

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 991 408**

51 Int. Cl.:

E21B 43/26 (2006.01)

E21B 41/00 (2006.01)

E21B 43/12 (2006.01)

E21B 43/267 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2012 E 18189400 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2024 EP 3444431**

54 Título: **Sistema energizado eléctricamente para usar en la fracturación de formaciones subterráneas**

30 Prioridad:

07.04.2011 US 201161472861 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.12.2024

73 Titular/es:

**TYPHON TECHNOLOGY SOLUTIONS, LLC
(100.0%)**

**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 2 991 408 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 energizado eléctricamente para usar en la fracturación de formaciones subterráneas

Antecedentes**1. Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

- 5 Esta solicitud reivindica el beneficio, y el beneficio de la prioridad, de la Solicitud de Patente Provisional de EE. UU. con número de serie 61/472861, presentada el 7 de abril de 2011, titulada "MOBILE, MODULAR, ELÉCTRICALLY POWERED SYSTEM FOR USE IN FRACTURING UNDERGROUND FORMATIONS".

2. Campo de la invención

- 10 Esta invención se relaciona en general con la estimulación hidráulica de formaciones subterráneas con hidrocarburos y más particularmente con la generación y el uso de energía eléctrica para suministrar fluido de fracturación a un recinto de pozo.

3. Descripción de la técnica relacionada

- 15 Durante el ciclo de vida de un recinto de pozo que produce hidrocarburos típicos se pueden suministrar diversos fluidos (junto con aditivos, agentes apuntalantes, geles, cemento, etc....) al recinto de pozo bajo presión y se inyectan en el recinto de pozo. Los sistemas de bombeo de superficie han que tener la capacidad de acomodar estos diversos fluidos. Dichos sistemas de bombeo normalmente se movilizan en patines o tractores con remolques y se energizan utilizando motores diésel.

- 20 Los avances tecnológicos han mejorado enormemente 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 al surgimiento de nuevas oportunidades para la producción de gas natural a partir de formaciones de esquistos. Por ejemplo, se han reportado más de veinte intervalos fracturados en un único recinto de pozo horizontal en una formación de gas natural compacta. Sin embargo, se requieren operaciones de fracturación significativas para recuperar estos recursos.

- 25 Actualmente, las oportunidades de recuperación de gas natural contempladas requieren una infraestructura operativa considerable que incluye grandes inversiones en equipos de fracturación y personal relacionado. Notablemente, las bombas de fluidos estándar requieren grandes cantidades de combustible diésel y programas de mantenimiento de equipos frecuentes. Normalmente, cada bomba de fluido se aloja en una configuración de remolque y camión dedicados. Las operaciones de fracturación promedio requieren tanto como cincuenta bombas de fluido, el área del sitio, 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 del gas natural.

- 30 Cuando se planifican grandes operaciones de fracturación, una cuestión logística importante es la disponibilidad de combustible diésel. Los excesivos volúmenes de combustible diésel requeridos necesitan transporte constante de diésel en camiones cisterna hacia el sitio y resultan en emisiones de dióxido de carbono significativas. Otros han intentado reducir el consumo de combustible y las emisiones al hacer funcionar motores de grandes bombas con "Bicombustible", mezclar gas natural y combustible diésel pero con éxito limitado. Adicionalmente, los intentos de reducir la cantidad de personal en el sitio al implementar monitorización remota y control operativo no han tenido éxito ya que todavía se requiere personal en el sitio para transportar el equipo y el combustible hacia y desde la ubicación.

- 40 El documento US 2010/326663 A1 se refiere a un sistema de bombeo de campo petrolífero de corriente dividida que utiliza fluidos de producción de presión de vapor de Reid alto reciclados. El sistema de campo petrolífero está compuesto por dos corrientes de fluido separadas: una primera corriente de fluido reciclado y una segunda corriente de fluido nuevo. Se añaden aditivos de tratamiento de pozos a la nueva corriente de fluido, y el fluido de tratamiento resultante se mezcla con el fluido reciclado en un colector común para proporcionar un fluido de tratamiento de pozos final que se suministrará en la cabeza de pozo.

- 45 El documento US 2009/068031 A1 describe un sistema y un método que comprenden una pluralidad de bombas para su uso en un emplazamiento de pozo para suministrar un fluido de tratamiento de pozo en una ubicación deseada. Una única línea de accionamiento está acoplada entre la pluralidad de bombas y una unidad motriz sin incorporar una caja divisora. La línea de accionamiento es accionada por la unidad motriz para hacer girar la pluralidad de bombas.

- 50 El documento GB 976 279 A describe un método para accionar un equipo de perforación de pozos petrolíferos que comprende las etapas de dirigir un suministro de gas a presión a un cabezal principal; separar dicho gas en una pluralidad de corrientes; convertir la energía de cada una de dichas corrientes en potencia mecánica; y aplicar dicha potencia mecánica desde cada una de dichas corrientes a un componente de dicho equipo de perforación.

El documento US 2007/125544 A1 en general, se refiere a operaciones de pozos, y más particularmente a métodos y aparatos para fabricar fluido de tratamiento de pozos para ahorrar trabajo, infraestructura e impacto ambiental.

Sumario

En el presente documento se proporcionan diversas realizaciones ilustrativas de un sistema y método para la estimulación hidráulica de formaciones subterráneas que contienen hidrocarburos. De acuerdo con un aspecto de la materia objeto divulgada, se proporciona un método para suministrar fluido de fracturación a un recinto de pozo. El método comprende las etapas de: proporcionar una fuente dedicada de energía eléctrica en un sitio que contiene un recinto de pozo que se va a fracturar; proporcionar uno o más módulos de fracturación eléctrica en el sitio, cada módulo de fracturación eléctrica comprende un motor eléctrico y una bomba de fluido acoplada, cada motor eléctrico está asociado operativamente con la fuente dedicada de energía eléctrica; proporcionar un fluido de tratamiento de recinto de pozo para suministro presurizado a un pozo, en donde el fluido de tratamiento de recinto de pozo puede ser continuo con la bomba de fluido y con el recinto de pozo; y hace funcionar la unidad de fracturación usando energía eléctrica de la fuente dedicada para bombear el fluido de tratamiento al recinto de pozo.

La fuente dedicada de energía eléctrica es un generador de turbina móvil. Se proporciona una fuente de gas natural, por lo cual el gas natural acciona el generador de turbina en la producción de energía eléctrica. Por ejemplo, se puede proporcionar gas natural en tubería, o gas natural producido en sitio. Los combustibles líquidos tales como condensado también se pueden proporcionar para accionar el generador de turbina.

Además, se proporciona un transformador eléctrico y una unidad de accionamiento configurados para controlar un voltaje de la electricidad del generador de turbina. Además, se proporciona un módulo mezclador móvil energizado eléctricamente asociado operativamente con la fuente de electricidad y capaz de proporcionar fluido de tratamiento a la bomba de fluido para su suministro al pozo. Además, se proporciona un sistema de control para regular el módulo de fracturación en el suministro de fluido de tratamiento desde el módulo mezclador energizado eléctricamente a la bomba de fluido para el suministro al recinto de pozo. Además, se proporciona un remolque para alojar el módulo de fracturación energizado eléctricamente o el módulo mezclador energizado eléctricamente.

En ciertas realizaciones ilustrativas, el motor eléctrico puede ser un motor de imán permanente de CA y/o a motor de velocidad variable. El motor eléctrico puede ser capaz de funcionar en el intervalo de hasta 1500 rpms y hasta 27 116.3608 Nm (20 000 pies/libra) de torque. La bomba puede ser una bomba de fluido de estilo embolo triple o quintuple.

En ciertas realizaciones ilustrativas, el método puede comprender adicionalmente las etapas de: proporcionar un módulo mezclador eléctrico continuo y/o asociado funcionalmente con la bomba de fluido, el módulo mezclador comprende: una fuente de fluido, una fuente de aditivo de fluido, y una cubeta de mezclado centrífuga, y suministrar energía eléctrica desde la fuente dedicada hasta el módulo mezclador para efectuar la mezcla del fluido con aditivos de fluido para generar el fluido de tratamiento.

Según otro aspecto de la materia objeto divulgada, se proporciona un sistema para usar en el suministro de fluido presurizado a un recinto de pozo. El sistema comprende: un emplazamiento de pozo que comprende un recinto de pozo y una fuente dedicada de electricidad; un módulo de fracturación energizado eléctricamente asociado operativamente con la fuente dedicada de electricidad, el módulo de fracturación energizado eléctricamente comprende un motor eléctrico y una bomba de fluido acoplada al motor eléctrico; una fuente de fluido de tratamiento, donde el fluido de tratamiento puede ser continuo con la bomba de fluido y con el recinto de pozo; y un sistema de control para regular el módulo de fracturación en el suministro de fluido de tratamiento desde la fuente de fluido de tratamiento al recinto del pozo.

La fuente de fluido de tratamiento comprende un módulo mezclador energizado eléctricamente asociado funcionalmente con la fuente dedicada de electricidad. El sistema comprende adicionalmente un remolque de fracturación en el emplazamiento del pozo para alojar uno o más módulos de fracturación o el módulo mezclador energizado eléctricamente. Cada módulo de fracturación se puede adaptar para montar de forma desmontable sobre el remolque. El sistema puede comprender adicionalmente un módulo de bombeo de repuesto que comprende una bomba y un motor eléctrico, el módulo de bombeo de repuesto adaptado para montar de forma desmontable sobre el remolque. En ciertas realizaciones ilustrativas, el módulo de bombeo de repuesto puede ser un módulo de bombeo de nitrógeno, o un módulo de bombeo de dióxido de carbono. El módulo de bombeo de repuesto puede ser, por ejemplo, un torque alto, motor de baja velocidad o un torque bajo, motor de alta velocidad.

La fuente dedicada de electricidad es un generador de turbina energizado por gas natural en el emplazamiento del pozo. Además, el sistema comprende un transformador eléctrico y una unidad de accionamiento configurada para controlar un voltaje de la electricidad del generador de turbina.

Según otro aspecto de la materia objeto divulgada, que no es parte de la invención, pero es útil para comprender la misma, se proporciona un módulo de fracturación para uso en suministrar fluido presurizado a un recinto de pozo. El módulo de fracturación puede comprender: un motor de imán permanente de CA capaz de funcionar en el intervalo de hasta 1500 rpms y hasta 27 116.3608 Nm (20 000 pies/libra) de torque; y una bomba de fluido estilo embolo acoplada al motor.

Según otro aspecto de la materia objeto divulgada, que no es parte de la invención, pero es útil para comprender la misma, se proporciona un método para mezclar un fluido de fracturación para suministro a un recinto de pozo que se va a fracturar. Se puede proporcionar una fuente dedicada de energía eléctrica a un sitio que contiene un recinto de pozo que se va a fracturar. Se puede proporcionar por lo menos un módulo mezclador eléctrico en el sitio. El módulo mezclador eléctrico puede incluir una fuente de fluido, una fuente de aditivo de fluido, y una cubeta de mezclado. Se puede suministrar energía eléctrica desde la fuente dedicada hasta el módulo mezclador eléctrico para efectuar mezcla de un fluido desde la fuente de fluido con un aditivo de fluido desde la fuente de aditivo de fluido para generar el fluido de fracturación. La fuente dedicada de energía eléctrica puede ser un generador de turbina. Se puede proporcionar una fuente de gas natural, en la que el gas natural se utiliza para accionar el generador de turbina en la producción de energía eléctrica. El fluido de la fuente de fluido se puede mezclar con el aditivo de fluido de la fuente de aditivo de fluido en la cubeta de mezclado. El módulo mezclador eléctrico también puede incluir por lo menos un motor eléctrico que se asocia funcionalmente 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.

En ciertas realizaciones ilustrativas, el módulo mezclador eléctrico puede incluir un primer motor eléctrico y un segundo motor eléctrico, cada uno de los cuales se asocia funcionalmente con la fuente dedicada de energía eléctrica. El primer motor eléctrico puede efectuar el suministro del fluido desde la fuente de fluido hasta 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 realizaciones ilustrativas, también puede estar presente un tercer motor eléctrico opcional, que también se puede asociar funcionalmente 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 hasta la cubeta de mezclado.

En ciertas realizaciones ilustrativas, el módulo mezclador eléctrico puede incluir una primera unidad mezcladora y una segunda unidad mezcladora, cada una dispuesta adyacente a la otra sobre el módulo mezclador y cada una capaz de funcionar independiente, 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 por lo menos un motor eléctrico que se asocia funcionalmente con la fuente dedicada de energía eléctrica y que efectúa la mezcla del fluido de la fuente de fluido con el aditivo de fluido desde la fuente de aditivo de fluido. Alternativamente, 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 funcionalmente con la fuente dedicada de energía eléctrica, en la que el primer motor eléctrico efectúa el suministro del fluido desde la fuente de fluido hasta la cubeta de mezclado y el segundo motor eléctrico efectúa 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 realizaciones ilustrativas, cada una de la primera unidad mezcladora y la segunda unidad mezcladora también puede tener un tercer motor eléctrico asociado funcionalmente con la fuente dedicada de energía eléctrica, en la que el tercer motor eléctrico efectúa el suministro del aditivo de fluido desde la fuente de aditivo de fluido hasta la cubeta de mezclado.

Según otro aspecto de materia objeto divulgada, que no es parte de la invención, pero es útil para comprender la misma, se proporciona un módulo mezclador eléctrico para usar en el suministro de un fluido de fracturación mezclado a un recinto de pozo. El módulo mezclador eléctrico puede incluir una primera unidad mezcladora accionada eléctricamente y un primer colector de entrada acoplado a la primera unidad mezcladora accionada eléctricamente y capaz de suministrar un fluido de fracturación no mezclado a la misma. Un primer colector de salida se puede acoplar a la primera unidad mezcladora accionada eléctricamente y puede ser capaz de suministrar el fluido de fracturación mezclado lejos de esta. Se puede proporcionar una segunda unidad mezcladora accionada eléctricamente. Un segundo colector de entrada se puede acoplar a la segunda unidad mezcladora accionada eléctricamente y capaz de suministrar el fluido de fracturación no mezclado a esta. Un segundo colector de salida se puede acoplar a la segunda unidad mezcladora accionada eléctricamente y puede ser capaz de suministrar el fluido de fracturación mezclado lejos de esta. Una línea de cruce de entrada se puede acoplar a tanto el primer colector de entrada y el segundo colector de entrada y puede ser capaz de suministrar el fluido de fracturación no mezclado entre ellos. Una línea de cruce de salida se puede acoplar a tanto el primer colector de salida como el 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 serán evidentes para aquellos expertos en la técnica tras analizar la siguiente descripción detallada junto con las figuras acompañantes.

Breve descripción de los dibujos

Una mejor comprensión de la materia objeto divulgada actualmente se puede obtener cuando se considere la siguiente descripción detallada junto con los siguientes dibujos en los que:

la Figura 1 es una vista de plano esquemática de un sitio de fracturación tradicional;

la Figura 2 es una vista de plano esquemática de un sitio de fracturación de acuerdo con ciertas realizaciones ilustrativas descritas en este documento;

la Figura 3 es una vista en perspectiva esquemática de un remolque de fracturación de acuerdo con ciertas realizaciones ilustrativas descritas en este documento;

la Figura 4A es una vista en perspectiva esquemática de un módulo de fracturación de acuerdo con ciertas realizaciones ilustrativas descritas en este documento;

5 la Figura 4B es una vista en perspectiva esquemática de un módulo de fracturación con personal de mantenimiento de acuerdo con ciertas realizaciones ilustrativas descritas en este documento;

la Figura 5A es una vista lateral esquemática de un módulo mezclador según ciertas realizaciones ilustrativas descritas en esta memoria;

la Figura 5B es una vista de extremo del módulo mezclador mostrado en la Figura 4A;

10 la Figura 5C es una vista superior esquemática de un módulo mezclador según ciertas realizaciones ilustrativas descritas en esta memoria;

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;

15 la Figura 6 es una vista superior esquemática de un colector de entrada para un módulo mezclador según ciertas realizaciones ilustrativas descritas en esta memoria; y

la Figura 7 es una vista superior esquemática de un colector de salida para un módulo mezclador según ciertas realizaciones ilustrativas descritas en esta memoria.

Descripción detallada

20 La materia objeto actualmente divulgada se refiere en general a un sistema de fracturación energizado eléctricamente y un sistema y método para la provisión de energía eléctrica en el sitio y el suministro de fluido de fracturación a un recinto de pozo en una operación de fracturación.

25 En una operación de fracturación convencional, una "suspensión" de fluidos y aditivos se inyecta en una formación rocosa con hidrocarburos en un recinto de pozo para propagar la fracturación. Los fluidos de baja presión se mezclan con productos químicos, arena y si es necesario ácido y luego se transfieren a media presión y alta velocidad a porciones verticales y/o desviadas del recinto de pozo por medio de múltiples bombas de tipo embolo de alta presión accionadas por motores primarios energizados con diésel. La mayoría de los fluidos inyectados fluirán nuevamente a través del recinto de pozo y serán recuperados mientras que la arena se mantendrá en la fractura recién creada, de esta manera se "apuntala" para abrirlo y se proporciona una membrana permeable para los fluidos de hidrocarburos y gases para que fluyan a través de modo que se puedan recuperar.

30 De acuerdo con las realizaciones ilustrativas descritas en el presente documento, el gas natural (ya sea que se suministre al sitio o se produzca en el sitio) se puede utilizar para accionar una fuente dedicada de energía eléctrica, tal como un generador de turbina, para las terminaciones de recintos de pozos que producen hidrocarburos. Se proporciona una flota dimensionable de fracturación energizada eléctricamente para suministrar fluido de tratamiento presurizado, tal como fluido de fracturación, a un recinto de pozo en una operación de fracturación en la que no se necesita un suministro constante de combustible diésel al sitio y se reduce el espacio ocupado de sitio y la infraestructura requerida para la
35 operación de fracturación cuando se compara con las operaciones convencionales. En ciertas realizaciones ilustrativas, el fluido de tratamiento proporcionado para un suministro presurizado al recinto de pozo puede ser continuo con el recinto de pozo y con uno o más componentes de la flota de fracturación. En estas realizaciones, generalmente continuo significa que la hidrodinámica de fondo de pozo depende del flujo constante (velocidad y presión) de los fluidos suministrados y
40 que no tiene que haber interrupción alguna en el flujo de fluido durante el suministro al recinto de pozo si se desea que la fractura se propague. Sin embargo, esto no se debe interpretar que significa que las operaciones de la flota de fracturación no se pueden generalmente detener e iniciar, como lo comprenderá un experto en la técnica.

45 Con referencia a la Figura 1, se muestra un plan de sitio para una operación de fracturación tradicional en un sitio en tierra firme. Se proporcionan múltiples remolques 5, cada uno tiene por lo menos un tanque de diésel instalado o dispuesto de otro modo en el mismo. Cada remolque 5 se conecta a un camión 6 para permitir el reabastecimiento de los tanques de diésel según se requiera. Los camiones 6 y remolques 5 se localizan dentro de la región A en el sitio de fracturación. Cada camión 6 requiere un operador dedicado. Uno o más motores primarios son abastecidos con diésel y se utilizan para energizar la operación de fracturación. Se proporcionan uno o más patines 7 de manipulación de productos químicos separados para el alojamiento de tanques de mezcla y equipos relacionados.

50 Con referencia a la Figura 2, se muestra una realización ilustrativa de un plan del sitio para una operación de fracturación energizada eléctricamente en un sitio en tierra firme. La operación de fracturación incluye uno o más remolques 10, cada uno aloja uno o más módulos de fracturación 20 (véase Figura 3). Los remolques 10 se localizan en la región B en el sitio de fracturación. Uno o más generadores 30 de turbinas energizados con gas natural se localizan en la región C en el sitio que se localiza a una distancia remota D de la región B en la que los remolques 10 y los módulos de fracturación 20 se

localizan por razones de seguridad. Los generadores 30 de turbina reemplazan los motores primarios de diésel utilizados en el plan de sitio de la Figura 1. Los generadores 30 de turbina proporcionan una fuente dedicada de energía eléctrica en el sitio. Preferiblemente existe una separación física entre la generación de energía a base de gas natural en la región C y la operación de fracturación y el recinto de pozo localizados en la región B. La generación de energía a base de gas natural puede requerir mayores precauciones de seguridad que la operación de fracturación y el cabezal de pozo. De acuerdo con lo anterior, se pueden tomar medidas de seguridad en la región C para limitar el acceso a esta localización más peligrosa mientras que se mantienen estándares de seguridad separados en la región B en la que normalmente se encuentra la mayoría del personal del sitio. Adicionalmente, el suministro energizado con gas natural se puede monitorizar y regular de forma remota de modo tal que si se desea no se requiere que el personal se encuentre dentro de la región C durante la operación.

Notablemente, la configuración de la Figura 2 requiere una infraestructura significativamente menor que la configuración que se muestra en la Figura 1 y al mismo tiempo proporciona una capacidad de bombeo comparable. Menos remolques 10 están presentes en la región B de la Figura 2 que los camiones 6 y remolques 5 en la región A de la Figura 1 como consecuencia de la falta de necesidad de un suministro constante de combustible diésel. Adicionalmente, cada remolque 10 en la Figura 2 no necesita un camión 6 y un operador dedicado como en la Figura 1. Menos patines 7 de manipulación de productos químicos se requieren en la región B de la Figura 2 que en la región A de la Figura 1 porque los patines 7 en la Figura 2 pueden ser energizados eléctricamente. También, al eliminar los motores primarios de diésel, se puede eliminar toda la maquinaria asociada necesaria para la transferencia de energía, tal como transmisión, convertidor de torque, embrague, árbol de transmisión, sistema hidráulico, etc. y se reduce significativamente la necesidad de sistemas de enfriamiento que incluyen bombas y fluidos de circulación. En una realización ilustrativa, el espacio físico ocupado del área en el sitio en la región B de la Figura 2 es aproximadamente 80% menor que el espacio ocupado por el sistema convencional en la región A de la Figura 1.

Con referencia a las realizaciones 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 realizaciones ilustrativas. Cada módulo de fracturación 20 puede incluir un motor 21 eléctrico y una bomba 22 de fluido acoplada al mismo. Durante la fracturación, el módulo de fracturación 20 se asocia funcionalmente con un generador 30 de turbina para recibir energía eléctrica del mismo. En ciertas realizaciones ilustrativas, una pluralidad de motores 21 eléctricos y bombas 22 pueden ser transportados en un único remolque 10. En las realizaciones ilustrativas de la Figura 3, cuatro motores 21 eléctricos y bombas 22 son transportados en un único remolque 10. Cada motor 21 eléctrico está emparejado con una bomba 22 como un único módulo de fracturación 20. Cada módulo de fracturación 20 se puede instalar de modo separable en el remolque 10 para facilitar el reemplazo según sea necesario. Los módulos de fracturación 20 utilizan energía eléctrica del generador 30 de turbina para bombear el fluido de fracturación directamente al recinto de pozo.

Generación de energía eléctrica

El uso de una turbina para accionar directamente una bomba ha sido investigado previamente. En dichos sistemas, se utiliza una transmisión para regular la potencia de la turbina a la bomba para permitir el control de la velocidad y del torque. En la presente operación, se utiliza en su lugar gas natural para accionar una fuente dedicada de energía para la producción de electricidad. En realizaciones ilustrativas, la fuente dedicada de energía es un generador de turbina en el sitio. Se elimina la necesidad de una transmisión y la electricidad generada se puede utilizar para energizar los módulos de fracturación, los mezcladores y otras operaciones en el sitio según sea necesario.

En el sitio puede estar accesible la energía eléctrica de la red eléctrica en ciertas operaciones de fracturación, pero se prefiere el uso de una fuente dedicada de energía. Durante el inicio de una operación de fracturación, se requieren enormes cantidades de energía de modo tal que el uso de la energía eléctrica de la red eléctrica sería irrealizable. Los generadores energizados con gas natural son más apropiados para esta aplicación con base en la posible disponibilidad de gas natural en el sitio y la capacidad de los generadores de gas natural para producir grandes cantidades de energía. Notablemente, la posibilidad de ajustes instantáneos muy grandes de la energía extraída de la red eléctrica durante una operación de fracturación puede poner en peligro la estabilidad y confiabilidad del sistema de red de energía eléctrica. De acuerdo con lo anterior, una fuente dedicada de electricidad y generada en el sitio proporciona una solución más factible para abastecer un sistema eléctrico de fracturación. Adicionalmente, una operación dedicada en el sitio se puede utilizar para proporcionar energía para el funcionamiento de otros equipos locales, que incluyen sistemas de tubería enrollada, plataformas de servicio, etc.

En una realización ilustrativa, un único generador 30 de turbina energizado con gas natural que 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 abastecer varios motores 21 eléctricos y bombas 22 y evitar la necesidad actual de suministrar y hacer funcionar cada bomba de fluido desde un camión separado energizado con diésel. Una turbina apropiada para este propósito es un generador de turbina TM2500+ vendido por General Electric. Otros paquetes de generación pueden ser suministrados, por ejemplo, por Pratt & Whitney o Kawasaki. Están disponibles muchas opciones para la generación de energía con turbinas que dependen de la cantidad de electricidad requerida. En una realización ilustrativa, combustibles líquidos tales como condensados también se pueden proporcionar para accionar un generador 30 de turbina en lugar o además de gas natural. El condensado es más barato que el combustible diésel y de esta manera se reducen los costes operativos.

Módulo de fracturación

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

En ciertas realizaciones el motor 21 eléctrico se asocia funcionalmente con el generador 30 de turbina. Normalmente, cada módulo de fracturación 20 estará asociado con un alojamiento de accionamiento para controlar el motor 21 eléctrico y las bombas 22, así como un transformador eléctrico y una unidad 50 de accionamiento (véase la Figura 3) para reducir el voltaje de la potencia del generador 30 de turbina a un voltaje apropiado para el motor 21 eléctrico. En varias realizaciones, el transformador eléctrico y la unidad 50 de accionamiento se pueden proporcionar como una unidad independiente para asociarse con el módulo de fracturación 20 o se pueden fijar de manera permanente en el remolque 10. Si están permanentemente fijos, entonces el transformador y unidad 50 de accionamiento se pueden dimensionar para permitir la adición o sustracción de bombas 22 u otros componentes para acomodarse a los requisitos operativos.

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

En la realización ilustrativa de la Figura 3, el remolque 10 puede alojar cuatro módulos de fracturación 20 junto con un transformador y una unidad 50 de accionamiento. En esta configuración particular, cada uno de los remolques 10 proporciona más capacidad de bombeo que cuatro de los remolques 5 de fracturación energizados con diésel tradicionales de la Figura 1 porque las pérdidas parásitas son mínimas en el sistema de fracturación eléctrico en comparación con las pérdidas parásitas típicas de los sistemas energizados con diésel. Por ejemplo, una bomba de fluido energizada con diésel convencional tiene 1677824.71 W (2250 hp) nominales. Sin embargo, como consecuencia de las pérdidas parásitas en la transmisión, el conversor de torque y los sistemas de enfriamiento, los sistemas energizados con diésel normalmente solo proporcionan 1342259.77 W (1800 hp) a las bombas. En contraste, el sistema actual puede suministrar 1864249.68 W (2500 hp) reales directamente a cada bomba 22 porque la bomba 22 se acopla directamente al motor 21 eléctrico. Adicionalmente, el peso nominal de una bomba de fluido convencional es de hasta 54431.0844 kg (120 000 libras). En la operación actual, cada módulo de fracturación 20 pesa aproximadamente 127005.8636 kg (28 000 libras), permitiendo de esta manera la colocación de cuatro bombas 22 en la misma dimensión física (tamaño y peso) que el espacio necesario para una sola bomba en los sistemas de diésel convencionales, así como también permite hasta 7456998.72 W (10 000 hp) totales para las bombas. En otras realizaciones, más o menos módulos de fracturación 20 pueden estar localizados en el remolque 10, según se desee o requiera con propósitos operativos.

En ciertas realizaciones ilustrativas, el módulo de fracturación 20 puede incluir un motor 21 eléctrico que es un motor de imán permanente de CA con capacidad de operación en el intervalo de hasta 1500 rpm y hasta 14751.242 Nm (20 000 pies/libra) de torque. El módulo de fracturación 20 también puede incluir una bomba 22 que es una bomba de fluido de tipo embolo acoplada a un motor 21 eléctrico. En ciertas realizaciones 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 cm (100") de altura. Estas dimensiones permiten que el módulo de fracturación 20 sea fácilmente portátil y se ajuste con un contenedor intermodal ISO para propósitos de transporte sin necesidad de desmontarlo. Las longitudes del contenedor según la norma ISO de tamaño estándar son normalmente 6 m (20'), 12 m (40') o 16 m (53'). En ciertas realizaciones ilustrativas, el módulo de fracturación 20 puede tener dimensiones no mayores que 345.44 cm (136") de ancho x 274.32 cm (108") de largo x 254 cm (100") de altura. Estas dimensiones del módulo de fracturación 20 también permiten que miembros de la cuadrilla entren fácilmente dentro de los límites del módulo de fracturación 20 para realizar reparaciones, tal como se ilustra en la Figura 4b. En ciertas realizaciones ilustrativas, el módulo de fracturación 20 puede tener un ancho no mayor que 259.08 cm (102") para estar dentro de las configuraciones de transporte y restricciones de rutas. En una realización específica, el módulo de fracturación 20 tiene la capacidad de funcionar a 1864249.68 W (2500 hp) mientras que todavía tiene las dimensiones anteriormente especificadas y cumple las especificaciones anteriormente mencionadas para rpm y Nm (pies/libra) de torque.

Motor eléctrico

Con referencia a las realizaciones ilustrativas de las Figuras 2 y 3, un motor 21 eléctrico de imán permanente de CA de voltaje bajo medio recibe energía eléctrica del generador 30 de turbina y se acopla directamente a la bomba 22. En ciertas realizaciones ilustrativas, con el fin de asegurar que sea adecuado para usar en fracturación, el motor 21 eléctrico debe tener capacidad de operación de hasta 1500 rpm con un torque de hasta 14751.242 Nm (20 000 pies/libra). Un motor apropiado para este propósito se vende bajo la marca comercial TeraTorq® que está disponible de Comprehensive Power, Inc. de Marlborough, Massachusetts. Un motor compacto con torque suficiente permitirá que se maximice la cantidad de módulos de fracturación 20 colocados en cada remolque 10.

Mezclador

Para mayor eficiencia, los mezcladores convencionales energizados con diésel y las unidades de adición de productos químicos se pueden reemplazar con unidades mezcladoras energizadas eléctricamente. En ciertas realizaciones ilustrativas, como se describe en el presente documento, las unidades mezcladoras energizadas eléctricamente pueden ser de naturaleza modular y son alojadas en el remolque 10 en lugar del módulo de fracturación 20 o son alojadas de forma independiente y están asociadas con cada remolque 10. Una operación de mezcla eléctrica permite mayor precisión y control de los aditivos de fluido de fracturación. Adicionalmente, las cubetas de mezclado centrífugas normalmente utilizadas en remolques de mezcla para mezclar fluidos con agente apuntalante, arena, productos químicos, ácido, etc. antes de suministrarlos al recinto de 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 realizaciones ilustrativas de un módulo mezclador 40 y sus componentes. El módulo mezclador 40 puede estar asociado funcionalmente con el generador 30 de turbina y tiene la capacidad de proporcionar fluido de fracturación a la bomba 22 para suministrarlo al recinto de pozo. En ciertas realizaciones, el módulo mezclador 40 puede incluir por lo menos una fuente 44 de aditivo de fluido, por lo menos una fuente 48 de fluido y por lo menos una cubeta 46 de mezclado centrífuga. La energía eléctrica puede suministrarse desde el generador 30 de turbina al módulo mezclador 40 para efectuar la mezcla de un fluido de la fuente 48 de fluido con un aditivo de fluido de la fuente 44 de aditivo de fluido para generar el fluido de fracturación. En ciertas realizaciones, el fluido de la fuente 48 de fluido 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 realizaciones ilustrativas, el módulo mezclador 40 puede tener una configuración dual con una primera unidad mezcladora 47a y una segunda unidad mezcladora 47b que están adyacentes entre sí. Esta configuración dual se diseña para proporcionar redundancia y facilitar el acceso para mantenimiento y reemplazo de componentes según sea necesario. En ciertas realizaciones, cada unidad mezcladora 47a y 47b puede tener sus propios motores de cubeta y de succión energizados eléctricamente dispuestos en la misma y opcionalmente se pueden utilizar otros motores energizados eléctricamente para funciones operativas adicionales de productos químicos y/o otras funciones operativas auxiliares, como se describe con más detalle en el presente documento.

Por ejemplo, en ciertas realizaciones ilustrativas, la primera unidad mezcladora 47a puede tener una pluralidad de motores eléctricos que incluye un primer motor 43a eléctrico y un segundo motor 41a eléctrico que se utilizan para accionar varios componentes del módulo mezclador 40. Los motores 41a y 43a eléctricos pueden ser energizados por el generador 30 de turbina. El fluido puede ser bombeado hacia el módulo mezclador 40 a través de un colector 48a de entrada por el primer motor 43a eléctrico y se agrega a la cubeta 46a. Por lo tanto, el primer motor 43a eléctrico actúa como un motor de succión. El segundo motor 41a eléctrico puede accionar el proceso de mezcla centrífuga en la cubeta 46a. El segundo motor 41a eléctrico también puede accionar el suministro de fluido mezclado fuera del módulo mezclador 40 y hacia el recinto de pozo a través de un colector 49a de salida. Por lo tanto, el segundo motor 41a eléctrico actúa como un motor de cubeta y un motor de descarga. En ciertas realizaciones ilustrativas, también se puede proporcionar un tercer motor 42a eléctrico. El tercer motor 42a eléctrico también puede ser energizado por el generador 30 de turbina y puede suministrar aditivos de fluido al mezclador 46a. Por ejemplo, un agente apuntalante desde una tolva 44a puede ser suministrado hasta una cubeta 46a de mezclado, por ejemplo, una cubeta de mezclado centrífuga por una barrena 45a que es energizada por el tercer motor 42a eléctrico.

De modo similar, en ciertas realizaciones ilustrativas, la segunda unidad mezcladora 47b puede tener una pluralidad de motores eléctricos que incluyen un primer motor 43b eléctrico y un segundo motor 41b eléctrico que se utilizan para accionar varios componentes del módulo mezclador 40. Los motores 41b y 43b eléctricos pueden ser energizados por el generador 30 de turbina. El fluido puede ser bombeado hacia el módulo mezclador 40 a través de un colector 48b de entrada por el primer motor 43b eléctrico y se agrega a la cubeta 46b. Por lo tanto, el segundo motor 43a eléctrico actúa como un motor de succión. El segundo motor 41b eléctrico puede accionar el proceso de mezcla centrífuga en la cubeta 46b. El segundo motor 41b eléctrico también puede accionar el suministro de fluido mezclado fuera del módulo mezclador 40 y hacia el recinto de pozo a través de un colector 49b de salida. Por lo tanto, el segundo motor 41b eléctrico actúa como un motor de cubeta y un motor de descarga. En ciertas realizaciones ilustrativas, también se puede proporcionar un tercer motor 42b eléctrico. El tercer motor 42b eléctrico también puede ser energizado por el generador 30 de turbina y puede suministrar aditivos de fluido al mezclador 46b. Por ejemplo, un agente apuntalante de una tolva 44b puede ser suministrado a una cubeta 46b de mezclado, por ejemplo, una cubeta de mezclado centrífuga por una barrena 45b que es energizada por el tercer motor 42b eléctrico.

El módulo mezclador 40 también puede incluir una cabina 53 de control para alojar los controles de equipamiento de la primera unidad mezcladora 47a y la segunda unidad mezcladora 47b y puede incluir adicionalmente, según se requiera, accionadores y enfriadores apropiados.

Los mezcladores convencionales energizados por un sistema hidráulico de diésel están normalmente alojados en un remolque de tractor de 13.7162 m (cuarenta y cinco pies) y tienen capacidad para aproximadamente 15.8987 m³/min (100 barriles/minuto). En contraste, la configuración dual de módulo mezclador 40 que tiene una primera unidad mezcladora 47a y una segunda unidad mezcladora 47b puede proporcionar una capacidad de producción total de

38.157 m³/min (240 barriles/minuto) en el mismo espacio ocupado físico que un mezclador convencional, sin la necesidad de una unidad de emergencia separada en caso de falla.

En el pasado se han intentado mezcladores de sistemas redundantes con éxito limitado, principalmente como consecuencia de los problemas con los contrapesos de los remolques sin dejar de suministrar la cantidad de energía apropiada. Normalmente, dos motores separados cada uno de aproximadamente 484704.92 W (650 hp), se instalan lado a lado en la nariz del remolque. Con el fin de accionar todos los sistemas necesarios, cada motor debe accionar una cubeta de mezclado por medio de una transmisión, caja de caída y árbol de transmisión extendido. También se coloca un gran sistema hidráulico para cada motor para accionar todos los sistemas auxiliares, tales como la adición de productos químicos y bombas de succión. Las pérdidas parásitas de energía son muy grandes y el sistema de manguera y cableado es complejo.

En contraste, el módulo mezclador 40 energizado eléctricamente descrito en ciertas realizaciones ilustrativas en el presente documento puede disminuir las pérdidas de potencia parásitas de los sistemas convencionales por el accionamiento directo de cada pieza de equipo crítico con un motor eléctrico dedicado. Adicionalmente, el módulo mezclador 40 energizado eléctricamente descrito en ciertas realizaciones ilustrativas en el presente documento permite rutas de tubería que no están disponibles en las aplicaciones convencionales. Por ejemplo, en ciertas realizaciones ilustrativas, la fuente de fluido puede ser un colector 48 de entrada que puede tener una o más líneas 50 de cruce de entrada (véase la Figura 7) que conectan la sección de colector 48 de entrada dedicado para suministrar fluido a la primera unidad mezcladora 47a con la sección del colector 48 de entrada dedicado para suministrar fluido a la segunda unidad mezcladora 47b. De modo similar, en ciertas realizaciones ilustrativas, el colector 49 de salida puede tener una o más líneas 51 de cruce de salida (véase la Figura 6) que conectan la sección de colector 49 de salida dedicado para suministrar fluido desde la primera unidad mezcladora 47a con la sección de colector 49 de salida dedicado para suministrar fluido desde la segunda unidad mezcladora 47b. Las líneas 50 y 51 de cruce permiten que se enrute o desvíe el flujo entre la primera unidad mezcladora 47a y la segunda unidad mezcladora 47b. Por lo tanto, el módulo mezclador 40 puede mezclar desde cualquier lado o desde ambos lados y/o descargar en cualquiera de los lados o en ambos lados, si es necesario. Como resultado, las velocidades alcanzables por el módulo mezclador 40 energizado eléctricamente son mucho más grandes que las de un mezclador convencional. En ciertas realizaciones ilustrativas, cada lado (es decir, primera unidad mezcladora 47a y segunda unidad mezcladora 47b) del módulo mezclador 40 tiene una capacidad de aproximadamente 19.0785 m³/min (120 barriles/minuto). También, cada lado (es decir, primera unidad mezcladora 47a y segunda unidad mezcladora 47b) puede desplazar aproximadamente 15 t/min de arena, por lo menos en parte porque la longitud de la barrena 45 es más corta (aproximadamente 1.8 m (6')) si se compara con las unidades convencionales (aproximadamente 3.6 m (12')).

En ciertas realizaciones ilustrativas, el módulo mezclador 40 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 que cuatro módulos de fracturación 20, un módulo mezclador 40 reducido puede reemplazar uno de los módulos de fracturación 20 en el remolque 10, reduciendo de esta manera los costes operativos y mejorando la facilidad de transporte del sistema.

Sistema de control

Se puede proporcionar un sistema de control para regular diversos equipos y sistemas dentro de la operación de fracturación energizada eléctricamente. Por ejemplo, en ciertas realizaciones ilustrativas, el sistema de control puede regular el módulo de fracturación 20 en el suministro del fluido de tratamiento desde el módulo mezclador 30 hasta las bombas 22 para suministrarlo al recinto de pozo. Los controles para la operación energizada eléctricamente que se describen en el presente documento son una mejora significativa sobre aquellas de los sistemas de motor de diésel convencionales. Debido a que los motores eléctricos son controlados por accionamientos de frecuencia variable, el control absoluto de todos los equipos sobre el sitio se puede mantener 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 esencialmente "informan" a los motores de qué les está permitido.

Los motores eléctricos controlados por medio de accionamientos de frecuencia variable son mucho más seguros y más fáciles de controlar que los equipos convencionales de motor de diésel. Por ejemplo, flotas convencionales con bombas energizadas con diésel utilizan transmisión y motor controlados electrónicamente en la unidad. Puede haber hasta catorce parámetros diferentes que necesitan ser monitorizados y controlados para un funcionamiento apropiado. Estas señales normalmente se suelen enviar a través de cables permanentemente conectados a una consola de operador controlada por el accionador de bomba. Las señales se convierten de digitales a analógicas de modo que las entradas se pueden hacer a través de conmutadores y mandos de control. Las entradas se convierten entonces de analógicas nuevamente a digitales y se envían de nuevo a la unidad. El módulo de control de la unidad informa entonces al motor o transmisión para 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 porque la señal debe viajar a la consola, nuevamente a la unidad y luego realizar una función mecánica. Las sobrepresiones pueden ocurrir en milisegundos como consecuencia de la naturaleza de las operaciones. Estas en general se deben a errores

humanos y puede ser tan simple como que un único operador falla en reaccionar a un comando. También con frecuencia se deben a una válvula que se cierra, que accidentalmente crea una situación de "punto muerto".

Por ejemplo, en enero de 2011, una operación de fracturación de gran escala se llevó a cabo en la cuenca del Río Horn en el noreste de la Columbia Británica, Canadá. Se produjo una fuga en una de las líneas y se dio una orden de cierre. La válvula principal en el cabezal de pozo se cerró entonces de forma remota. Desafortunadamente, múltiples bombas siguieron funcionando y sobrevino un sistema de sobrepresión. El hierro tratado clasificado para 68.9 MPa (689.4757 bar, 10 000 psi) fue llevado a más de 103.4 MPa (1034.2136 bar, 15 000 psi). Una línea conectada con el pozo también se separó y comenzó a golpear a su alrededor. El incidente provocó una parada de toda la operación durante más de una semana mientras se realizaba una investigación y se evaluaban los daños.

El sistema de control provisto, de acuerdo con las realizaciones ilustrativas presentes, al ser accionado eléctricamente elimina virtualmente la posibilidad de que ocurran este tipo de situaciones. Un valor máximo de presión fijado al comienzo de la operación es la cantidad máxima de energía que se puede enviar al motor 21 eléctrico para la bomba 22. Al extrapolar un valor de corriente máxima de esta entrada, el motor 21 eléctrico no tiene la energía disponible para superar su presión de operación. También, dado que virtualmente no existen sistemas mecánicos entre la bomba 22 y el motor 21 eléctrico, hay que lidiar con un "momento de inercia" mucho más pequeño de los engranajes y embragues. Una detención casi instantánea del motor 21 eléctrico produce una detención casi instantánea de la bomba 22.

Un sistema energizado eléctricamente y controlado como se describe en el presente documento aumenta en gran medida la facilidad con la que se puede sincronizar o subordinar todo el equipo entre sí. Esto significa que un cambio en un único punto lo llevarán a cabo todas las piezas del equipo, a diferencia de los equipos de diésel. Por ejemplo, en las operaciones energizadas con diésel convencionales, el mezclador normalmente suministra todos los fluidos necesarios para todo el sistema. Con el fin de realizar un cambio de velocidad de la operación, el mezclador debe cambiar la velocidad antes de que las bombas cambien sus velocidades. Esto con frecuencia puede tener como resultado un sobreflujo accidental de las cubetas de mezclado y/o la cavitación de las bombas debido al desfase temporal de cada pieza del equipo a las que se les dan órdenes manuales.

En contraste, en ciertas realizaciones ilustrativas, la presente operación utiliza un control de punto único que no se vincula únicamente con las operaciones de mezclado. Todos los parámetros de operación pueden ser ingresados antes de comenzar la fracturación. Si se requiere un cambio de velocidad, el sistema aumentará la velocidad de todo el sistema con un único comando. Esto significa que, si se informa a las bombas 22 que aumenten la velocidad, entonces el módulo mezclador 40 junto con las unidades de productos químicos e incluso los equipos auxiliares, como las correas abrasivas, aumentarán las velocidades para compensar de forma automática.

Se pueden realizar controles apropiados y monitoreo computacional de toda la operación de fracturación en una única localización central, que facilita la adherencia a los parámetros de seguridad preestablecidos. Por ejemplo, un centro 40 de control se indica en la Figura 2 desde el cual se pueden administrar las operaciones por medio del enlace 41 de comunicaciones. Ejemplos de operaciones que pueden ser controladas y monitorizadas remotamente desde el centro 40 de control por medio del enlace 41 de comunicaciones pueden ser la función de generar energía en el Área B o el suministro de fluido de tratamiento desde el módulo mezclador 40 hasta las bombas 22 para suministrarlo al recinto de pozo.

Ejemplo comparación

La Tabla 1 que se muestra a continuación compara y contrasta los costes operativos y los requerimientos de mano de obra para una operación energizada con diésel convencional (tal como se muestra en la Figura 1) con aquellos de la operación energizada eléctricamente (tal como se muestra en la Figura 2).

Tabla 1

Comparación de operación energizada con diésel convencional con operación energizada eléctricamente

Operación energizada con diésel	Operación energizada eléctricamente
Coste total de combustible (diésel): aproximadamente \$80 000 por día	Coste total de combustible (gas natural): aproximadamente \$2300 por día
Intervalo de servicio para motores diésel: aproximadamente cada 200-300 horas	Intervalo de servicio para motor eléctrico: aproximadamente cada 50 000 horas
Cantidad de personal dedicado: aproximadamente 40 personas	Cantidad de personal dedicado: aproximadamente 10 personas

En la Tabla 1, la "operación de motor de diésel" utiliza por lo menos 24 bombas y 2 mezcladores y requiere por lo menos 40267793.07 W (54 000 hp) para ejecutar el programa de fracturación en ese sitio. Cada bomba quema aproximadamente 300 - 400 litros por hora de funcionamiento y las unidades mezcladoras queman una cantidad similar de combustible diésel. Debido al consumo de combustible y la capacidad de combustible de esta unidad convencional, la misma requiere el reabastecimiento de combustible durante la operación, lo que es extremadamente peligroso y representa un peligro de incendio. Adicionalmente, cada pieza de equipo convencional necesita un tractor dedicado para desplazarla y un conductor/operador para conducirlo. El tamaño de la cuadrilla requerida para operar y mantener una operación convencional, tal como la de la Figura 1, representa un coste directo para el operador del sitio.

En contraste, la operación energizada eléctricamente, como se describe en el presente documento, utiliza una turbina que solo consume alrededor de 6 mm scf de gas natural cada 24 horas. En tasas de mercado actuales (aproximadamente \$2.50 por mmbtu), esto equivale a una reducción en el coste directo para el operador del sitio de más de \$77 000 por día en comparación con la operación energizada con diésel. También, el intervalo de mantenimiento de los motores eléctricos es de aproximadamente 50 000 horas, lo que permite que desaparezca la mayor parte de los costes de confiabilidad y mantenimiento. Adicionalmente, la necesidad de múltiples accionadores/operadores se reduce significativamente y la operación energizada eléctricamente significa que un único operador puede ejecutar todo el sistema desde una ubicación central. El tamaño de la cuadrilla se puede reducir en aproximadamente 75%, ya que solo se necesitan aproximadamente 10 personas en el mismo sitio para llevar a cabo las mismas tareas que en las operaciones convencionales, incluyendo las 10 personas el personal de mantenimiento fuera del sitio. Adicionalmente, el tamaño de la cuadrilla no se modifica con la cantidad de equipos utilizados. De esta manera, la operación energizada eléctricamente es significativamente más económica.

Diseño modular y realizaciones alternativas

Como se señaló anteriormente, la naturaleza modular de la operación de fracturación energizada eléctricamente que se describe en el presente documento proporciona ventajas operativas y eficiencias significativas sobre los sistemas de fracturación tradicionales. Cada módulo de fracturación 20 está situado en el remolque 10 que aloja los soportes necesarios y los sistemas múltiples para succiones de baja presión y descargas de alta presión. Cada módulo de fracturación 20 se puede retirar del servicio y reemplazar sin cerrar o comprometer la dispersión de fracturación. Por ejemplo, la bomba 22 se puede aislar con respecto al remolque 10, se retira y reemplaza por una nueva bomba 22 en pocos minutos. Si el módulo de fracturación 20 requiere mantenimiento, se puede aislar de las líneas de fluido, desconectar, separar y retirar con un montacargas. Otro módulo de fracturación 20 se puede entonces reinsertar de la misma manera y realizar un ahorro de tiempo drástico. Adicionalmente, el módulo de fracturación 20 retirado se puede reparar o se realiza su mantenimiento en el sitio. En cambio, si una de las bombas en un sistema energizado con diésel convencional sale del servicio o requiere mantenimiento, la combinación tractor/remolque debe ser desconectada del sistema múltiple y trasladada del sitio. A continuación, una unidad de reemplazo debe ser respaldada en la línea y reconectada. La manipulación de estas unidades dentro de estos límites estrechos es difícil y peligrosa.

La operación de fracturación energizada eléctricamente que se describe actualmente puede fácilmente adaptarse para acomodar tipos adicionales de capacidades de bombeo según sea necesario. Por ejemplo, se puede proporcionar un módulo de bombeo de reemplazo que está adaptado para ser instalado de modo separable en el remolque 10. El módulo de bombeo de reemplazo se puede utilizar 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 rango y la capacidad operativa. En un sistema convencional, si se requiere una bomba de nitrógeno, una unidad de camión/remolque separada se debe llevar al sitio y unir en la extensión de fracturación. En contraste, la operación actualmente descrita permite un módulo de nitrógeno de reemplazo con generalmente las mismas dimensiones que el módulo de fracturación 20, de modo que el módulo de reemplazo puede entrar en la misma ranura sobre el remolque que el módulo de fracturación 20. El remolque 10 puede contener todas las distribuciones necesarias de energía eléctrica según requiere un módulo de bomba de nitrógeno de modo que no se requieren modificaciones. El mismo concepto se aplica a los módulos de bomba de dióxido de carbono o cualquier otra pieza de equipo que podría requerirse. En lugar de otro camión/remolque se puede utilizar en cambio un módulo de reemplazo especializado.

Se considera que el gas natural es la fuente de combustible disponible más eficiente y más limpia. Mediante el diseño y construcción de "equipo adecuado para el objetivo" que se energiza con gas natural, se espera que cada uno del espacio ocupado de fracturación, mano de obra y requisitos de mantenimiento se pueda reducir en más de 60% en comparación con las operaciones energizadas con diésel tradicionales.

Adicionalmente, la operación de fracturación energizada eléctricamente actualmente descrita resuelve o mitiga los impactos ambientales de las operaciones energizadas por diésel tradicionales. Por ejemplo, la operación energizada con gas natural descrita actualmente puede proporcionar una reducción significativa de las emisiones de dióxido de carbono en comparación con las operaciones energizadas con diésel. En una realización ilustrativa, un sitio de fracturación que utiliza la operación energizada con gas natural actualmente descrita tendría un nivel de emisiones de dióxido de carbono de aproximadamente 2200 kg/h dependiendo de la calidad del gas combustible lo que representa una reducción de aproximadamente 200% de las emisiones de dióxido de carbono respecto de las operaciones energizadas con diésel. También, en una realización ilustrativa, la operación energizada con gas natural actualmente descrita produciría no más que aproximadamente 80 decibelios de sonido con un empaque de silenciador utilizado en la turbina 30 que cumple con los requisitos de OSHA para emisiones de ruido. En comparación, una bomba de

fracturación energizada con diésel convencional que funciona a máximas rpm emite alrededor de 105 decibelios de sonido. Cuando múltiples bombas de fracturación energizadas con diésel funcionan simultáneamente, el ruido es un riesgo significativo asociado con las operaciones convencionales.

En ciertas realizaciones ilustrativas, la operación de fracturación energizada eléctricamente que se describe en el presente documento también se puede utilizar para aplicaciones de petróleo y gas en alta mar, por ejemplo, la fracturación de un recinto de pozo en un sitio en alta mar. Las operaciones convencionales en alta mar ya poseen la capacidad de generar energía eléctrica en el sitio. Estos buques son normalmente a diésel más que eléctricos, lo que significa que la planta de energía de diésel en el buque genera electricidad para satisfacer todos los requisitos de potencia que incluyen la propulsión. La conversión de los servicios de bombeo en alta mar para que funcionen con un suministro de energía eléctrica permitirá que el combustible diésel transportado se utilice en la generación de energía más que para accionar la operación de fracturación, reduciendo de ese modo el consumo de combustible diésel. La energía eléctrica generada a partir de la planta de energía del buque de alta mar (que no es necesaria durante el mantenimiento de la estación) puede ser utilizada para energizar uno o más módulos 10 de fracturación. Esto es mucho más limpio, más seguro y más eficiente que el uso de equipos energizados con diésel. Los módulos 10 de fracturación son también más pequeños y más livianos que el equipo normalmente utilizado en la cubierta de los buques en alta mar, por lo tanto, se suprimen algunos de los problemas de lastre actuales y permite que los buques en alta mar transporten más equipos o materias primas.

En un diseño de cubierta para un buque de estimulación de alta mar convencional, los equipos de bombeo energizados con diésel basados en patines y las instalaciones de almacenamiento en la cubierta del buque crean problemas de lastre. En la cubierta del buque, demasiado equipo pesado hace que el buque tenga un centro de gravedad más alto. También, las líneas de combustible deben dirigirse a cada pieza de equipo lo que aumenta enormemente el riesgo de derrames de combustible. En las realizaciones ilustrativas de un diseño de cubierta de un buque en alta mar que utiliza operaciones de fracturación energizadas eléctricamente como se describe en el presente documento, el espacio ocupado físico del diseño de equipo se reduce significativamente cuando se compara con el diseño convencional. Mas espacio libre está disponible en la cubierta y el peso del equipo se reduce drásticamente, por lo tanto, se eliminan la mayor parte de los problemas de lastre. Se puede utilizar un buque ya diseñado como diésel-eléctrico. Cuando el buque está en la estación en una plataforma y en el modo de mantenimiento de estación, la mayor parte de la potencia que los motores del buque generan se puede llevar hasta la cubierta para energizar los módulos. Las instalaciones de almacenamiento en el buque se pueden ubicar por debajo de la cubierta, y esto hace descender aún mas el centro de gravedad, mientras que el equipo adicional, por ejemplo, un separador trifásico o unidad de tubería enrollada, se puede proporcionar sobre la cubierta, lo que es difícil en los buques energizados con diésel existentes. Estos beneficios junto con el sistema de control electrónico proporcionan ventajas muy superiores sobre los buques convencionales.

Aunque la presente descripción ha contemplado específicamente un sistema de fracturación, el sistema se puede utilizar para energizar bombas con otros propósitos o para energizar 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 energizados con el presente sistema. Adicionalmente, el sistema se puede adaptar para ser utilizado en otros campos de la técnica que requieren operaciones de bombeo de alto torque o alta velocidad, tales como limpieza de tuberías o desagüe de minas.

Ha de entenderse que la materia objeto de esta memoria no se limita a los detalles exactos de construcción, operación, materiales exactos o realizaciones ilustrativas mostrados y descritos, ya que modificaciones y equivalentes serán evidentes para un experto en la materia. Por lo tanto, la materia objeto solo quedará limitada por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema móvil para usar en el suministro de fluido presurizado a un recinto de pozo en un emplazamiento de un pozo para una operación de fracturación, el sistema comprende:

- 5 un generador (30) de turbina energizado por gas natural en el emplazamiento del pozo, en el que el generador (30) de turbina proporciona una fuente de electricidad para energizar la operación de fracturación;
- un módulo de fracturación (20) energizado eléctricamente asociado operativamente con la fuente de electricidad, el módulo de fracturación (20) energizado eléctricamente comprende un motor (21) eléctrico y una bomba (22) de fluido acoplada al motor (21) eléctrico;
- 10 un módulo mezclador (40) energizado eléctricamente asociado operativamente con la fuente de electricidad y capaz de proporcionar fluido de tratamiento a la bomba (22) de fluido para suministrarlo al recinto de pozo;
- un sistema de control para regular el módulo de fracturación (20) en el suministro de fluido de tratamiento desde el módulo mezclador (40) energizado eléctricamente a la bomba (22) de fluido para suministrarlo al recinto de pozo;
- 15 un remolque (10) para alojar el módulo de fracturación (20) energizado eléctricamente o el módulo mezclador (40) energizado eléctricamente;

caracterizado por que

el sistema comprende un transformador eléctrico y una unidad de accionamiento configurada para controlar el voltaje de la electricidad del generador de turbina.

- 20 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el generador (30) de turbina es impulsado por gas natural para producir energía eléctrica.
- 3. El sistema de la reivindicación 1, en el que el módulo de fracturación (20) está asociado con un alojamiento de accionamiento para controlar el motor (21) eléctrico y la bomba (22).
- 4. El sistema de la reivindicación 1, en el que el módulo de fracturación (20) está asociado además con un transformador eléctrico y una unidad (50) de accionamiento para reducir el voltaje de la potencia del generador (30) de turbina hasta un voltaje apropiado para el motor (21) eléctrico.
- 25 5. El sistema de la reivindicación 1, en el que la bomba y el motor (21) eléctrico son de naturaleza modular con el fin de simplificar la retirada y reemplazo del módulo de fracturación.
- 6. El sistema de la reivindicación 1, donde el sistema puede proporcionar 1864249.68 W (2500 hp) directamente a la bomba (22) de fluido.
- 30 7. El sistema de la reivindicación 1, en el que el sistema de control comprende accionamientos de frecuencia variable.
- 8. El sistema de la reivindicación 1, en el que el motor (21) eléctrico es un motor de velocidad variable.
- 9. Un método para suministrar fluido presurizado a un recinto de pozo en un emplazamiento de pozo para una operación de fracturación, el método comprende las etapas de proporcionar:

- 35 un generador (30) de turbina móvil energizado por gas natural en el emplazamiento del pozo, en donde el generador (30) de turbina proporciona una fuente de electricidad para energizar la operación de fracturación;
- un módulo de fracturación (20) móvil energizado eléctricamente asociado operativamente con la fuente de electricidad, el módulo de fracturación (20) energizado eléctricamente comprende un motor (21) eléctrico y una bomba (22) de fluido acoplada al motor (21) eléctrico;
- 40 un módulo mezclador (40) móvil energizado eléctricamente asociado operativamente con la fuente de electricidad y capaz de proporcionar fluido de tratamiento a la bomba (22) de fluido para suministrarlo al recinto de pozo;
- un sistema de control para regular el módulo de fracturación (20) en el suministro de fluido de tratamiento desde el módulo mezclador (40) energizado eléctricamente a la bomba (22) de fluido para suministrarlo al recinto de pozo;
- 45 un remolque (10) para alojar el módulo de fracturación (20) energizado eléctricamente o el módulo mezclador (40) energizado eléctricamente;

caracterizado por que

el método comprende la etapa de proporcionar un transformador eléctrico y una unidad de accionamiento configurada para controlar el voltaje de la electricidad del generador de turbina.

10. El método de la reivindicación 9, en el que el generador (30) de turbina es impulsado por gas natural para producir energía eléctrica.
- 5 11. El método de la reivindicación 9, en el que el módulo de fracturación (20) está asociado con un alojamiento de accionamiento para controlar el motor (21) eléctrico y la bomba.
12. El método de la reivindicación 9, en el que el módulo de fracturación (20) está asociado además con un transformador eléctrico y una unidad (50) de accionamiento para reducir el voltaje de la potencia del generador (30) de turbina hasta un voltaje apropiado para el motor (21) eléctrico.
- 10 13. El método de la reivindicación 9, en el que la bomba y el motor (21) eléctrico son de naturaleza modular con el fin de simplificar la retirada y reemplazo del módulo de fracturación.
14. El método de la reivindicación 9, donde el sistema de control comprende accionamientos de frecuencia variable.
15. El método de la reivindicación 9, en el que el motor (21) eléctrico es un motor de velocidad variable

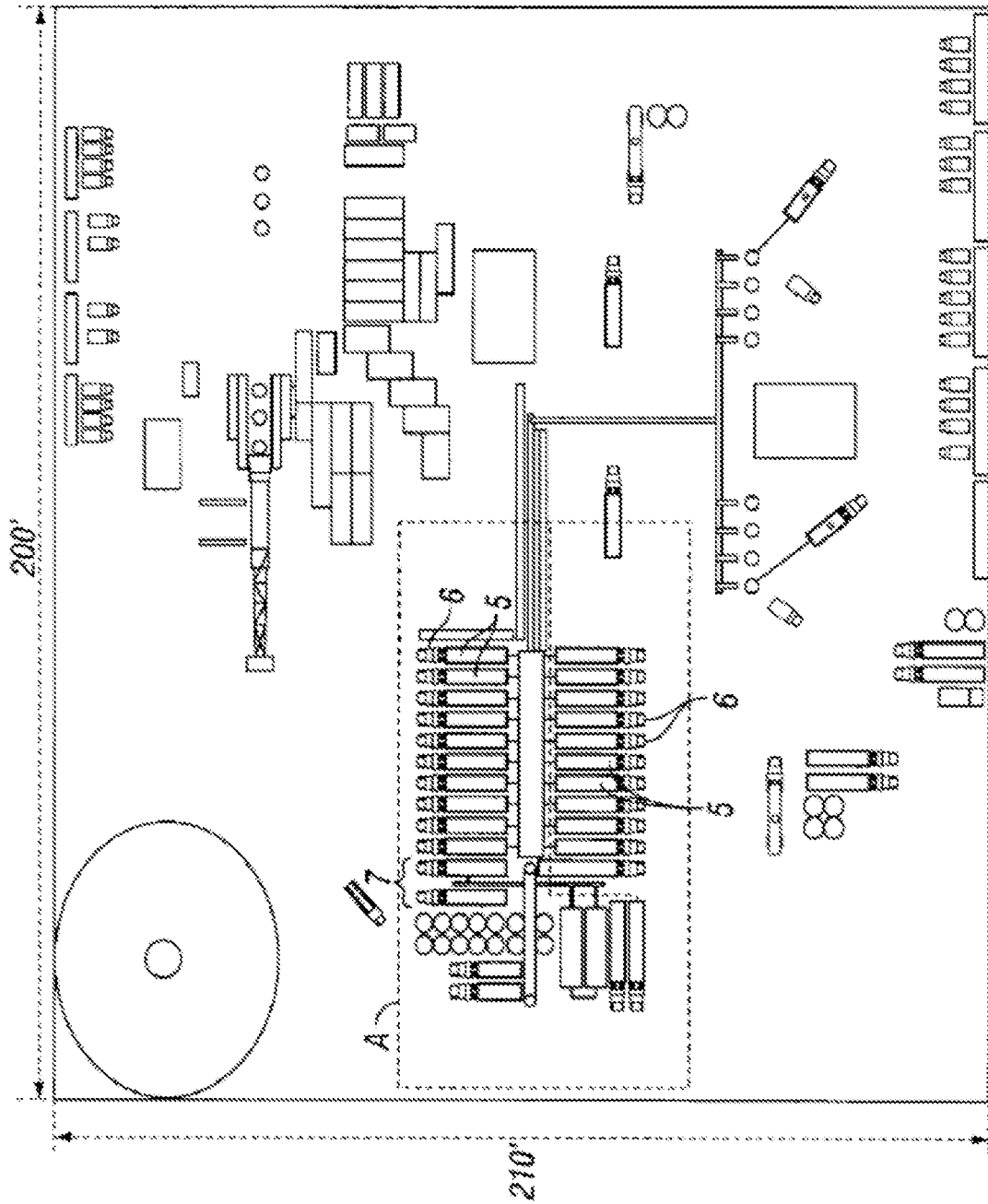


FIG. 1
(Técnica anterior)

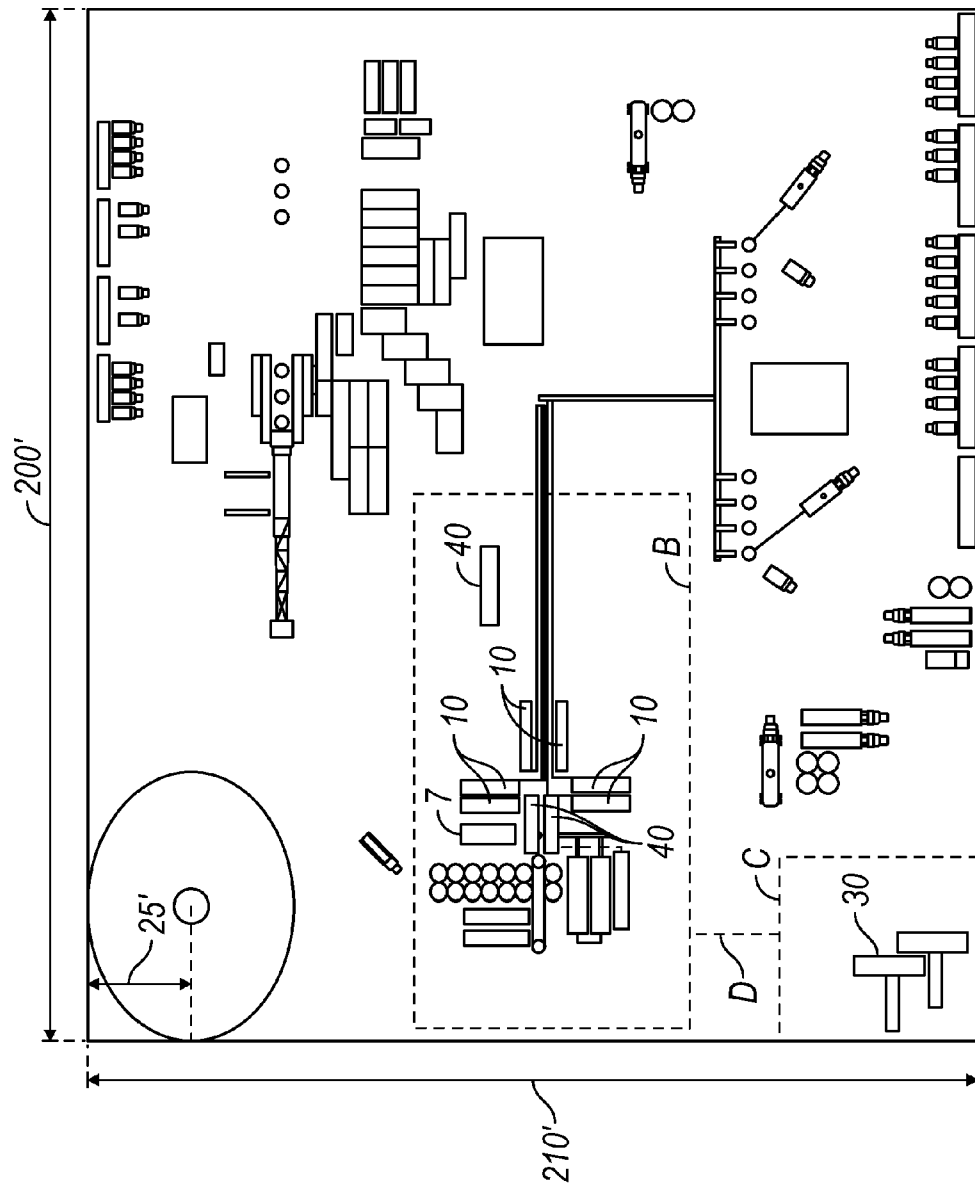


FIG. 2

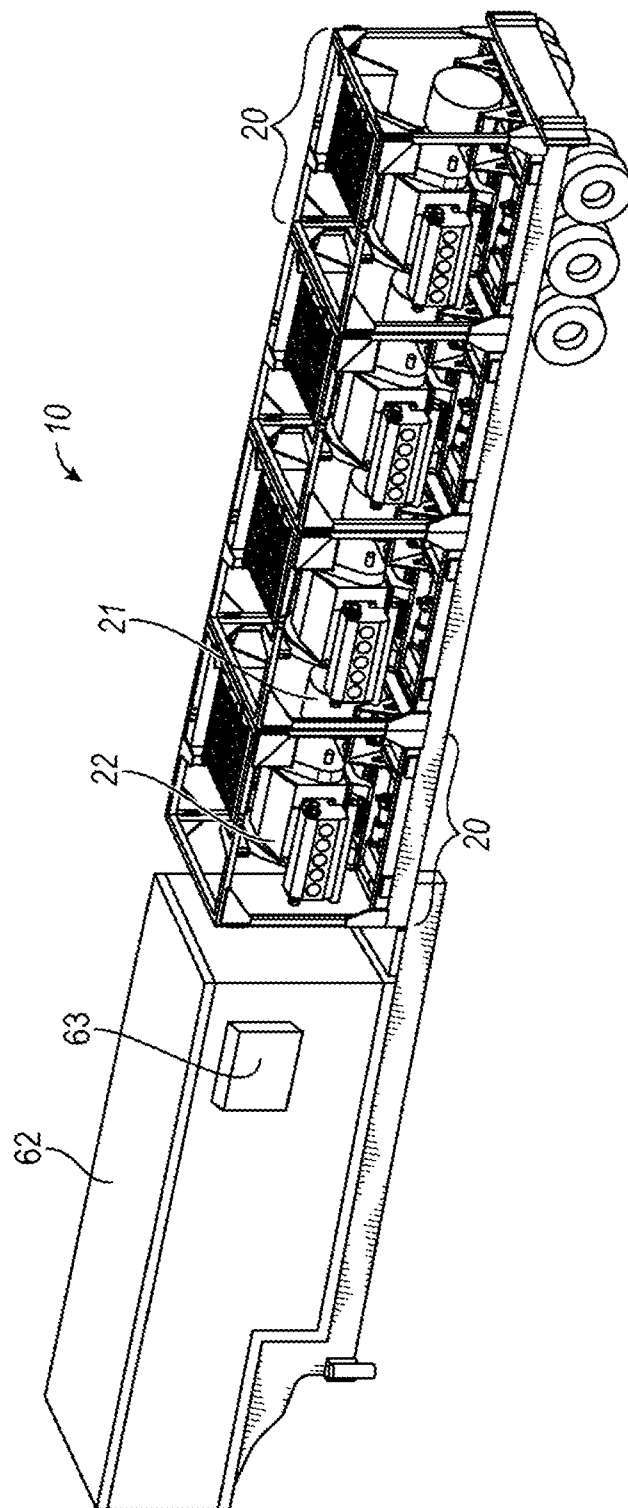


FIG. 3

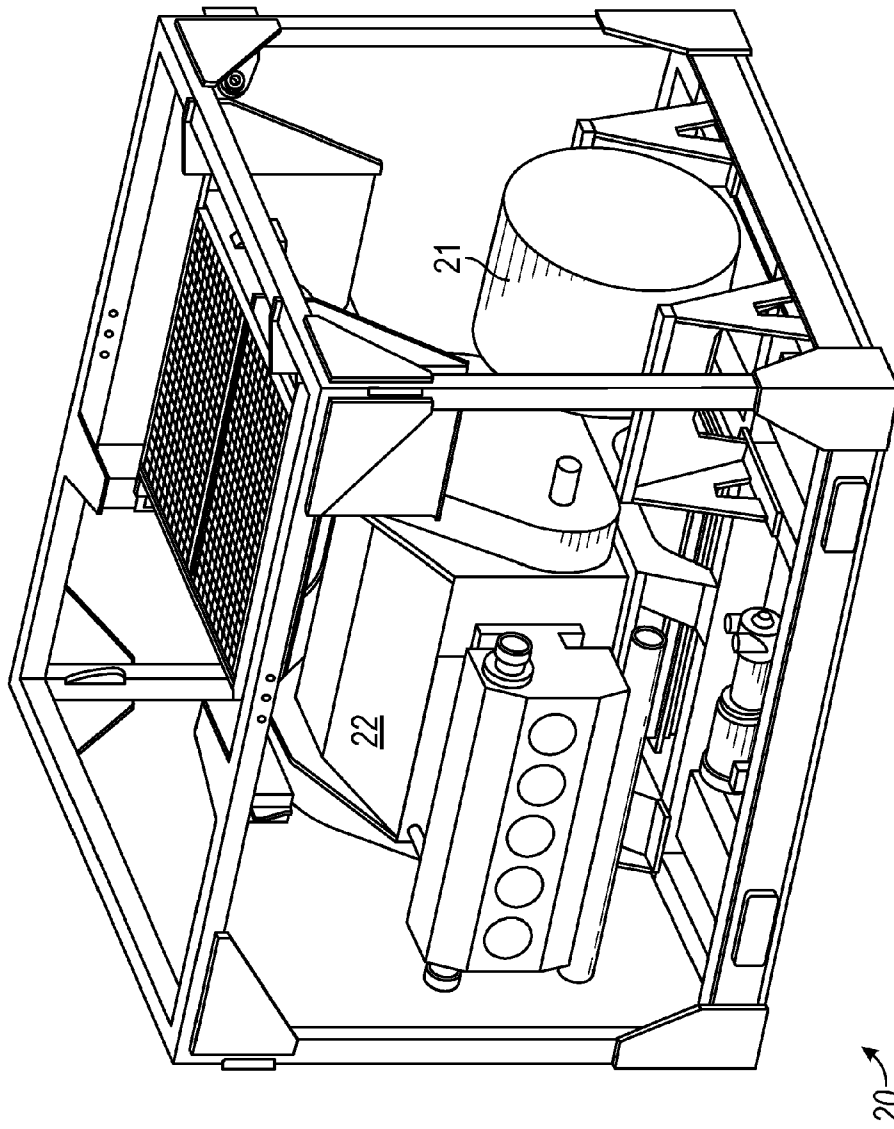


FIG. 4A

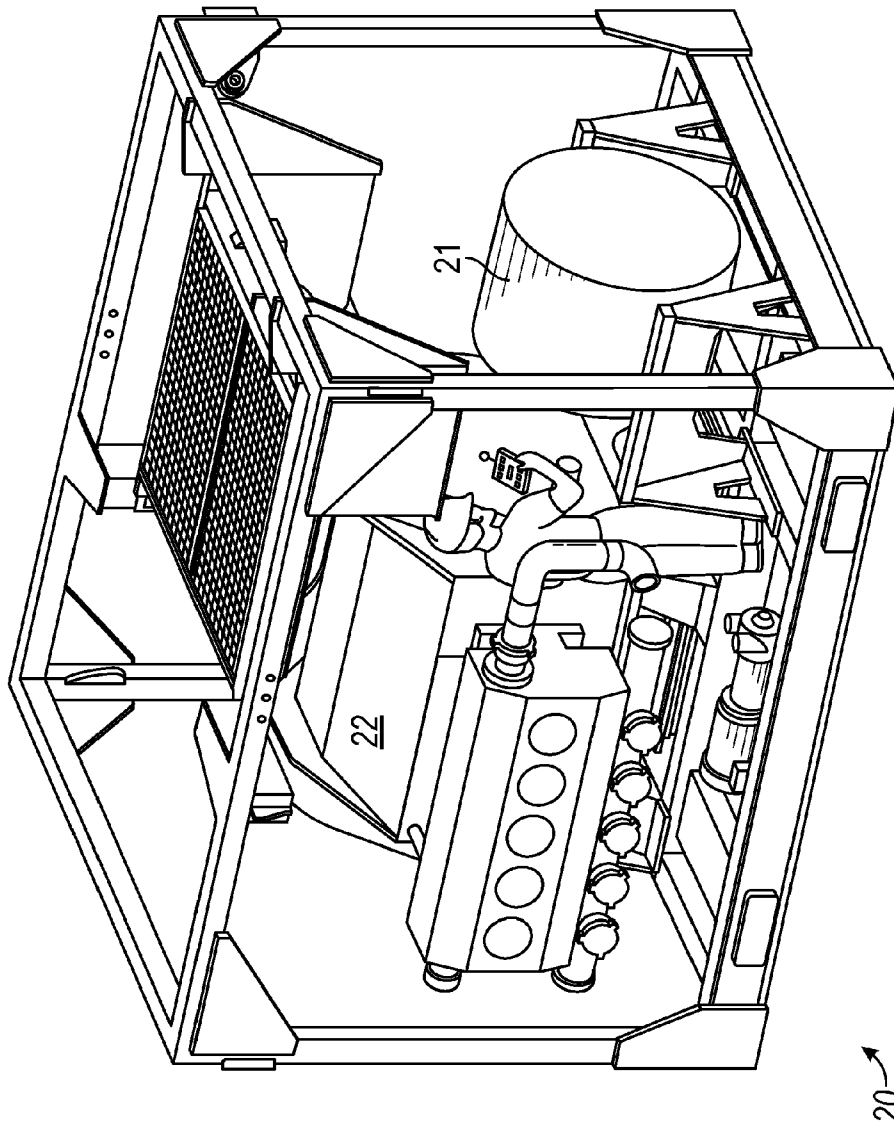


FIG. 4B

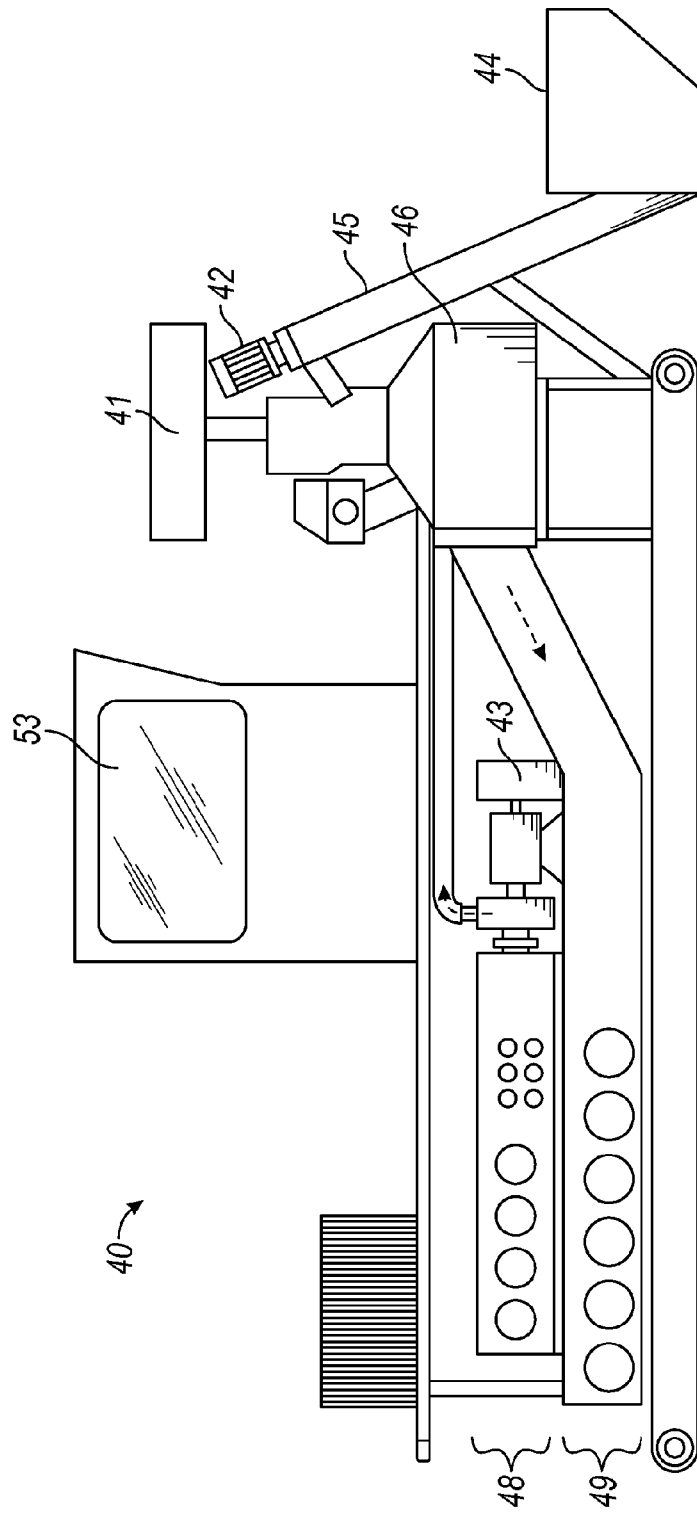


FIG. 5A

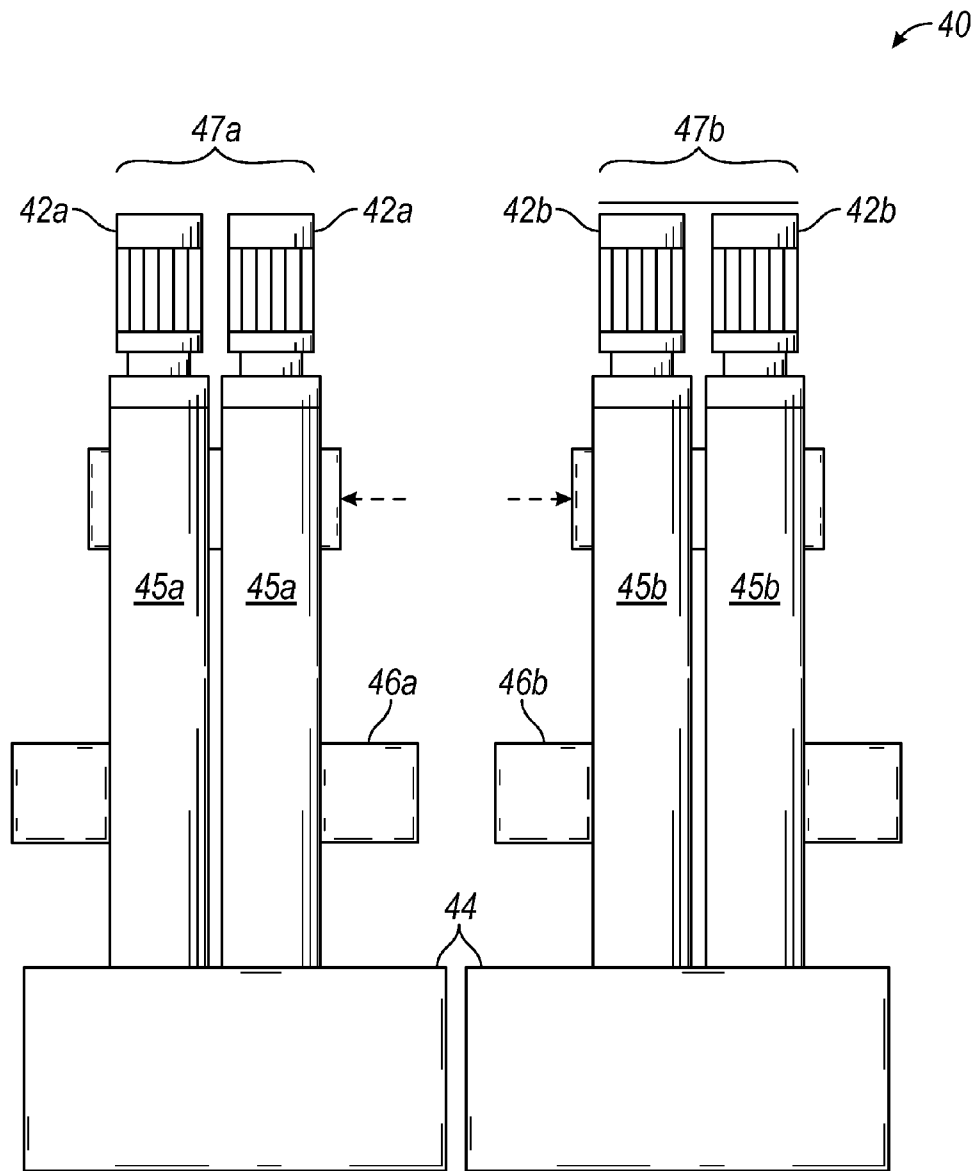


FIG. 5B

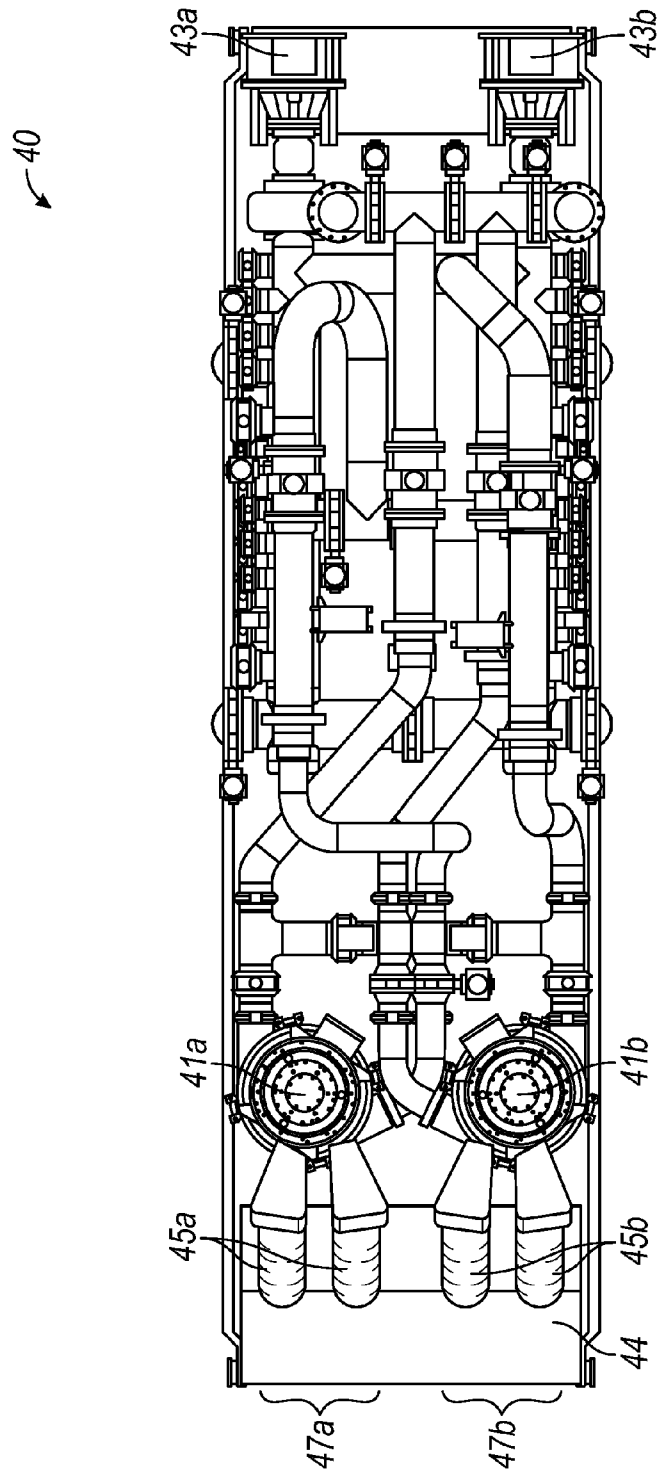


FIG. 5C

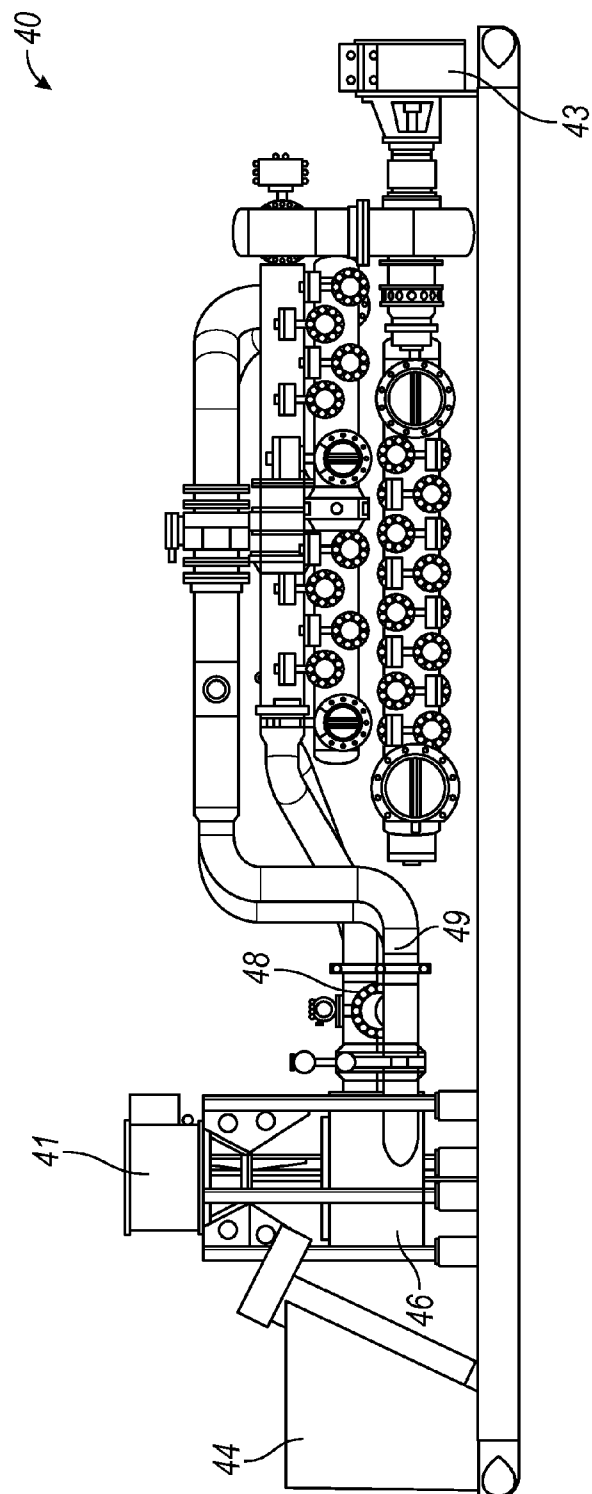


FIG. 5D

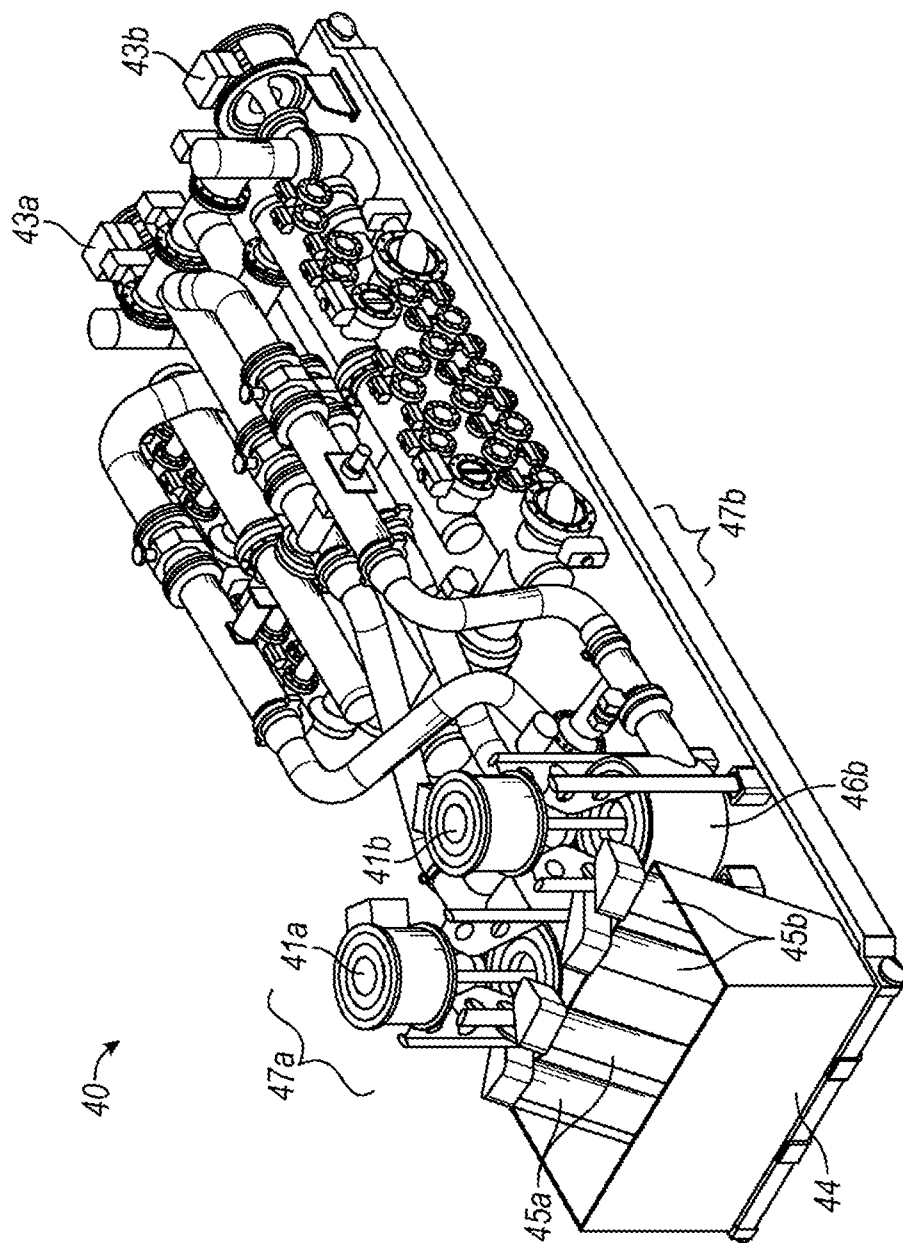


FIG. 5E

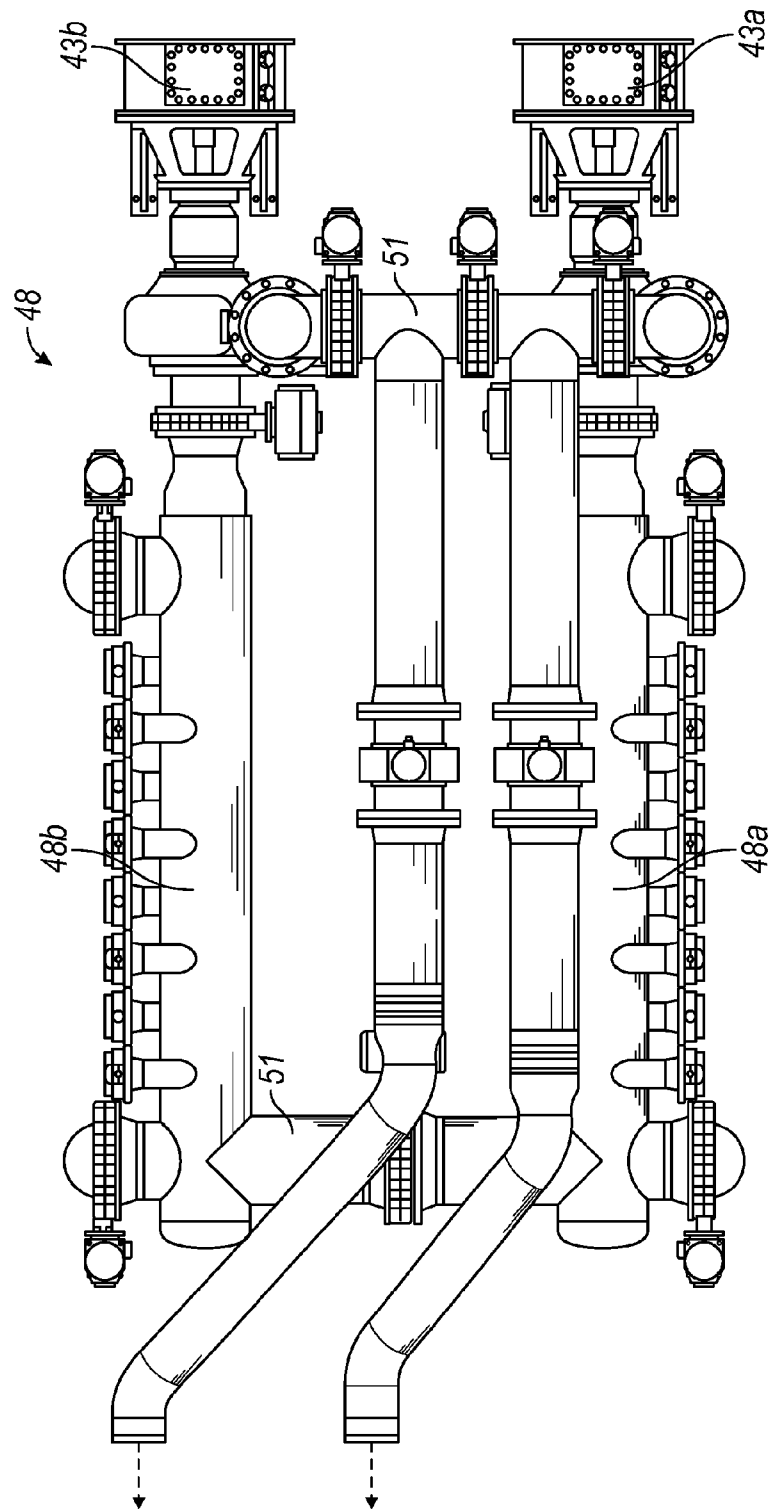


FIG. 6

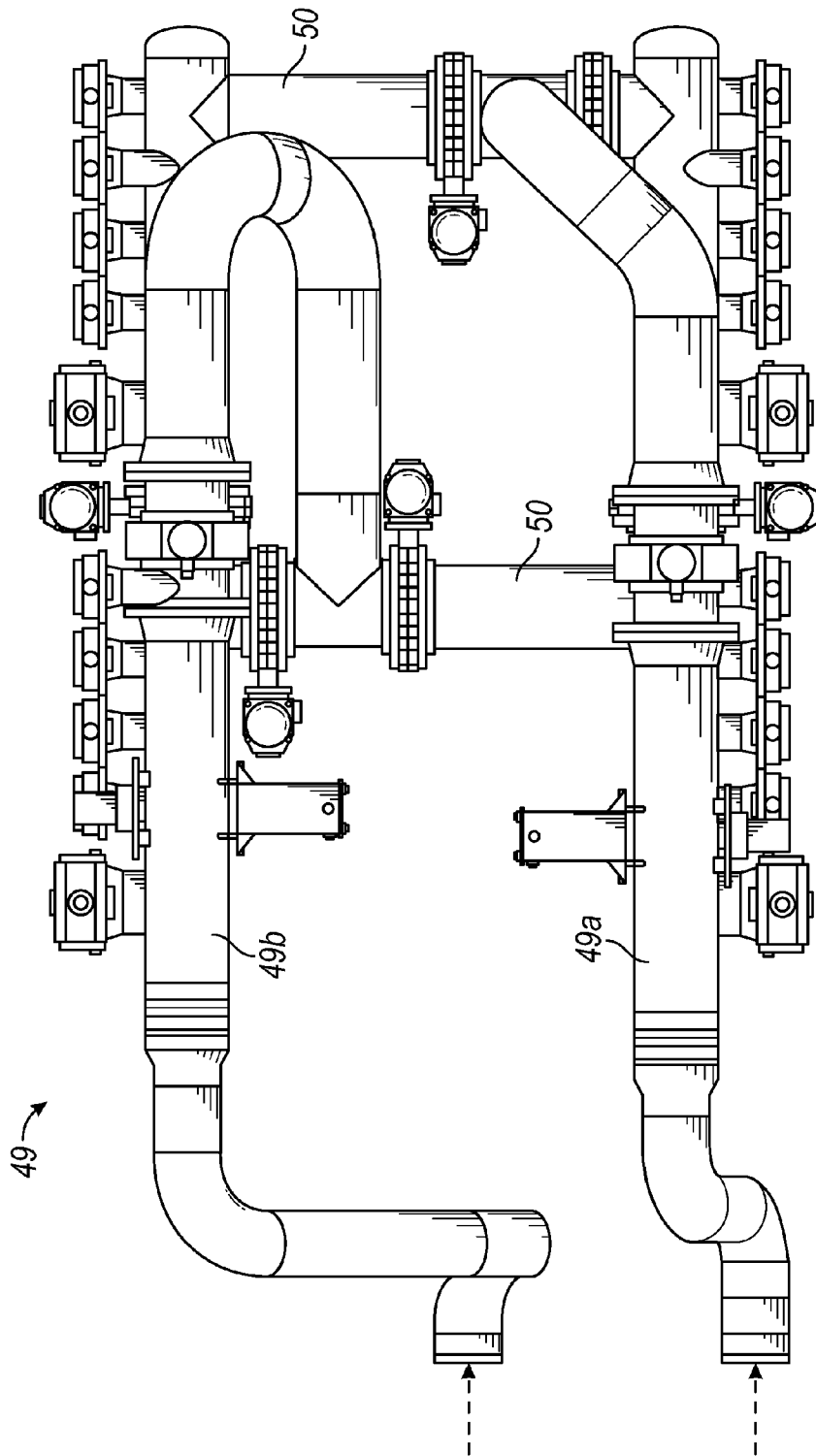


FIG. 7