funcionar cooperativamente, según se desee. Cada una de la primera unidad mezcladora y la segunda unidad mezcladora puede incluir una fuente de fluido, una fuente de aditivo de fluido y una cubeta de mezclado. Cada una de la primera unidad mezcladora y la segunda unidad mezcladora puede tener al menos un motor eléctrico que está asociado operativamente con la fuente dedicada de energía eléctrica y que efectúa la mezcla del fluido de la fuente de fluido con el aditivo de fluido de la fuente de aditivo de fluido. De forma alternativa, cada una de la primera unidad mezcladora y la segunda unidad mezcladora puede tener un primer motor eléctrico y un segundo motor eléctrico, ambos asociados operativamente con la fuente dedicada de energía eléctrica, donde el primer motor eléctrico efectúa el suministro del fluido desde la fuente de fluido a la cubeta de mezclado y el segundo motor eléctrico efectúa la mezcla del fluido desde la fuente de fluido con el aditivo de fluido desde la fuente de aditivo de fluido en la cubeta de mezclado. En ciertas formas de realización ilustrativas, cada una de la primera unidad mezcladora y la segunda unidad mezcladora también puede tener un tercer motor eléctrico asociado operativamente con la fuente dedicada de energía eléctrica, donde el tercer motor eléctrico efectúa el suministro del aditivo de fluido desde la fuente de aditivo de fluido a la cubeta de mezclado.

Según otro aspecto de la materia objeto descrita, se proporciona un módulo mezclador eléctrico para su uso en el

5 suministro de un fluido de fracturación mezclado a un pozo. El módulo mezclador eléctrico puede incluir una primera  
 10 unidad mezcladora accionada eléctricamente y un primer colector de entrada acoplado a la primera unidad mezcladora  
 15 accionada eléctricamente y capaz de suministrar un fluido de fracturación no mezclado a la misma. Un primer colector  
 de salida puede estar acoplado a la primera unidad mezcladora accionada eléctricamente y puede ser capaz de  
 suministrar el fluido de fracturación mezclado lejos de la misma. Se puede proporcionar una segunda unidad  
 mezcladora accionada eléctricamente. Un segundo colector de entrada puede estar acoplado a la segunda unidad  
 mezcladora accionada eléctricamente y puede suministrar el fluido de fracturación no mezclado a la misma. Un  
 segundo colector de salida puede estar acoplado a la segunda unidad mezcladora accionada eléctricamente y puede  
 ser capaz de suministrar el fluido de fracturación mezclado lejos de la misma. Una línea de cruce de entrada puede  
 estar acoplada tanto al primer colector de entrada como al segundo colector de entrada y puede ser capaz de  
 suministrar el fluido de fracturación no mezclado entre ellos. Una línea de cruce de salida puede estar acoplada tanto  
 al primer colector de salida como al segundo colector de salida y puede ser capaz de suministrar el fluido de  
 fracturación mezclado entre ellos. Se puede proporcionar un patín para alojar la primera unidad mezcladora accionada  
 eléctricamente, el primer colector de entrada, la segunda unidad mezcladora accionada eléctricamente y el segundo  
 colector de entrada.

Otros aspectos y características de la presente invención resultarán evidentes para los expertos en la técnica tras la  
 revisión de la siguiente descripción detallada junto con las figuras adjuntas.

**Breve descripción de los dibujos**

20 Se puede obtener una mejor comprensión de la materia objeto desvelada en el presente documento cuando se  
 considera la siguiente descripción detallada junto con los siguientes dibujos, donde:

La Figura 1 es una vista esquemática en planta de un emplazamiento de fracturación tradicional;

La Figura 2 es una vista esquemática en planta de un emplazamiento de fracturación según ciertas formas de  
 realización ilustrativas descritas en el presente documento;

25 La Figura 3 es una vista esquemática en perspectiva de un remolque de fracturación según ciertas formas de  
 realización ilustrativas descritas en el presente documento;

La Figura 4A es una vista esquemática en perspectiva de un módulo de fracturación según ciertas formas de  
 realización ilustrativas descritas en el presente documento;

La Figura 4B es una vista esquemática en perspectiva de un módulo de fracturación con personal de mantenimiento  
 según ciertas formas de realización ilustrativas descritas en el presente documento;

30 La Figura 5A es una vista lateral esquemática de un módulo mezclador según ciertas formas de realización  
 ilustrativas descritas en la presente memoria;

La figura 5B es una vista desde un extremo del módulo mezclador mostrado en la figura 4A;

La Figura 5C es una vista superior esquemática de un módulo mezclador según ciertas formas de realización  
 ilustrativas descritas en el presente documento;

35 La figura 5D es una vista lateral esquemática del módulo mezclador mostrado en la figura 5C;

La figura 5E es una vista en perspectiva esquemática del módulo mezclador mostrado en la figura 5C;

La Figura 6 es una vista superior esquemática de un colector de entrada para un módulo mezclador según ciertas  
 formas de realización ilustrativas descritas en el presente documento; y

40 La Figura 7 es una vista superior esquemática de un colector de salida para un módulo mezclador según ciertas  
 formas de realización ilustrativas descritas en el presente documento.

**Descripción detallada**

La materia objeto descrita en el presente documento se refiere en general a un sistema de fracturación alimentado  
 eléctricamente y a un sistema y método para proporcionar energía eléctrica in situ y suministrar fluido de fracturación  
 a un pozo en una operación de fracturación.

45 En una operación de fracturación convencional, se inyecta una "suspensión" de fluidos y aditivos en una formación  
 rocosa con hidrocarburos en un pozo para propagar la fracturación. Los fluidos a baja presión se mezclan con  
 productos químicos, arena y, si es necesario, ácido, y después se transfieren a presión media y alta velocidad a partes  
 verticales y/o desviadas del pozo por medio de múltiples bombas de émbolo de alta presión accionadas por motores  
 50 primarios alimentados con combustible diésel. La mayoría de los fluidos inyectados volverán a fluir nuevamente a  
 través del pozo y se recuperarán, mientras que la arena permanecerá en la fractura recién creada, por lo que se  
 "apuntala" para abrirla y se proporciona una membrana permeable para que los fluidos de hidrocarburos y los gases

fluyan a través de la misma para que puedan recuperarse.

Según las formas de realización ilustrativas descritas en el presente documento, el gas natural (suministrado al emplazamiento o producido en el emplazamiento) puede usarse para accionar una fuente dedicada de energía eléctrica, tal como un generador de turbina, para las terminaciones de pozos de perforación productores de hidrocarburos. Se proporciona una flota de fracturación dimensionable, alimentada eléctricamente para suministrar fluido de tratamiento presurizado, tal como fluido de fracturación, a un pozo en una operación de fracturación, obviando la necesidad de un suministro constante de combustible diésel al emplazamiento y reduciendo el espacio ocupado y la infraestructura del emplazamiento requeridas para la operación de fracturación, en comparación con operaciones convencionales. En ciertas formas de realización ilustrativas, el fluido de tratamiento proporcionado para el suministro presurizado al pozo puede ser continuo con el pozo y con uno o más componentes de la flota de fracturación. En estas formas de realización, continuo significa generalmente que la hidrodinámica en el fondo del pozo depende del flujo (caudal y presión) constante de los fluidos suministrados, y que no debe haber ninguna interrupción en el flujo de fluido durante el suministro al pozo si la fractura se va a propagar como se desea. Sin embargo, no debe interpretarse que significa que las operaciones de la flota de fracturación generalmente no se pueden detener e iniciar, como entendería un experto en la técnica. En ciertas formas de realización ilustrativas, el fluido de tratamiento puede comprender un fluido de fracturación a base de agua. En otras formas de realización ilustrativas, el fluido de tratamiento puede comprender un fluido de fracturación de gas licuado de petróleo (GLP) sin agua, cuyo uso conserva agua y puede reducir el daño de formación causado por la introducción de agua en el pozo. En ciertas formas de realización ilustrativas, el gas licuado del petróleo puede comprender uno o más gases del grupo que consiste en propano, butano, propileno y butileno. En otras formas de realización ilustrativas, el fluido de tratamiento puede comprender adecuadamente, consistir en o consistir esencialmente en: agua gelificada lineal que incluye, pero no se limita a, guar, guar de hidroxipropilo ("HPG") y/o guar de carboximetilhidroxipropilo ("CMHPG"), agua gelificada que incluye, pero no se limita a, guar/borato, HPG borato, guar/circonio, HPG/circonio y/o CMHPG/circonio, aceite gelificado, agua aceitosa, aceite aceitoso, poliemulsión, espuma/emulsión que incluye, pero no se limita a, espuma de N<sub>2</sub>, viscoelástica y/o emulsión de CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> líquido, N<sub>2</sub>, fluido binario (CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>) y/o ácido.

Con referencia a la Figura 1, se muestra un plan de emplazamiento para una operación de fracturación tradicional en un emplazamiento en tierra firme. Se proporcionan múltiples remolques 5, cada uno de los cuales tiene al menos un depósito de diésel montado o dispuesto de otro modo en el mismo. Cada remolque 5 está unido a un camión 6 para permitir el reabastecimiento de los depósitos de diésel según se requiera. Los camiones 6 y los remolques 5 están situados dentro de la región A en el emplazamiento de fracturación. Cada camión 6 requiere un operario dedicado. Uno o más motores primarios son alimentados por el diésel y se usan para alimentar la operación de fracturación. Se proporcionan uno o más patines 7 de manipulación de productos químicos separados para alojar depósitos de mezcla y equipos relacionados.

Con referencia a la Figura 2, se muestra una forma de realización ilustrativa de un plan de emplazamiento para una operación de fracturación alimentada eléctricamente en un emplazamiento en tierra firme. La operación de fracturación incluye uno o más remolques 10, cada uno alojando uno o más módulos de fracturación 20 (véase la Figura 3). Los remolques 10 están situados en la región B en el emplazamiento de fracturación. Uno o más generadores de turbina 30 accionados por gas natural están ubicados en la región C en el emplazamiento, que está ubicado a una distancia D remota de la región B donde están ubicados los remolques 10 y los módulos de fracturación 20, por razones de seguridad. Los generadores de turbina 30 sustituyen a los motores primarios diésel utilizados en el plano de emplazamiento de la Figura 1. Los generadores de turbina 30 proporcionan una fuente dedicada de energía eléctrica en el emplazamiento. Existe preferiblemente una separación física entre la generación de energía basada en gas natural en la región C y la operación de fracturación y el pozo ubicado en la región B. La generación de energía basada en gas natural puede requerir precauciones de seguridad mayores que la operación de fracturación y la cabeza de pozo. Por consiguiente, pueden tomarse medidas de seguridad en la región C para limitar el acceso a esta localización más peligrosa, mientras se mantienen normas de seguridad separadas en la región B donde se encuentra normalmente la mayoría del personal del emplazamiento. Además, el suministro de electricidad alimentado por gas natural puede ser supervisado y regulado a distancia de tal manera que, si se desea, no se requiere que el personal esté dentro de la región C durante la operación.

Notablemente, la configuración de la Figura 2 requiere significativamente menos infraestructura que la configuración mostrada en la Figura 1, mientras que proporciona una capacidad de bombeo comparable. En la región B de la Figura 2 hay presentes menos remolques 10 que los camiones 6 y remolques 5 en la región A de la Figura 1, debido a la falta de necesidad de un suministro constante de combustible diésel. Además, cada remolque 10 en la Figura 2 no necesita un camión 6 y un operador dedicados como en la Figura 1. Se requieren menos patines 7 de manipulación de productos químicos en la región B de la figura 2 que en la región A de la Figura 1, ya que los patines 7 en la Figura 2 pueden ser alimentados eléctricamente. Además, al retirar motores primarios diésel, se puede eliminar toda la maquinaria asociada necesaria para la transferencia de potencia, tal como la transmisión, el convertidor de par, el embrague, el árbol de accionamiento, el sistema hidráulico, etc. y se reduce significativamente la necesidad de sistemas de refrigeración, incluyendo bombas y fluidos circulantes. En una forma de realización ilustrativa, el espacio ocupado del área en el emplazamiento en la región B de la Figura 2 es aproximadamente un 80 % menor que el espacio ocupado para el sistema convencional en la región A de la Figura 1.

Con referencia a las formas de realización ilustrativas de la Figura 3, se muestra el remolque 10 para alojar uno o más

módulos de fracturación 20. El remolque 10 también puede ser un patín, en ciertas formas de realización ilustrativas. Cada módulo de fracturación 20 puede incluir un motor eléctrico 21 y una bomba de fluido 22 acoplada al mismo. Durante la fracturación, el módulo de fracturación 20 está asociado operativamente con el generador de turbina 30 para recibir energía eléctrica del mismo. En ciertas formas de realización ilustrativas, una pluralidad de motores eléctricos 21 y bombas 22 pueden transportarse en un único remolque 10. En las formas de realización ilustrativas de la Figura 3, cuatro motores eléctricos 21 y bombas 22 se transportan en un solo remolque 10. Cada motor eléctrico 21 está emparejado con una bomba 22 como un único módulo de fracturación 20. Cada módulo de fracturación 20 puede montarse de manera extraíble en el remolque 10 para facilitar la sustitución según sea necesario. Los módulos de fracturación 20 utilizan energía eléctrica del generador de turbina 30 para bombear el fluido de fracturación directamente al pozo.

### Generación de energía eléctrica

El uso de una turbina para accionar directamente una bomba ha sido investigado previamente. En tales sistemas, se usa una transmisión para regular la potencia de la turbina a la bomba para permitir el control de la velocidad y del par. En la presente operación, se usa en su lugar el gas natural para accionar una fuente de energía dedicada en la producción de electricidad. En formas de realización ilustrativas, la fuente de energía dedicada es un generador de turbina en el emplazamiento. Se elimina la necesidad de una transmisión, y la electricidad generada puede usarse para alimentar los módulos de fracturación, mezcladores y otras operaciones in situ según sea necesario.

En el emplazamiento puede ser accesible la energía de red en ciertas operaciones de fracturación, pero se prefiere el uso de una fuente de energía dedicada. Durante el inicio de una operación de fracturación, se requieren enormes cantidades de energía de manera que el uso de energía de red no sería práctico. Los generadores alimentados por gas natural son más adecuados para esta aplicación en base a la probable disponibilidad de gas natural en el emplazamiento y la capacidad de los generadores de gas natural para producir grandes cantidades de energía. Notablemente, la posibilidad de ajustes instantáneos muy grandes en la potencia consumida de la red durante una operación de fracturación podría comprometer la estabilidad y fiabilidad del sistema de red de energía eléctrica. Por consiguiente, una fuente de electricidad generada en el emplazamiento y dedicada proporciona una solución más factible para alimentar un sistema de fracturación eléctrica. Además, se puede usar una operación dedicada en el emplazamiento para proporcionar energía para operar otro equipo local, incluyendo sistemas de tubería enrollada, plataformas de servicio, etc.

En una forma de realización ilustrativa, un único generador de turbina 30 alimentado por gas natural, tal como se aloja en un área restringida C de la Figura 2, puede generar suficiente energía (por ejemplo, 31 MW a 13 800 voltios de energía CA) para suministrar varios motores eléctricos 21 y bombas 22, evitando la necesidad actual de suministrar y hacer funcionar cada bomba de fluido desde un camión alimentado por diésel separado. Una turbina adecuada para este fin es un turbogenerador TM2500+ comercializado por General Electric. Otros paquetes de generación podrían ser suministrados por Pratt & Whitney o Kawasaki, por ejemplo. Hay disponibles múltiples opciones para la generación de energía de turbinas, dependiendo de la cantidad de electricidad requerida. En una forma de realización ilustrativa, también se pueden proporcionar combustibles líquidos tales como condensado para impulsar el generador de turbina 30 en lugar de, o además de, gas natural. El condensado es más barato que el combustible diésel, reduciendo así los costes operativos.

### Módulo de fracturación

Con referencia a las Figuras 4A y 4B, se proporciona una forma de realización ilustrativa del módulo de fracturación 20. El módulo de fracturación 20 puede incluir un motor eléctrico 21 acoplado a una o más bombas eléctricas 22, en ciertas formas de realización ilustrativas. Una bomba adecuada es una bomba de tipo émbolo quíntuple o triple, por ejemplo, la Well Service Pump SWGS-2500 vendida por Gardner Denver, Inc.

En ciertas formas de realización, el motor eléctrico 21 está asociado operativamente con el generador de turbina 30. Típicamente, cada módulo de fracturación 20 estará asociado con un alojamiento de accionamiento para controlar el motor eléctrico 21 y las bombas 22, así como un transformador eléctrico y una unidad de accionamiento 50 (véase la figura 3) para reducir el voltaje de la potencia desde el generador de turbina 30 a un voltaje apropiado para el motor eléctrico 21. En diversas formas de realización, el transformador eléctrico y la unidad de accionamiento 50 pueden proporcionarse como una unidad independiente para la asociación con el módulo de fracturación 20, o se pueden fijar permanentemente al remolque 10. Si está permanentemente fijos, entonces la unidad de transformador y accionamiento 50 se pueden dimensionar para permitir la adición o sustracción de bombas 22 u otros componentes para adaptarse a cualquier requisito operativo.

Cada bomba 22 y el motor eléctrico 21 son de naturaleza modular para simplificar la extracción y sustitución del módulo de fracturación 20 con fines de mantenimiento. La retirada de un único módulo de fracturación 20 del remolque 10 también se simplifica. Por ejemplo, se puede desconectar cualquier módulo de fracturación 20 y separar del remolque 10, y se puede instalar otro módulo de fracturación 20 en su lugar en cuestión de minutos.

En la forma de realización ilustrativa de la Figura 3, el remolque 10 puede alojar cuatro módulos de fracturación 20, junto con una unidad de transformador y accionamiento 50. En esta configuración particular, cada remolque 10

individual proporciona más capacidad de bombeo que cuatro de los remolques 5 de fracturación tradicionales alimentados por diésel de la Figura 1, ya que las pérdidas parásitas son mínimas en el sistema de fracturación eléctrica en comparación con las pérdidas parásitas típicas de los sistemas alimentados con combustible diésel. Por ejemplo, una bomba de fluido accionada por diésel convencional tiene 1 677,83 kW (2 250 hp). Sin embargo, debido a pérdidas parásitas en los sistemas de transmisión, convertidor de par y refrigeración, los sistemas alimentados con combustible diésel proporcionan típicamente sólo 1 342,26 kW (1800 hp) a las bombas. Por el contrario, el presente sistema puede suministrar 1 864,25 kW (2 500 hp) reales directamente a cada bomba 22 porque la bomba 22 está directamente acoplada al motor eléctrico 21. Además, el peso nominal de una bomba de fluido convencional es de hasta 54 431,084 kg (120 000 lb). En la presente operación, cada módulo de fracturación 20 pesa aproximadamente 12 700,59 kg (28 000 libras), permitiendo así la colocación de cuatro bombas 22 en la misma dimensión física (tamaño y peso) que el espacio necesario para una sola bomba en sistemas diésel convencionales, así como permitiendo un total de hasta 7 457,01 kW (10 000 hp) para las bombas. En otras formas de realización, pueden ubicarse más o menos módulos de fracturación 20 en el remolque 10 según se desee o requiera para fines operativos.

En ciertas formas de realización ilustrativas, el módulo de fracturación 20 puede incluir un motor eléctrico 21 que es un motor de imán permanente de CA capaz de funcionar en el intervalo de hasta 1 500 rpm y hasta 27 116,36 Nm (20 000 pies/los) de par. El módulo de fracturación 20 también puede incluir una bomba 22 que es una bomba de fluido de tipo émbolo acoplada al motor eléctrico 21. En ciertas formas de realización ilustrativas, el módulo de fracturación 20 puede tener dimensiones de aproximadamente 345,44 cm (136") de ancho x 274,32 cm (108") de largo x 254,00 cm (100") de alto. Estas dimensiones permitirían que el módulo de fracturación 20 sea fácilmente portátil y se ajuste a un contenedor intermodal ISO para fines de transporte sin la necesidad de desmontaje. Las longitudes de recipiente ISO de tamaño estándar son típicamente 6,10 m (20'), 12,19 m (40') o 16,15 m (53'). En ciertas formas de realización ilustrativas, el módulo de fracturación 20 puede tener dimensiones no mayores de 345,44 cm (136") de anchura x 274,32 cm (108") de longitud x 254,00 (100") de altura. Estas dimensiones para el módulo de fracturación 20 también permitirían que los miembros de la cuadrilla se ajusten fácilmente dentro de los confines del módulo de fracturación 20 para realizar reparaciones, como se ilustra en la Figura 4b. En ciertas formas de realización ilustrativas, el módulo de fracturación 20 puede tener una anchura no mayor de 259,08 cm (102") para caer dentro de las configuraciones de transporte y las restricciones de carretera. En una forma de realización específica, el módulo de fracturación 20 es capaz de funcionar a 1 864,25 kW (2 500 hp) mientras todavía tiene las dimensiones especificadas anteriormente y cumple las especificaciones mencionadas anteriormente para rpm y Nm (pies/lb) de par.

### Motor eléctrico

Con referencia a las formas de realización ilustrativas de las Figuras 2 y 3, un motor eléctrico 21 de imán permanente de CA de media baja tensión recibe energía eléctrica del generador de turbina 30, y se acopla directamente a la bomba 22. Para garantizar la idoneidad para su uso en la fracturación, el motor eléctrico 21 debe ser capaz de funcionar hasta 1 500 rpm con un par de torsión de hasta 27 116,36 Nm (20 000 pies/las), en determinadas formas de realización ilustrativas. Un motor adecuado para este propósito se vende bajo la marca comercial TeraTorq® y está disponible en Comprehensive Power, Inc. de Marlborough, Massachusetts. Un motor compacto de suficiente par permitirá maximizar el número de módulos de fracturación 20 colocados en cada remolque 10.

### Mezclador

Para una mayor eficiencia, los mezcladores convencionales alimentados con diésel y las unidades de adición de productos químicos pueden sustituirse por unidades mezcladoras alimentadas eléctricamente. En ciertas formas de realización ilustrativas como se describe en el presente documento, las unidades mezcladoras alimentadas eléctricamente pueden ser de naturaleza modular para alojar en el remolque 10 en lugar del módulo 20 de fracturación, o alojarse independientemente para su asociación con cada remolque 10. Una operación de mezcla eléctrica permite una mayor precisión y control de los aditivos de fluido de fracturación. Además, las cubetas de mezcla centrífugas usadas típicamente con remolques mezcladores para mezclar fluidos con agente de carga, arena, productos químicos, ácido, etc. antes de la entrega al pozo son una fuente común de costes de mantenimiento en las operaciones de fracturación tradicionales.

Con referencia a las Figuras 5A-5E y las Figuras 6-7, se proporcionan formas de realización ilustrativas de un módulo mezclador 40 y componentes del mismo. El módulo mezclador 40 puede estar asociado operativamente con el generador de turbina 30 y ser capaz de proporcionar fluido de fracturación a la bomba 22 para su suministro al pozo. En ciertas formas de realización, el módulo mezclador 40 puede incluir al menos una fuente de aditivo de fluido 44, al menos una fuente de fluido 48 y al menos una cubeta de mezclado centrífuga 46. La energía eléctrica puede ser suministrada desde el generador de turbina 30 al módulo mezclador 40 para efectuar la mezcla de un fluido de la fuente de fluido 48 con un aditivo de fluido de la fuente de aditivo de fluido 44 para generar el fluido de fracturación. En ciertas formas de realización, el fluido de la fuente de fluido 48 puede ser, por ejemplo, agua, aceites o mezclas de metanol, y el aditivo de fluido de la fuente 44 de aditivo de fluido puede ser, por ejemplo, reductores de fricción, gelificantes, rompedores de gelificante o biocidas.

En ciertas formas de realización ilustrativas, el módulo mezclador 40 puede tener una configuración doble, con una primera unidad mezcladora 47a y una segunda unidad mezcladora 47b situadas adyacentes entre sí. Esta configuración doble está diseñada para proporcionar redundancia y para facilitar el acceso para el mantenimiento y la

sustitución de componentes según sea necesario. En ciertas formas de realización, cada unidad mezcladora 47a y 47b puede tener sus propios motores de succión y de cubeta accionados eléctricamente dispuestos sobre la misma, y opcionalmente, se pueden utilizar otros motores accionados eléctricamente para funciones químicas adicionales y/u otras funciones operativas auxiliares, como se analiza adicionalmente en el presente documento.

5 Por ejemplo, en ciertas formas de realización ilustrativas, la primera unidad mezcladora 47a puede tener una pluralidad de motores eléctricos que incluyen un primer motor eléctrico 43a y un segundo motor eléctrico 41a que se usan para accionar diversos componentes del módulo mezclador 40. Los motores eléctricos 41a y 43a pueden ser alimentados por el generador de turbina 30. El fluido puede ser bombeado al módulo mezclador 40 a través de un colector de entrada 48a por el primer motor 43a eléctrico y añadido a la cubeta 46a. Por tanto, el primer motor eléctrico 43a actúa como un motor de aspiración. El segundo motor eléctrico 41a puede accionar el proceso de mezclado centrífugo en la cubeta 46a. El segundo motor eléctrico 41a también puede impulsar el suministro de fluido mezclado fuera del módulo mezclador 40 y al pozo a través de un colector de salida 49a. Por tanto, el segundo motor eléctrico 41a actúa como un motor de cubeta y un motor de descarga. En ciertas formas de realización ilustrativas, también se puede proporcionar un tercer motor eléctrico 42a. El tercer motor eléctrico 42a también puede ser alimentado por el generador de turbina 30, y puede alimentar el suministro de aditivo de fluido al mezclador 46a. Por ejemplo, el agente apuntalante desde una tolva 44a puede ser suministrado a una cubeta de mezclado 46a, por ejemplo, una cubeta de mezclado centrífuga, mediante un tornillo sinfín 45a, que es alimentado por el tercer motor eléctrico 42a.

De manera similar, en ciertas formas de realización ilustrativas, la segunda unidad mezcladora 47b puede tener una pluralidad de motores eléctricos que incluyen un primer motor eléctrico 43b y un segundo motor eléctrico 41b que se usan para accionar diversos componentes del módulo mezclador 40. Los motores eléctricos 41b y 43b pueden ser alimentados por el generador de turbina 30. El fluido puede ser bombeado al módulo mezclador 40 a través de un colector de entrada 48b por el primer motor 43b eléctrico y añadido a la cubeta 46b. Por tanto, el segundo motor eléctrico 43a actúa como un motor de aspiración. El segundo motor eléctrico 41b puede alimentar el proceso de mezcla centrífuga en la cubeta 46b. El segundo motor eléctrico 41b también puede alimentar el suministro de fluido mezclado fuera del módulo mezclador 40 y al pozo a través de un colector de salida 49b. Por tanto, el segundo motor eléctrico 41b actúa como un motor de cubeta y un motor de descarga. En ciertas formas de realización ilustrativas, también se puede proporcionar un tercer motor eléctrico 42b. El tercer motor eléctrico 42b también puede ser alimentado por el generador de turbina 30, y puede alimentar el suministro de aditivo de fluido al mezclador 46b. Por ejemplo, el agente apuntalante desde una tolva 44b puede ser suministrado a una cubeta de mezclado 46b, por ejemplo, una cubeta de mezclado centrífuga, mediante un tornillo sinfín 45b, que es alimentado por el tercer motor eléctrico 42b.

El módulo mezclador 40 también puede incluir una cabina de control 53 para alojar controles de equipo para la primera unidad mezcladora 47a y la segunda unidad mezcladora 47b, y puede incluir además accionamientos y refrigeradores apropiados según se requiera.

Los mezcladores convencionales alimentados por un sistema hidráulico diésel están alojados típicamente en un remolque de tractor de 13,7162 m (cuarenta y cinco pies) y tienen una capacidad de aproximadamente 15 898,73 l/min (100 bbl/min). Por el contrario, la doble configuración del módulo mezclador 40 que tiene la primera unidad mezcladora 47a y la segunda unidad mezcladora 47b puede proporcionar una capacidad de salida total de 38 156,95 l/min (240 bbl/min) en el mismo espacio ocupado que un mezclador convencional, sin la necesidad de una unidad de respaldo separada en caso de fallo.

40 En el pasado se han probado mezcladores de sistema redundantes con un éxito limitado, principalmente debido a problemas con pesos de equilibrio de los remolques sin que dejen de suministrar la cantidad apropiada de energía. Típicamente, dos motores separados, cada uno de aproximadamente 484,71 kW (650 hp), se han montado lado a lado en la parte delantera del remolque. Para hacer funcionar todos los sistemas necesarios, cada motor debe accionar una cubeta de mezclado a través de una transmisión, una caja de caída y un árbol de accionamiento extendido. Un gran sistema hidráulico está también instalado en cada motor para hacer funcionar todos los sistemas auxiliares tales como adiciones de productos químicos y bombas de succión. Las pérdidas de potencia parásitas son muy grandes y el sistema de manguera y cableado es complejo.

Por el contrario, el módulo mezclador 40 accionado eléctricamente descrito en ciertas formas de realización ilustrativas en el presente documento puede aliviar las pérdidas de potencia parásita de sistemas convencionales por el accionamiento directo de cada pieza de equipo crítico con un motor eléctrico dedicado. Además, el módulo de mezclado 40 accionado eléctricamente descrito en ciertas formas de realización ilustrativas en el presente documento permite rutas de tuberías que no están disponibles en aplicaciones convencionales. Por ejemplo, en ciertas formas de realización ilustrativas, la fuente de fluido puede ser un colector de entrada 48 que puede tener una o más líneas de cruce 50 de entrada (véase la Figura 7) que conectan la sección del colector de entrada 48 dedicada a suministrar fluido a la primera unidad mezcladora 47a con la sección del colector de entrada 48 dedicada a suministrar fluido a la segunda unidad mezcladora 47b. De manera similar, en ciertas formas de realización ilustrativas, el colector de salida 49 puede tener una o más líneas de cruce 51 de salida (véase la Figura 6) que conectan la sección del colector de salida 49 dedicada a suministrar fluido desde la primera unidad mezcladora 47a con la sección del colector de salida 49 dedicada a suministrar fluido desde la segunda unidad mezcladora 47b. Las líneas de cruce 50 y 51 permiten que el flujo sea encaminado o desviado entre la primera unidad mezcladora 47a y la segunda unidad mezcladora 47b. Por tanto, el módulo mezclador 40 puede mezclarse desde cualquier lado, o ambos lados, y/o descargarse a cualquier

lado, o ambos lados, si es necesario. Como resultado, las velocidades alcanzables para el módulo mezclador 40 accionado eléctricamente son mucho mayores que las de un mezclador convencional. En ciertas formas de realización ilustrativas, cada lado (es decir, la primera unidad mezcladora 47a y la segunda unidad mezcladora 47b) del módulo mezclador 40 tiene una capacidad de aproximadamente 19 078,48 l/min (120 bbl/min). Además, cada lado (es decir, la primera unidad mezcladora 47a y la segunda unidad mezcladora 47b) puede desplazar aproximadamente 15 t/min de arena, al menos en parte porque la longitud del tornillo sinfín 45 es más corta (aproximadamente 0,15240 m (6')) en comparación con las unidades convencionales (aproximadamente 0,30480 m (12')).

En ciertas formas de realización ilustrativas, el módulo mezclador 40 puede se puede acortar o "reducir" a un único módulo compacto comparable en tamaño y dimensiones al módulo de fracturación 20 descrito en el presente documento. Para trabajos de fracturación o tratamiento más pequeños que requieren menos de cuatro módulos de fracturación 20, un módulo mezclador 40 de tamaño reducido puede reemplazar uno de los módulos de fracturación 20 en el remolque 10, reduciendo así los costes operativos y mejorando la transportabilidad del sistema.

### Sistema de control

Se puede proporcionar un sistema de control para regular diversos equipos y sistemas dentro de la operación de fracturación alimentada eléctricamente. Por ejemplo, en ciertas formas de realización ilustrativas, el sistema de control puede regular el módulo de fracturación 20 en el suministro de fluido de tratamiento desde el módulo mezclador 30 a las bombas 22 para el suministro al pozo. Los controles para el funcionamiento alimentado eléctricamente descritos en la presente memoria son una mejora significativa sobre los de los sistemas alimentados por diésel convencionales. Debido a que los motores eléctricos están controlados por accionamientos de frecuencia variable, el control absoluto de todos los equipos en la ubicación puede mantenerse desde un punto central. Cuando el operador del sistema establece una presión máxima para el tratamiento, el software de control y los accionamientos de frecuencia variable calculan una corriente máxima disponible para los motores. Los accionamientos de frecuencia variable "dicen" esencialmente a los motores de lo que les está permitido hacer.

Los motores eléctricos controlados a través de un accionamiento de frecuencia variable son mucho más seguros y más fáciles de controlar que los equipos accionados por diésel convencionales. Por ejemplo, flotas convencionales con bombas accionadas por diésel utilizan una transmisión y un motor controlados electrónicamente en la unidad. Puede haber hasta catorce parámetros diferentes que necesitan ser monitorizados y controlados para el funcionamiento apropiado. Estas señales se envían típicamente a través de cables conectado a una consola de operador controlada por el accionador de la bomba. Las señales se convierten de digital a analógico de modo que las entradas se pueden hacer mediante conmutadores y mandos de control. Las entradas se convierten entonces de analógico a digital y se envían de vuelta a la unidad. El módulo de control en la unidad le dice entonces al motor o transmisión que realice la tarea requerida y la señal se convierte en una operación mecánica. Este proceso lleva tiempo.

Las sobrepresiones accidentales son bastante comunes en estas operaciones convencionales, ya que la señal debe viajar a la consola, volver a la unidad y luego realizar una función mecánica. Las sobrepresiones pueden producirse en milisegundos debido a la naturaleza de las operaciones. Estas suelen deberse a errores humanos, y pueden ser tan simples como que un solo operador no reaccione a un comando. A menudo se deben a que se cierra una válvula, lo que crea accidentalmente una situación de "punto muerto".

Por ejemplo, en enero de 2011, se llevó a cabo una operación de fracturación a gran escala en la Cuenca del Río Horn del Norte del este de la Columbia Británica, Canadá. Se produjo una fuga en una de las líneas y se dio un orden de apagado. La válvula maestra en la cabeza de pozo se cerró entonces de forma remota. Desafortunadamente, las bombas múltiples todavía siguieron funcionando y se produjo una sobrepresión del sistema. Se sometió el hierro tratado y tarado para 68,9 MPa (689,4757 bar, 10 000 psi) a más de 103,4 MPa (1034,2136 bar, 15 000 psi). Una línea unida al pozo también se separó y comenzó a golpear a su alrededor. El incidente provocó una parada en toda la operación durante más de una semana mientras se realizaron la investigación y se evaluaban los daños.

El sistema de control provisto según las presentes formas de realización ilustrativas, al ser alimentado eléctricamente, elimina virtualmente la posibilidad de que se produzcan este tipo de escenarios. Un valor de presión máximo establecido al comienzo de la operación es la cantidad máxima de energía que puede enviarse al motor eléctrico 21 para la bomba 22. Al extrapolar un valor de corriente máximo de esta entrada, el motor eléctrico 21 no tiene la energía disponible para sobrepasar su presión de funcionamiento. Además, debido a que virtualmente no hay sistemas mecánicos entre la bomba 22 y el motor eléctrico 21, hay que lidiar con un "momento de inercia" de los engranajes y embragues mucho menor. Una parada casi instantánea del motor eléctrico 21 da como resultado una parada casi instantánea de la bomba 22.

Un sistema alimentado eléctricamente y controlado como se describe en la presente memoria aumenta en gran medida la facilidad con la que todos los equipos pueden sincronizarse o estar subordinados entre sí. Esto significa que se llevará a cabo un cambio en un único punto por todos los equipos, a diferencia del equipo diésel. Por ejemplo, en las operaciones convencionales alimentadas por diésel, el mezclador suministra normalmente todos los fluidos necesarios a todo el sistema. Para llevar a cabo un cambio de velocidad en la operación, el mezclador debe cambiar la velocidad antes de que las bombas cambien las velocidades. Esto puede a menudo dar como resultado un desbordamiento accidental de las cubetas de mezcla y/o cavitación de las bombas debido al retardo de tiempo de cada pieza de equipo

que recibe órdenes manuales.

Por el contrario, la presente operación utiliza un control de punto único que no está vinculado únicamente con las operaciones de mezclado, en ciertas formas de realización ilustrativas. Todos los parámetros de operación pueden introducirse antes de comenzar la fracturación. Si se requiere un cambio de velocidad, el sistema aumentará la velocidad de todo el sistema con un solo comando. Esto significa que si se informa a las bombas 22 que aumentan la velocidad, entonces el módulo mezclador 40 junto con las unidades de productos químicos e incluso el equipo auxiliar como las correas abrasivas aumentarán las velocidades para compensarlas automáticamente.

Se pueden llevar a cabo el control y la monitorización por ordenador adecuados para toda la operación de fracturación en una única localización central, lo que facilita la adherencia a los parámetros de seguridad preestablecidos. Por ejemplo, en la Figura 2 se indica un centro de control 40 desde el cual se pueden administrar las operaciones a través del enlace de comunicaciones 41. Ejemplos de operaciones que pueden administrarse y monitorizarse de forma remota desde el centro de control 40 por medio del enlace de comunicaciones 41 pueden ser la función de generación de energía en el área B, o el suministro de fluido de tratamiento desde el módulo mezclador 40 a las bombas 22 para el suministro al pozo.

**Ejemplo comparativo**

La Tabla 1, mostrada a continuación, compara y contrasta los costes operativos y los requisitos de mano de obra para una operación alimentada por diésel convencional (tal como se muestra en la Figura 1) con los de una operación alimentada por energía eléctrica (tal como se muestra en la Figura 2).

Tabla 1

Comparación de la operación convencional alimentada por diésel frente a la operación alimentada por electricidad

Funcionamiento alimentado por diésel	Funcionamiento alimentado eléctricamente
Coste total del combustible (diésel) - aproximadamente 80 000 \$ al día	Coste total del combustible (gas natural) - aproximadamente 2 300 \$ por día
Intervalo de servicio para motores diésel - aproximadamente cada 200-300 horas	Intervalo de servicio para motor eléctrico - aproximadamente cada 50 000 horas
Tamaño de la cuadrilla dedicada - aproximadamente 40 personas	Tamaño de la cuadrilla dedicada - aproximadamente 10 personas

En la Tabla 1, la "Operación Alimentada por Diésel" utiliza al menos 24 bombas y 2 mezcladores, y requiere al menos 40 267,86 kW (54 000 hp) para llevar a cabo el programa de fracturación en esa ubicación. Cada bomba quema aproximadamente 300-400 litros por hora de funcionamiento, y las unidades mezcladoras queman una cantidad comparable de combustible diésel. Debido al consumo de combustible y a la capacidad de combustible de esta unidad convencional, requiere repostar durante el funcionamiento, lo que es extremadamente peligroso y presenta un peligro de incendio. Además, cada pieza de equipo convencional necesita un tractor dedicado para moverla y un conductor/operario para conducirla. El tamaño de la cuadrilla requerido para operar y mantener una operación convencional tal como la de la Figura 1 representa un coste directo para el operador del emplazamiento.

Por el contrario, la operación accionada eléctricamente como se describe en el presente documento utiliza una turbina que solo consume aproximadamente 6 mm scf de gas natural cada 24 horas. A tasas de mercado actuales (aproximadamente 2,50 \$ por mmbtu), esto equivale a una reducción en el coste directo al operador del emplazamiento de más de 77 000 \$ por día en comparación con la operación alimentada por diésel. Además, el intervalo de servicio en motores eléctricos es de aproximadamente 50 000 horas, lo que permite que desaparezcan la mayoría de los costes de fiabilidad y mantenimiento. Además, se reduce de forma significativa la necesidad de múltiples accionadores/operadores, y el funcionamiento alimentado eléctricamente significa que un solo operador puede hacer funcionar todo el sistema desde una ubicación central. El tamaño de la cuadrilla puede reducirse aproximadamente en un 75%, ya que solo se necesitan aproximadamente 10 personas en la misma ubicación para realizar las mismas tareas que las operaciones convencionales, incluyendo las 10 personas el personal de mantenimiento de personal fuera del emplazamiento. Además, el tamaño de la cuadrilla no cambia con la cantidad de equipos utilizados. Por tanto, la operación alimentada eléctricamente es significativamente más económica.

**Diseño modular y formas de realización alternativas**

Como se ha descrito anteriormente, la naturaleza modular de la operación de fracturación accionada eléctricamente descrita en la presente memoria proporciona ventajas operativas y eficiencias significativas sobre los sistemas de fracturación tradicionales. Cada módulo de fracturación 20 se asienta sobre el remolque 10 que aloja los montajes y sistemas de colectores necesarios para las aspiraciones a baja presión y las descargas a alta presión. Cada módulo de fracturación 20 puede retirarse del servicio y sustituirse sin parar o comprometer la dispersión de fracturación. Por ejemplo, la bomba 22 puede aislarse del remolque 10, retirarse y sustituirse por una nueva bomba 22 en pocos

minutos. Si el módulo de fracturación 20 requiere servicio, puede aislarse de las líneas de fluido, desenchufarse, desenclavarse y retirarse mediante una carretilla elevadora. Puede insertarse de nuevo entonces otro módulo de fracturación 20 de la misma manera, lo que lleva a cabo un ahorro drástico de tiempo. Además, el módulo de fracturación 20 retirado puede repararse o realizar su mantenimiento en el campo. Por el contrario, si una de las bombas en un sistema accionado por diésel convencional se apaga o requiere mantenimiento, la combinación de tractor/remolque necesita desconectarse del sistema colector y conducirse fuera de la ubicación. Una unidad de sustitución debe entonces ser respaldada en la línea y reconectada. La manipulación de estas unidades en estos estrechos límites es difícil y peligrosa.

La operación de fracturación alimentada eléctricamente descrita en la presente memoria puede adaptarse fácilmente para adaptarse a tipos adicionales de capacidades de bombeo según sea necesario. Por ejemplo, se puede proporcionar un módulo de bombeo de sustitución que esté adaptado para su montaje de forma desmontable en el remolque 10. El módulo de bombeo de reemplazo puede utilizarse para bombear nitrógeno líquido, dióxido de carbono u otros productos químicos o fluidos según sea necesario, para aumentar la versatilidad del sistema y ampliar el intervalo y la capacidad operativos. En un sistema convencional, si se requiere una bomba de nitrógeno, una unidad separada de unidad de camión/remolque debe llevarse al emplazamiento y unirse en la extensión de fracturación. Por el contrario, la operación descrita en la presente permite un módulo de nitrógeno de sustitución generalmente con las mismas dimensiones que el módulo de fracturación 20, de modo que el módulo de sustitución puede encajar en la misma ranura en el remolque que el módulo de fracturación 20. El remolque 10 puede contener todas las distribuciones de energía eléctrica necesarias según se requiera para un módulo de bomba de nitrógeno, por lo que no se requieren modificaciones. El mismo concepto se aplicaría a módulos de bomba de dióxido de carbono o a cualquier otro equipo que se requiera. En lugar de otro camión/remolque, se puede utilizar en su lugar un módulo de sustitución especializado.

Se considera que el gas natural es la fuente de combustible más eficiente y más limpia disponible. Al diseñar y construir un "equipo adecuado para el objetivo" que se alimenta por gas natural, se espera que el espacio de fracturación ocupado, la mano de obra y los requisitos de mantenimiento se puedan reducir en más del 60 % en comparación con las operaciones tradicionales alimentadas por diésel.

Además, la operación de fracturación alimentada eléctricamente descrita actualmente resuelve o mitiga los impactos ambientales de las operaciones tradicionales alimentadas por diésel. Por ejemplo, la operación alimentada por gas natural descrita en la presente memoria puede proporcionar una reducción significativa en las emisiones de dióxido de carbono en comparación con las operaciones alimentadas por diésel. En una forma de realización ilustrativa, un emplazamiento de fracturación que utiliza la operación alimentada por gas natural descrita en la presente memoria tendría un nivel de emisiones de dióxido de carbono de aproximadamente 2 200 kg/h, dependiendo de la calidad del gas combustible, lo que representa una reducción de aproximadamente el 200% de las emisiones de dióxido de carbono de las operaciones alimentadas por diésel. Además, en una forma de realización ilustrativa, la operación alimentada por gas natural descrita en la presente memoria no produciría más de aproximadamente 80 decibelios de sonido con un paquete silenciador utilizado en la turbina 30, lo que cumple los requisitos de la OSHA para las emisiones de ruido. En comparación, una bomba de fracturación convencional accionada por diésel que funciona a rpm completas emite aproximadamente 105 decibelios de sonido. Cuando múltiples bombas de fracturación alimentadas por diésel están funcionando simultáneamente, el ruido es un riesgo significativo asociado con las operaciones convencionales.

En ciertas formas de realización ilustrativas, la operación de fracturación eléctrica descrita en la presente memoria también se puede utilizar para aplicaciones de petróleo y gas en alta mar, por ejemplo, fracturación de un pozo en un emplazamiento en alta mar. Las operaciones en alta mar convencionales ya poseen la capacidad de generar energía eléctrica en el emplazamiento. Estas embarcaciones funcionan típicamente con diésel más que eléctricos, lo que significa que la planta de energía diésel en la embarcación genera electricidad para satisfacer todos los requisitos de energía incluyendo la propulsión. La conversión de los servicios de bombeo marinos para que funcionen desde una fuente de alimentación eléctrica permitirá que el combustible diésel transportado se use en la generación de energía en lugar de impulsar la operación de fracturación, reduciendo así el consumo de combustible diésel. La energía eléctrica generada desde la central eléctrica de la embarcación en alta mar (que no se necesita durante el mantenimiento de la estación) puede utilizarse para alimentar uno o más módulos de fracturación 10. Esto es mucho más limpio, seguro y más eficiente que usar equipos accionados por diésel. Los módulos de fracturación 10 también son más pequeños y ligeros que el equipo utilizado típicamente en la cubierta de embarcaciones marítimas, eliminando así algunos de los problemas de lastre actuales y permitiendo que los buques en alta mar transporten más equipo o materias primas.

En una disposición de cubierta para una embarcación de estimulación marina convencional, los equipos de bombeo accionados por diésel y las instalaciones de almacenamiento basados en patines sobre la cubierta de la embarcación crean problemas de lastre. Un equipo demasiado pesado en la cubierta de la embarcación provoca que la embarcación tenga un centro de gravedad más alto. Además, las líneas de combustible deben conducirse a cada pieza de equipo aumentando en gran medida el riesgo de derrames de combustible. En formas de realización ilustrativas de una disposición de cubierta para una embarcación en alta mar que utiliza operaciones de fracturación eléctricas como se describe en el presente documento, el espacio requerido de la disposición del equipo se reduce significativamente en comparación con la disposición convencional. Hay más espacio libre disponible en la cubierta, y el peso del equipo disminuye drásticamente, eliminando así la mayoría de los problemas de lastre. Se puede utilizar una embarcación ya

5 diseñada como diésel-eléctrico. Cuando la embarcación está en la estación en una plataforma y en modo de mantenimiento de la estación, la mayor parte de la potencia que están generando los motores de la embarcación puede desplazarse hasta la cubierta para alimentar los módulos. Las instalaciones de almacenamiento en la embarcación pueden colocarse debajo de la cubierta, bajando aún más el centro de gravedad, mientras que se puede proporcionar un equipo adicional, por ejemplo, un separador de 3 fases, o una unidad de tubería enrollada, en la cubierta, lo que es difícil en las embarcaciones accionadas por diésel existentes. Estos beneficios, acoplados con el sistema de control electrónico, proporcionan una ventaja mucho mayor sobre los recipientes convencionales.

10 Aunque la presente descripción ha contemplado específicamente un sistema de fracturación, el sistema puede usarse para accionar bombas para otros fines, o para accionar otros equipos de campos petrolíferos. Por ejemplo, los equipos de bombeo de alta velocidad y presión, equipos de fracturación hidráulica, equipos de bombeo de estimulación de pozos y/o equipos de mantenimiento de pozos también podrían ser alimentados usando el presente sistema. Además, el sistema puede adaptarse para su uso en otros campos de la técnica que requieren operaciones de bombeo de alto par o de alta velocidad, tales como limpieza de tuberías o eliminación de agua de minas.

15 Debe entenderse que la materia objeto en el presente documento no está limitada a los detalles exactos de construcción, operación, materiales exactos o formas de realización ilustrativas mostradas y descritas, ya que las modificaciones serán evidentes para un experto en la técnica, siempre que estas modificaciones caigan dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para suministrar fluido de fracturación a un pozo, comprendiendo el método las etapas de:
- proporcionar una fuente dedicada de energía eléctrica en un emplazamiento que contiene un pozo a fracturar;
- 5 proporcionar uno o más módulos de fracturación (20) eléctrica en el emplazamiento, comprendiendo el módulo de fracturación (20) eléctrica un motor eléctrico (21) y una bomba de fluido (22) acoplada, estando el motor eléctrico (21) asociado operativamente con la fuente dedicada de energía eléctrica (30);
- proporcionar el fluido de fracturación para suministro presurizado a un pozo, donde el fluido de fracturación comprende un gas licuado de petróleo; y
- 10 hacer funcionar los módulos de fracturación (20) utilizando energía eléctrica de la fuente dedicada (30) para bombear el fluido de fracturación al pozo,
- caracterizado por que
- se proporciona un sistema de control para regular diversos equipos y sistemas dentro de la operación de fracturación alimentada eléctricamente, donde el motor eléctrico (21) se controla mediante un accionamiento de frecuencia variable, donde el sistema de control y el accionamiento de frecuencia variable calculan una corriente máxima disponible en el motor (21) basándose en un valor para la presión máxima para el tratamiento proporcionado por un operador del sistema.
- 15
2. El método de la reivindicación 1, donde la fuente dedicada de energía eléctrica (30) es un generador de turbina.
3. Un sistema para su uso en el suministro de fluido presurizado a un pozo, comprendiendo el sistema:
- un emplazamiento de pozo que comprende un pozo y una fuente dedicada de electricidad;
- 20 un módulo de fracturación (20) alimentado eléctricamente asociado operativamente con la fuente dedicada de electricidad (30), comprendiendo el módulo de fracturación (20) alimentado eléctricamente un motor eléctrico (21) y una bomba de fluido (22) acoplada al motor eléctrico (21);
- una fuente de fluido de tratamiento (48), donde el fluido de tratamiento comprende un gas licuado de petróleo; y
- 25 un sistema de control para regular el módulo de fracturación (20) en el suministro de fluido de tratamiento desde la fuente de fluido de tratamiento (48) al pozo de perforación,
- caracterizado por que
- el motor eléctrico (21) está controlado por un variador de frecuencia, estando el sistema de control y el variador de frecuencia adaptados para calcular una corriente máxima disponible en el motor (21) basada en un valor de la presión máxima para el tratamiento.
- 30
4. El sistema de la reivindicación 3, donde la fuente de fluido de tratamiento (48) comprende un módulo mezclador (40) alimentado eléctricamente asociado operativamente con la fuente dedicada de electricidad (30).
5. El sistema de la reivindicación 3, donde el módulo de fracturación (20) suministra gas licuado de petróleo presurizado a un pozo.

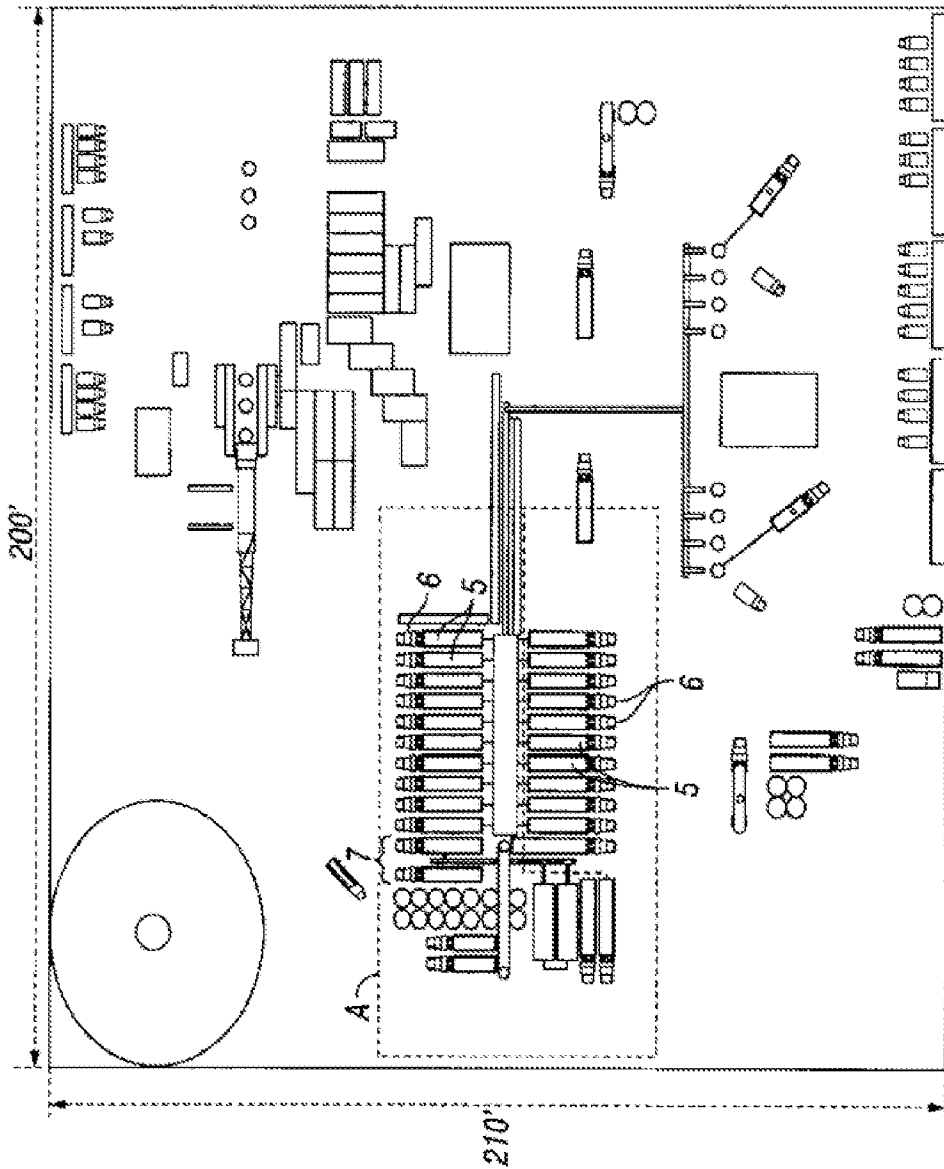


Fig. 1  
(Técnica anterior)

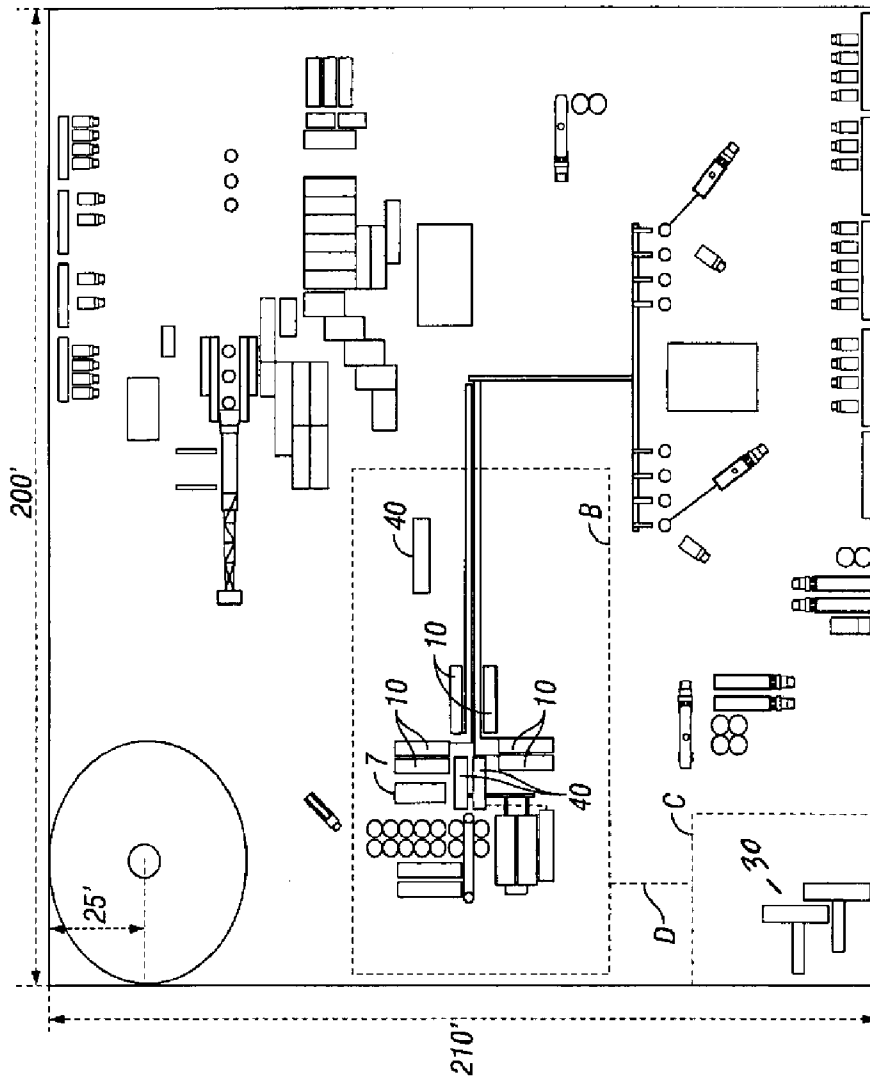


FIG. 2

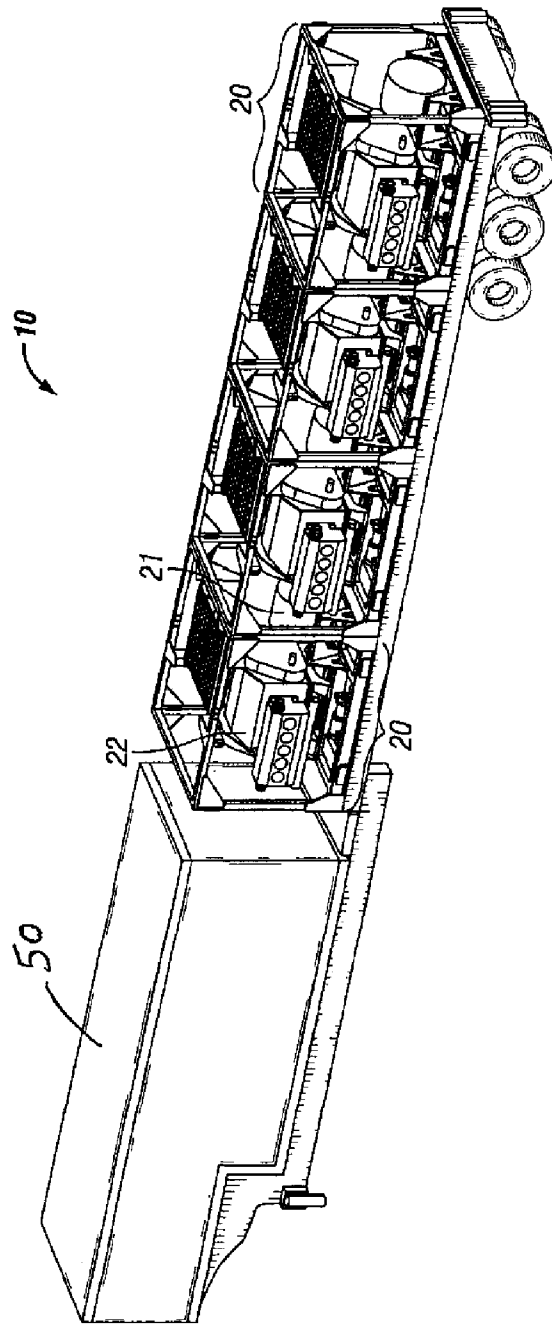


FIG. 3

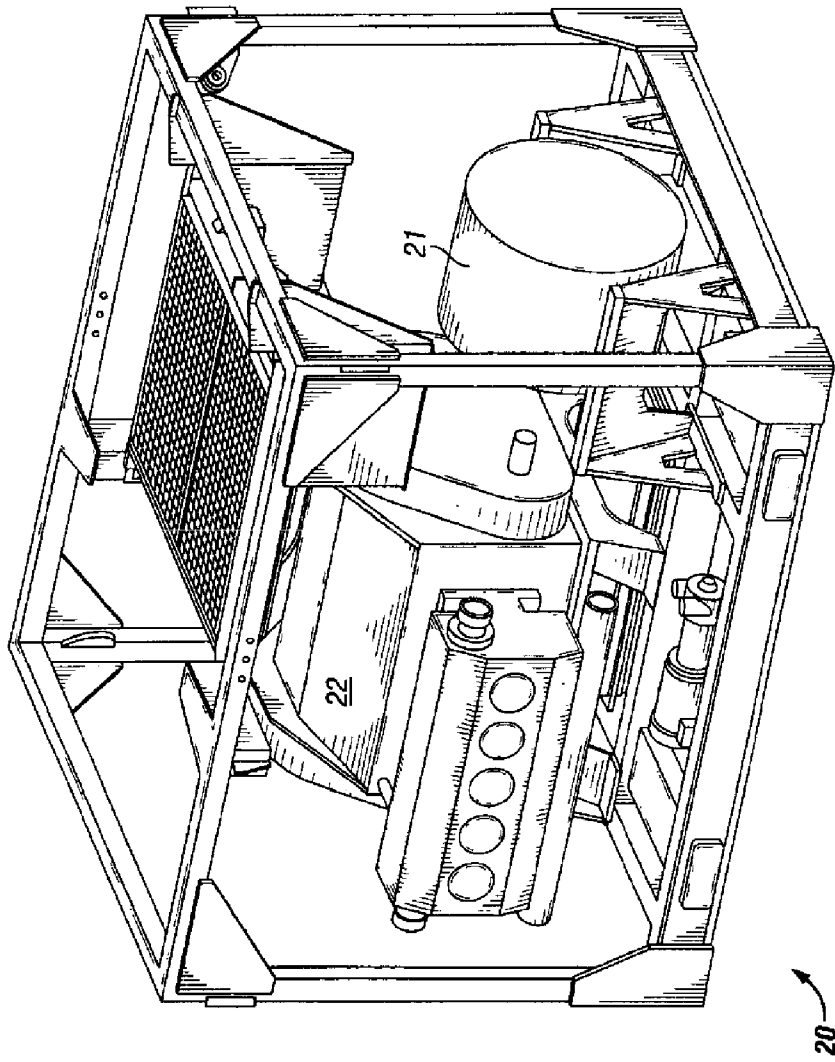


FIG. 4A

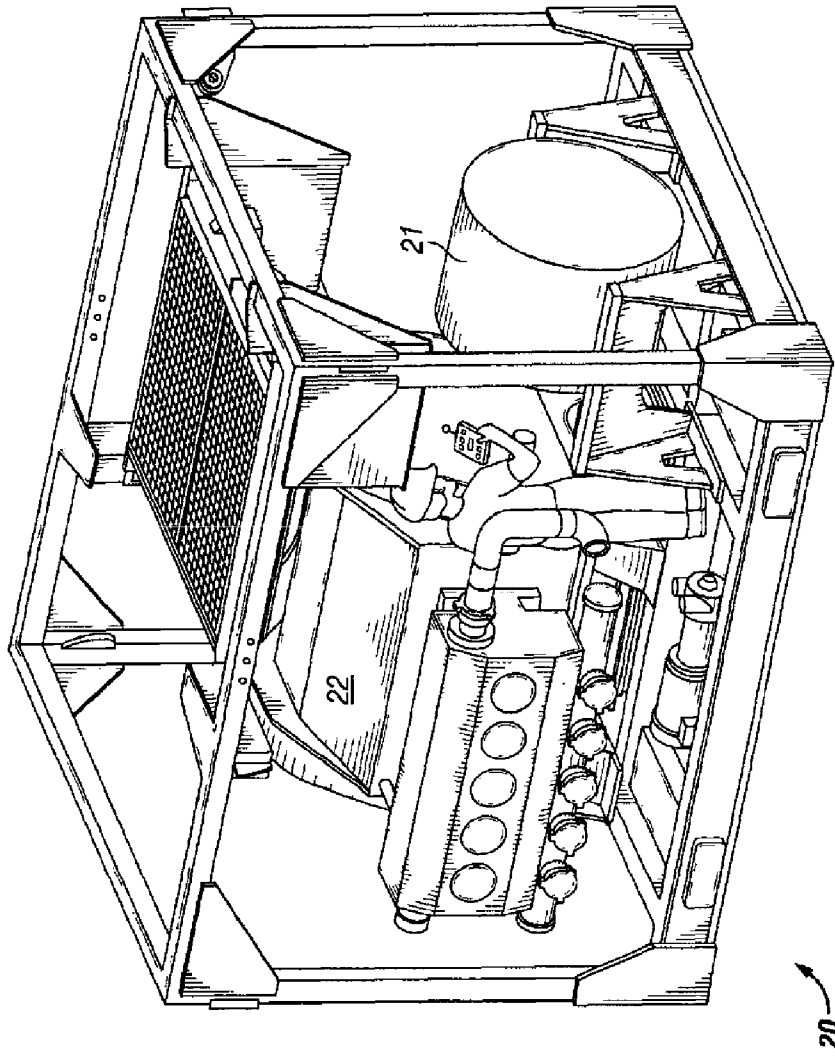


FIG. 4B

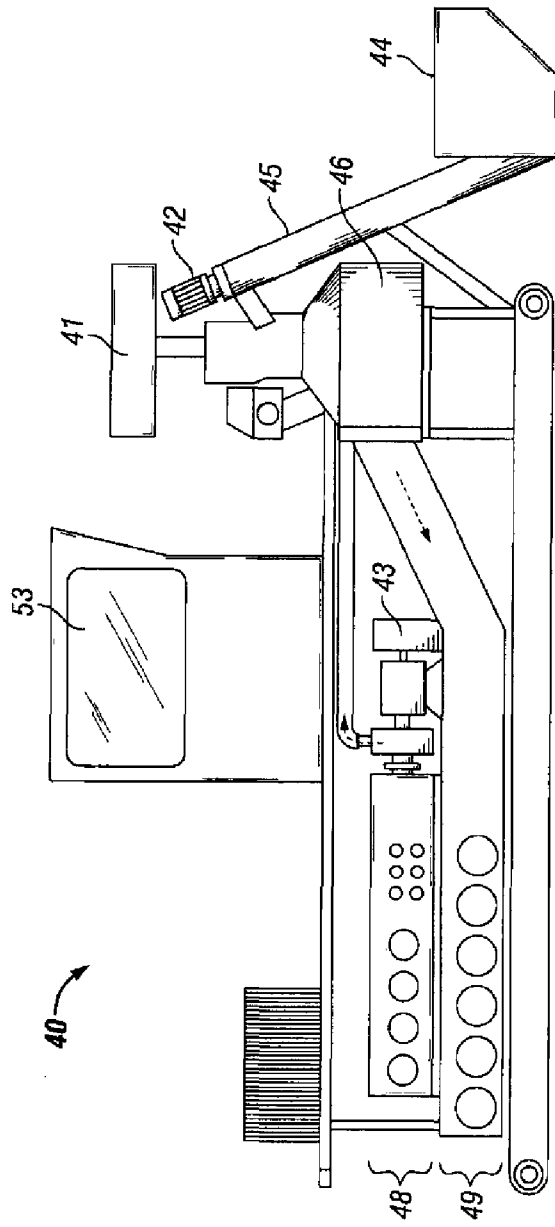
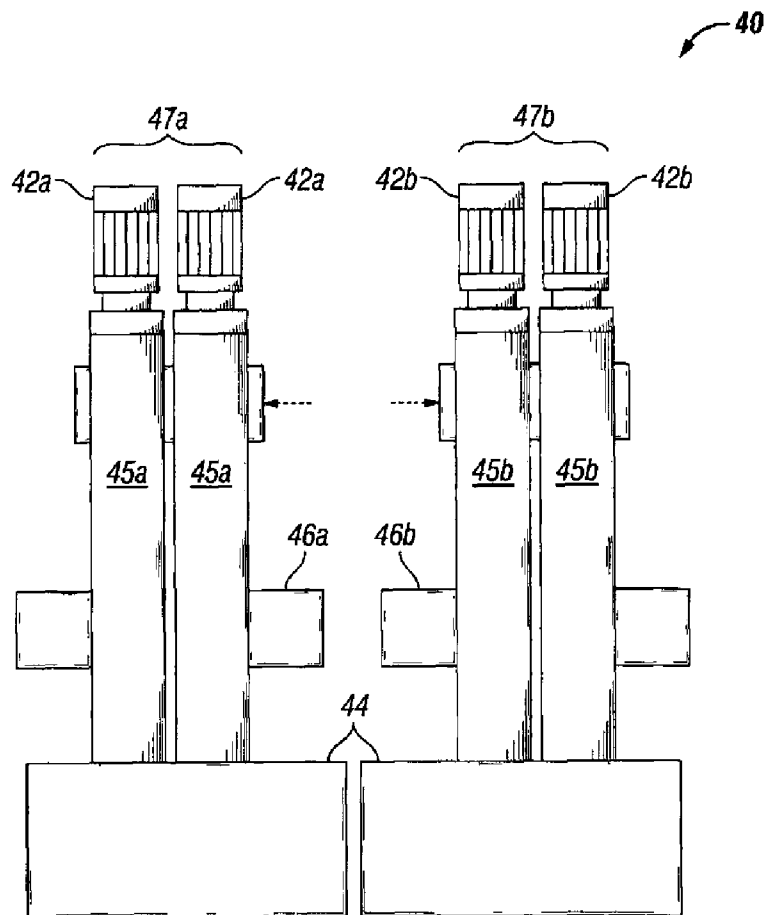


FIG. 5A



**FIG. 5B**

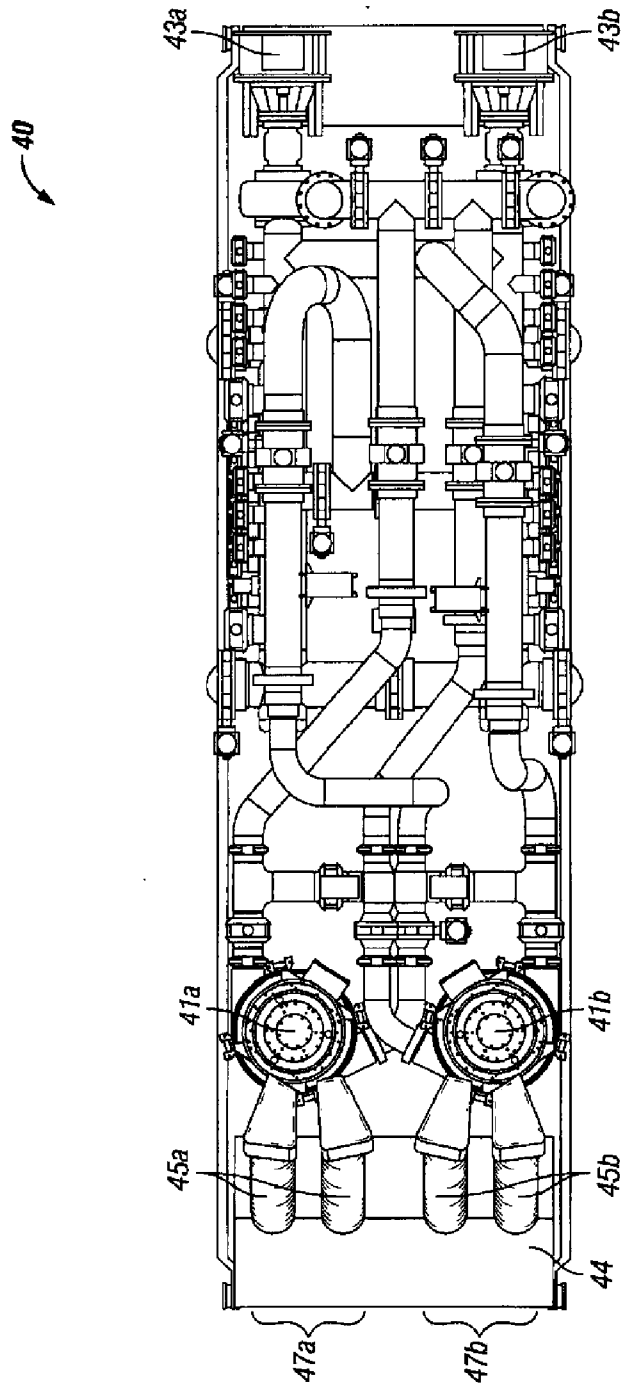


FIG. 5C

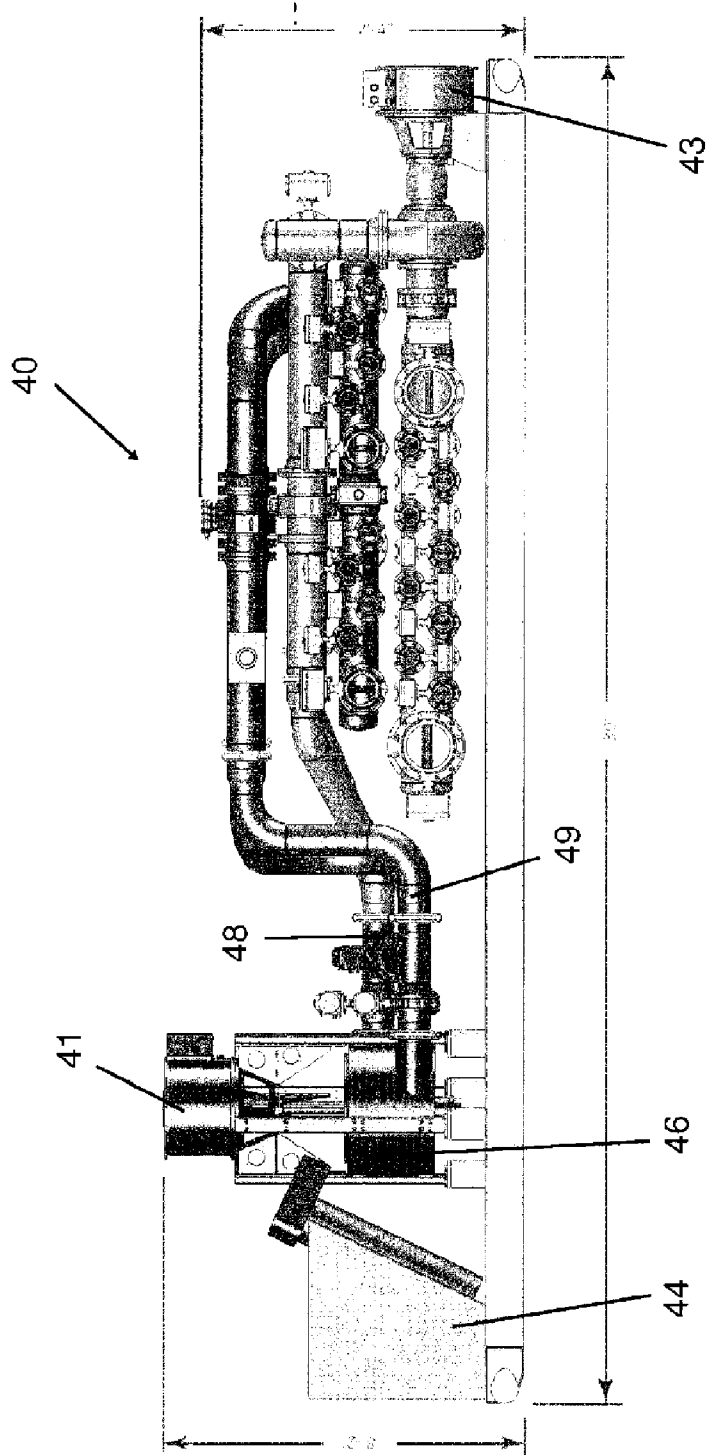
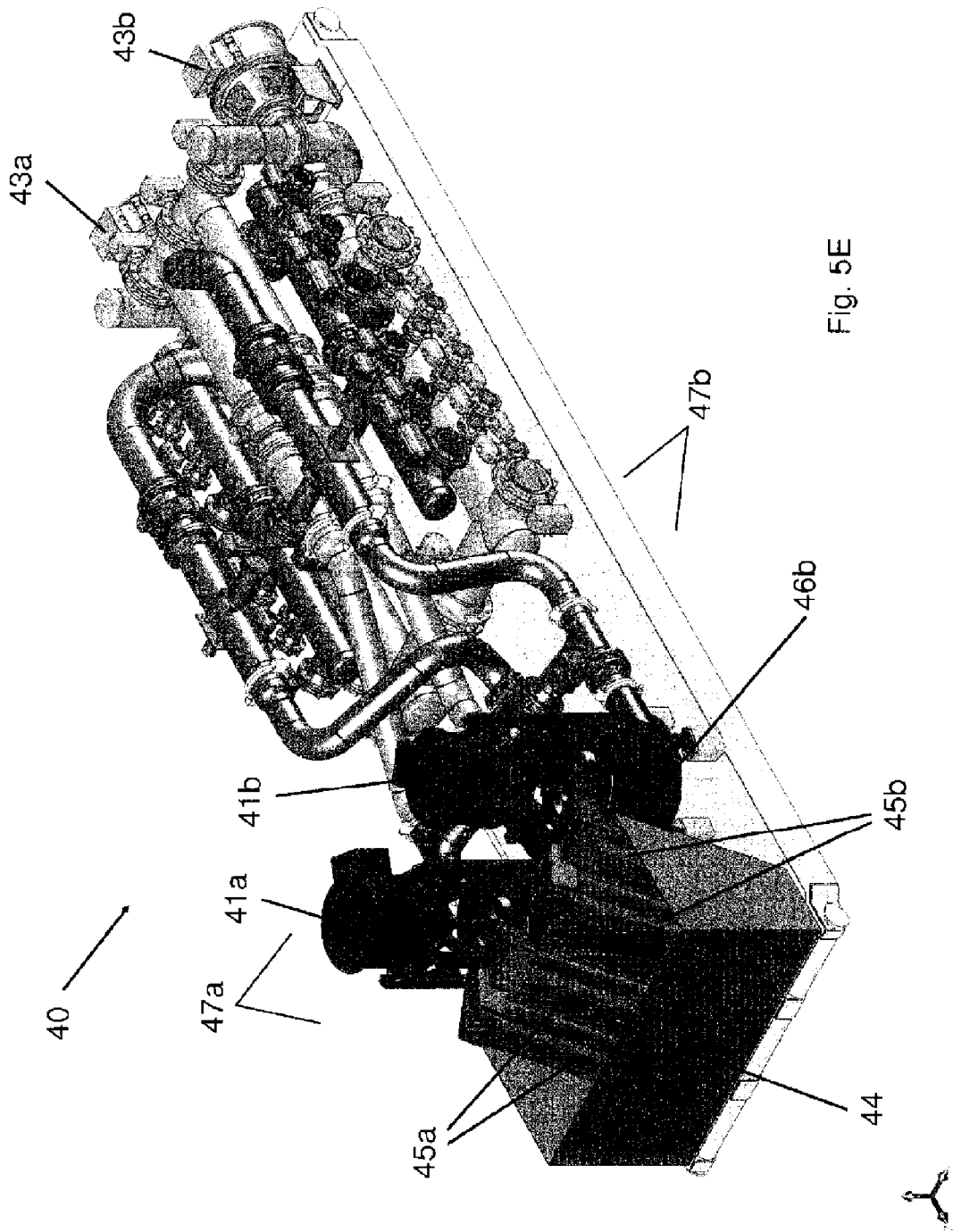


Fig. 5D



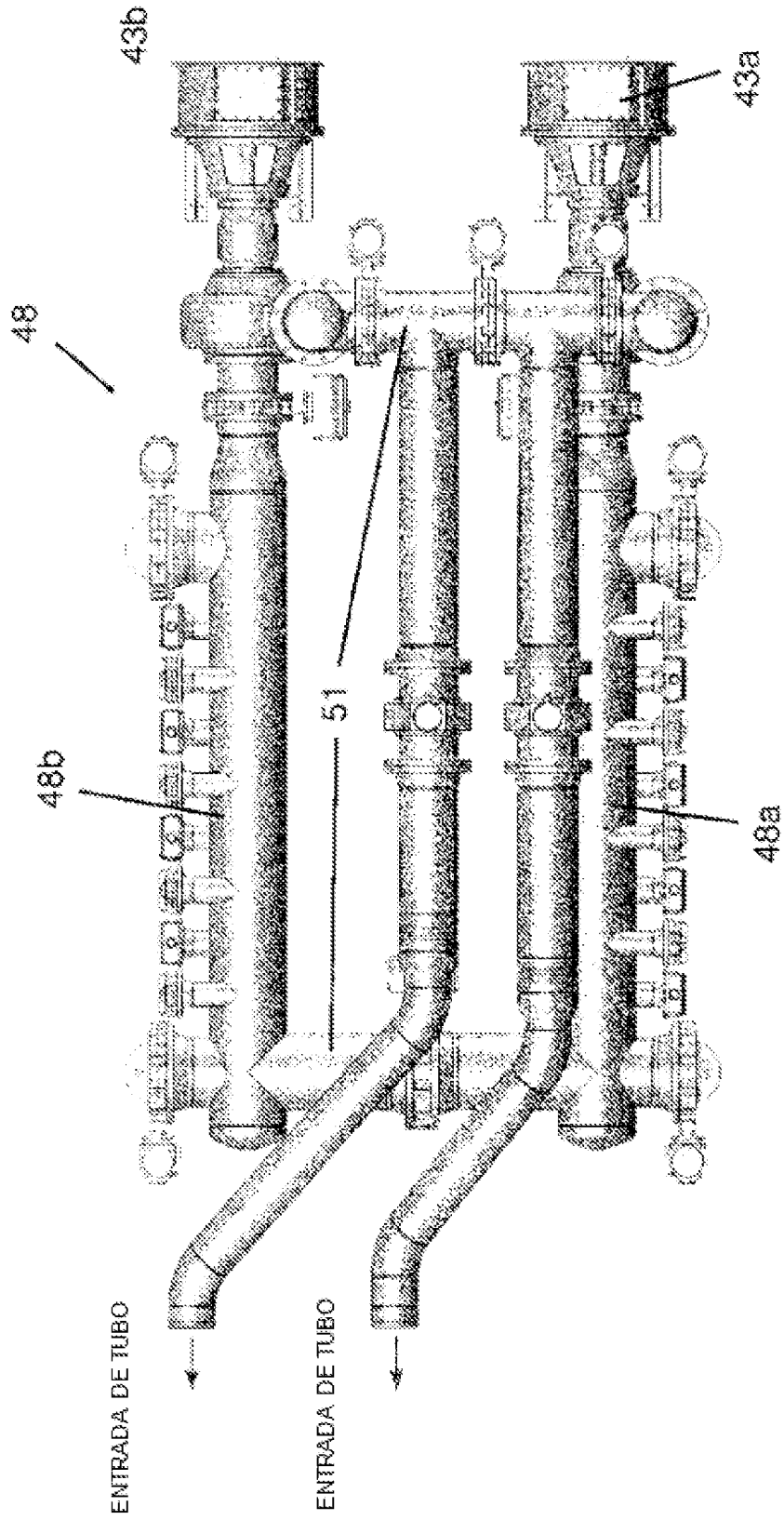


Fig. 6

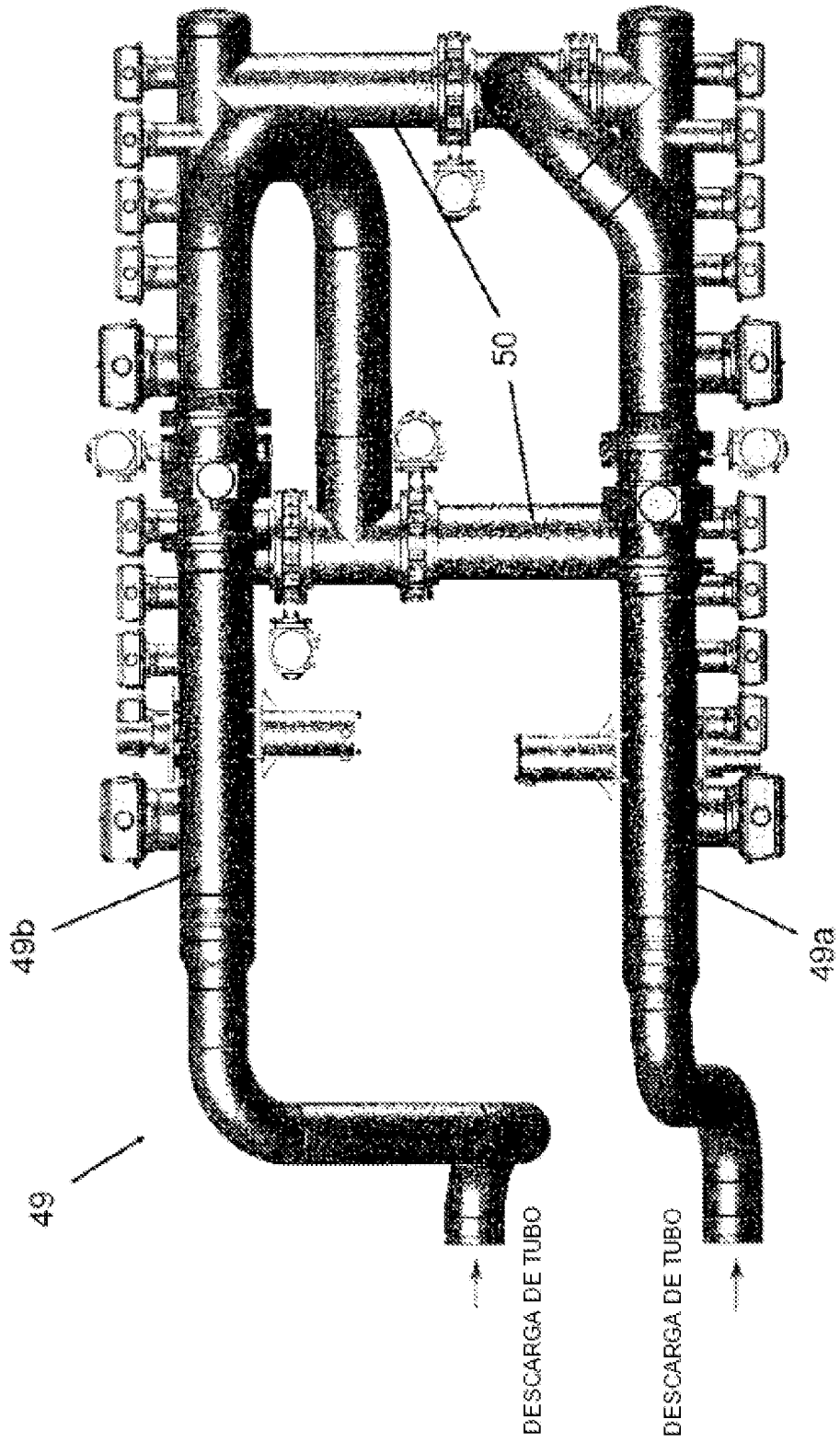


Fig. 7