

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 944 884**

51 Int. Cl.:

G01N 15/08 (2006.01)

G01N 33/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2020** E 20383147 (4)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2023** EP 4019936

54 Título: **Estructura de membrana adecuada para una prueba de producción de arena**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.06.2023

73 Titular/es:

**REPSOL, S.A. (100.0%)
Méndez Álvaro 44
28045 Madrid, ES**

72 Inventor/es:

**CANAL VILA, JACOBO;
ALVARELLOS IGLESIAS, JOSÉ;
GONZÁLEZ MOLANO, NUBIA AURORA;
DELGADO MARTÍN, JORGE y
GARCÍA GARCÍA, MARÍA DEL CARMEN**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 944 884 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

Estructura de membrana adecuada para una prueba de producción de arena

5 **Campo de la invención**

La presente invención pertenece al campo técnico de la producción de petróleo y gas, más específicamente, al campo de las operaciones de perforación. En particular, la invención se refiere a la caracterización detallada y la predicción de propiedades de perforaciones por medio de pruebas de producción de arena de muestras de roca para determinar
10 cuantitativamente la tasa de producción de arena a lo largo del tiempo, basándose en las fuerzas aplicadas y el caudal de fluido.

Más en particular, la invención proporciona una estructura de membrana provista de cámaras huecas internas que pueden llenarse con un fluido que permite aplicar diferentes presiones en porciones específicas de la muestra de roca, lo que da como resultado una tensión de tensión 3D real, también conocida como prueba triaxial verdadera, mientras
15 proporciona un flujo de dicho fluido a dicha muestra de roca.

Técnica anterior

20 En la industria del petróleo y el gas, la producción de arena es un fenómeno bien conocido asociado a las operaciones de perforación de pozos y de producción de fluidos de hidrocarburos. Esencialmente, implica la producción y el transporte de partículas sólidas hacia la perforación y hacia la superficie junto con el flujo de fluidos del yacimiento, lo que da como resultado una serie de consecuencias no deseadas que pueden impactar significativamente en todo el proyecto productivo, tanto desde una perspectiva de desarrollo como de explotación.

25 La producción de partículas de arena es consecuencia del fallo de la roca que rodea una perforación (lo que conduce al posterior desprendimiento de los granos de arena) que tiene lugar cuando la tensión inducida principalmente durante la perforación y/o la fuerza de arrastre de flujo de fluido supera la resistencia de la formación. En particular, el gradiente de presión generado entre la presión del yacimiento y la presión que fluye de la perforación puede provocar el
30 desprendimiento de partículas de arena. En este sentido, la producción de fluidos de hidrocarburos provoca presiones y fuerzas de fricción, proporcionales a la viscosidad y caudal de dichos fluidos, que puede superar la resistencia a la compresión de la perforación.

35 Otro factor clave relacionado con el fenómeno de producción de arena en las perforaciones es la presencia de agua. La relación de agua producida (corte de agua) en comparación con la cantidad total de fluidos hidrocarbonados producidos puede tener un gran impacto en el fallo de la roca perforada que conduce al desprendimiento de partículas de arena. La producción de arena aumenta a medida que aumenta el corte de agua.

40 El avance del agua conduce a un aumento en la saturación de agua del material de roca que rodea la perforación, lo que a su vez implica una reducción de la cohesión capilar. En particular, cuando la formación de roca, es decir, la perforación, es mojada por agua, algo de la cohesión de las partículas se proporciona a través de la capilaridad.

45 En otras palabras, dichas partículas están unidas parcialmente debido a la tensión superficial del agua connata que rodea a cada partícula sólida. Cuando se genera agua, la saturación de agua se incrementa de esta manera, haciendo que el agua connata se adhiera a dicha agua generada, destruyendo la cohesión capilar, reduciendo por tanto la fuerza de tensión superficial, lo que conduce a reducir la cohesión de las partículas.

50 Además, el avance del agua también implica cambios de permeabilidad relativa en la roca que rodea la perforación. Estos cambios pueden alterar la distribución de la presión y, por tanto, tensiones locales, contribuyendo adicionalmente a la pérdida de cohesión ya al fallo de la roca productora de arena anteriormente mencionadas.

55 En particular, a medida que aumenta el corte de agua, la permeabilidad relativa del fluido de hidrocarburos disminuye, lo que provoca un aumento en la presión diferencial requerida para mantener un caudal dado para dicho fluido de hidrocarburos. Este aumento de la presión diferencial en la formación de roca que rodea la perforación conduce a un aumento respectivo de la fuerza de cizalla a través de la perforación.

60 En consecuencia, la presencia no deseada de estas partículas sólidas desprendidas de la perforación implica una serie de desventajas que hacen que los equipos encargados de desarrollar las operaciones de perforación se enfrenten a un escenario desafiante.

65 Las partículas sólidas tienden a acumularse, entre otras, en la superficie de las herramientas, perforaciones o tuberías, dando como resultado una reducción de la producción de fluido de hidrocarburos. La arena acumulada en la perforación puede provocar aglomeración o agrupamiento de partículas (*tapones de arena*) que, si no se limpian, pueden colapsar y obstruir la producción.

En vista de las desventajas mencionadas anteriormente, se han desarrollado diferentes herramientas de diseño y

métodos de análisis para evaluar y cuantificar el riesgo de producción de arena. Se han usado equipos de prueba en el laboratorio para intentar reproducir la compresión triaxial real bajo diversas condiciones ambientales que pueden tener lugar durante la operación de la perforación y que pueden conducir a la producción de arena.

5 Estas pruebas típicamente se realizan usando muestras de roca con una forma cilíndrica que simula las condiciones de carga reales bajo tensiones de fondo de pozo, así como con aceite de prensado y salmuera como fluido que fluye para investigar los efectos del avance del agua en la cantidad de arena producida. Por consiguiente, las pruebas triaxiales de roca permiten predecir el comportamiento mecánico (estabilidad de la perforación) y estimar la producción de arena; sin embargo, las pruebas actuales no permiten diferenciar la presión aplicada a la muestra de roca de
10 acuerdo con un ángulo medido en un plano perpendicular al eje principal de la muestra cilíndrica que limita el verdadero estado tensional triaxial provocado en la muestra.

Típicamente, este equipo de prueba de producción de arena comprende una celda de arenado que aloja la muestra de roca cilíndrica en su interior. Esta celda de arenado puede comprender una estructura de membrana o manguito
15 configurada para establecer un contacto mecánico directo con la muestra de roca. Este contacto permite transmitir la presión radial ejercida por un fluido de confinamiento suministrado a una cámara cerrada que está configurada para alojar de forma estanca la celda de arenado en su interior. Además, dicha membrana o manguito puede estar configurado para permitir que un fluido fluya hacia el volumen interno donde está confinada la muestra de roca.

20 Adicionalmente, se proporciona un marco de carga y está configurado para aplicar presión axial a la muestra de roca, junto con una pluralidad de medios de instrumentación y detección encargados de llevar a cabo las mediciones correspondientes.

Los valores máximos típicos para los parámetros usados pueden ser los siguientes:

- 25
- Tensión axial máxima de operación: 11.000 psi;
 - Presión de confinamiento máxima de operación: 5000 psi;

30 En donde 1 psi (*libra por pulgada cuadrada*) es igual a 6894,76 Pa (*Pascales, N.m-2*).

Descripción de la invención

35 La presente invención proporciona una solución para los problemas mencionados anteriormente mediante una estructura de membrana adecuada para una prueba de producción de arena de una muestra de roca de acuerdo con la reivindicación 1 y un sistema adecuado para dicha prueba de producción de arena de una muestra de roca de acuerdo con la reivindicación 10. En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones ventajosas.

40 Todas las características descritas en esta memoria descriptiva, incluidas las reivindicaciones, la descripción y los dibujos, se puede combinar en cualquier combinación, con la excepción de combinaciones de tales características mutuamente excluyentes.

45 De acuerdo con un primer aspecto inventivo, la invención proporciona una estructura de membrana adecuada para una prueba de producción de arena de una muestra de roca provista de una forma de cilindro hueco extendida a lo largo de una dirección longitudinal, comprendiendo la estructura de membrana un cuerpo principal, en donde el cuerpo principal comprende:

- 50
- un alojamiento (H) configurado para confinar la muestra de roca en su interior;
 - una pared externa estanca al agua adaptada para soportar la presión hidrostática externa ejercida por un primer fluido cuando la estructura de membrana está operativa;
 - una pared interna permeable que limita el alojamiento y está configurada para ejercer presión sobre la muestra de roca y, inyectar un segundo fluido en la superficie externa de dicha muestra de roca cuando la estructura de membrana está operativa;
 - una primera base;
 - 55 una segunda base opuesta a la primera base de acuerdo con la dirección longitudinal;
 - una pluralidad de cámaras huecas internas ubicadas entre la pared externa estanca al agua y la pared interna permeable,

en donde

60 el cuerpo principal de la estructura de membrana comprende una pluralidad de paredes divisorias, estando configurada cada una de la pluralidad de paredes divisorias para separar dos cámaras huecas internas adyacentes; la primera base o la segunda base del cuerpo principal comprende una pluralidad de entradas, estando configurada cada una para establecer una comunicación fluidica entre una de la pluralidad de cámaras huecas internas y una
65 fuente externa del segundo fluido; y cada una de la pluralidad de cámaras huecas internas comprende una pluralidad de partículas rígidas que llenan

el espacio interno de cada cámara hueca, dicha pluralidad de partículas rígidas previstas para transmitir la presión externa ejercida desde la pared externa a la pared interna permitiendo al mismo tiempo el paso del segundo fluido desde la al menos una entrada a la pared interna permeable.

5 La estructura de membrana de la invención es parte del equipo de prueba requerido para llevar a cabo una prueba de producción de arena en una muestra de roca. Tal y como se ha mencionado anteriormente, consistiendo dichas pruebas esencialmente en aplicar presión axial, típicamente por medio de un pistón, y presión radial en forma de presión hidrostática ejercida por un fluido de confinamiento, mientras proporcionan un flujo de un segundo fluido, típicamente salmuera, sobre la superficie externa de la muestra de roca.

10 Más en particular, la estructura de membrana es la parte de la celda de arenado, donde la muestra de roca está confinada dentro, que está configurada para establecer contacto mecánico con dicha muestra de roca.

15 Con respecto a la muestra de roca, se debe entender que, para reproducir las condiciones de operación de una perforación, se proporciona en forma de cilindro hueco, es decir, con una forma cilíndrica anular.

20 Por consiguiente, la estructura de membrana de la invención comprende un cuerpo principal adaptado para ajustarse al contorno exterior de la muestra de roca para entrar en contacto con ella a lo largo de su superficie. De ese modo, la presión hidrostática ejercida por un primer fluido, (es decir, el fluido de confinamiento) en el cuerpo principal de la estructura de membrana se transmite para proporcionar a la muestra de roca los componentes radiales de las fatigas de tensión.

25 En particular, por un lado, el cuerpo principal de la estructura de membrana comprende una superficie externa estanca al agua adaptada para soportar dicha presión hidrostática ejercida por el primer fluido. Típicamente, dicho primer fluido es un aceite de prensado.

30 Por otro lado, el cuerpo principal de la estructura de membrana comprende una pared interna permeable que limita (es decir, que define) el límite circular del alojamiento en donde la muestra de roca está confinada durante la operación, estando configurada dicha pared interna permeable para transmitir la presión hidrostática mencionada anteriormente, soportada por la pared externa estanca al agua, sobre la muestra de roca, y para inyectar un segundo fluido sobre la superficie externa de dicha muestra de roca.

35 Adicionalmente, el cuerpo principal de la estructura de membrana comprende una pluralidad de cámaras huecas internas. Estas cámaras huecas internas son compartimentos separados entre sí por una pluralidad de paredes divisorias. En otras palabras, todo el volumen hueco interno del cuerpo principal está particionado, es decir, dividido, por dichas paredes divisorias que, además de dividir el volumen hueco interno en cámaras huecas respectivas, sirven para diferenciar la presión ejercida por cada cámara hueca interna permitiendo provocar una verdadera fatiga de tensión triaxial en la muestra de roca. Adicionalmente, las paredes divisorias son nervaduras estructurales que contribuyen a distribuir y soportar el estado tensional inducido en el cuerpo principal de la estructura de membrana por la primera y segunda fuerzas de presión de fluido. De acuerdo con una realización preferida, las paredes divisorias están dispuestas distribuidas equitativamente de acuerdo con la longitud perimetral permitiendo determinar la presión ejercida en diferentes ángulos de acuerdo con un plano perpendicular al eje principal de la muestra de roca.

45 En este sentido, para permitir la transmisión de la presión hidrostática ejercida por el primer fluido, y soportada por la pared externa estanca al agua, a través de los espacios vacíos de las cámaras, dichas cámaras huecas internas están llenas con una pluralidad de partículas rígidas. En una realización preferida, las cámaras huecas internas están llenas de rodamientos de bolas o gravilla de alta resistencia. Dichas partículas rígidas se apilan para llenar parcialmente el volumen de las cámaras huecas internas, es decir, puentando la pared externa estanca al agua y la pared interna permeable para transmitir la fuerza entre ellas, dejando intersticios vacíos entre ellos para permitir que el segundo fluido acceda a cada cámara hueca.

50 Cada una de estas cámaras huecas internas está provista de una entrada respectiva para recibir el segundo fluido. Como se ha indicado previamente, la presencia del segundo fluido cambia la presión de poro, que, a su vez, modifica las tensiones, y, por tanto, el estado tensional en función de la cámara hueca interna, causando la deformación y el fallo de la roca, conduciendo a la producción de arena. A este respecto, la pared divisoria es permeable para permitir que el segundo fluido fluya bajo presión hacia adentro radialmente, es decir, hacia la muestra de roca, para simular las condiciones de avance del agua.

60 Este efecto permite analizar la influencia de la presencia del segundo fluido en el fenómeno de producción de arena, y aplicar una presión diferencial alrededor de la superficie externa de la muestra de roca gracias a la independencia operativa entre cada cámara hueca interna. En particular, como se ha desvelado anteriormente gracias al segundo fluido que fluye a través de cada cámara hueca interna a diferentes presiones, es posible aplicar diferentes presiones en lados específicos de la muestra de roca, proporcionando por tanto una denominada prueba pluriaxial (o triaxial verdadera) En la realización preferida, dicho segundo fluido es agua o salmuera.

65 El cuerpo principal de la estructura de membrana comprende una primera base y una segunda base opuesta a la

primera base de acuerdo con la dirección longitudinal. Es en la primera base en donde se proporciona la pluralidad de entradas, que establecen comunicación fluidica entre una fuente externa del segundo fluido y las cámaras huecas internas.

5 Tanto la primera como la segunda base están adaptadas para hacer tope con placas de base respectivas de un sistema de producción de arena para cerrar herméticamente el volumen interno de la estructura de membrana (es decir, el alojamiento), en donde la muestra de roca está confinada. De esta manera, se evitan fugas cruzadas, es decir, la fuga del segundo fluido fuera del alojamiento, o la fuga del primer fluido (es decir, el fluido de confinamiento) que aplica presión sobre la pared externa estanca al agua, dentro del alojamiento.

10 Tal y como se ha mencionado anteriormente, muchos factores contribuyen a la producción de arena, como el grado de anisotropía entre las tensiones in situ, las propiedades elásticas y de resistencia de la roca, o avance del agua. Por lo tanto, la estructura de membrana de la invención proporciona un mejor entendimiento numérico del comportamiento de la perforación gracias a un acoplamiento hidromecánico mejorado que permite reproducir los cambios dinámicos de las tensiones y la deformación de la roca debido a los cambios de presión de poro en diferentes ubicaciones de la región cercana al pozo (es decir, un perfil de presión no uniforme desde la formación hasta el pozo).

15 En vista de los efectos técnicos ventajosos mencionados anteriormente, la estructura de membrana de la invención permite que se realicen pruebas de producción de arena simulando una distribución más completa de las fuerzas en la explotación de yacimientos de hidrocarburos, que, a su vez, mejora la realimentación y el conocimiento sobre el comportamiento de la arena en las regiones cercanas a la perforación obtenidos para soportar el desarrollo operativo.

20 En una realización particular, la pared interna permeable comprende una pluralidad de poros de manera que se establece una comunicación fluidica entre cada una de la pluralidad de cámaras huecas internas y el alojamiento (H) configurado para confinar la muestra de roca.

25 La permeabilidad se logra a través de dichos poros, o perforaciones, que establecen comunicación fluidica entre cada una de las cámaras huecas internas con el volumen interno (es decir, el alojamiento (H)) destinado a alojar la muestra de roca en su interior.

30 Tener esta configuración, de comunicación fluidica establecida a través de poros que conectan volúmenes separados permite definir, en la fase de construcción de la estructura de membrana, por medio del número, el patrón de distribución y el diámetro de los poros, la manera en que se suministra el segundo fluido al interior del alojamiento (H), es decir, la manera en que se proporciona en la muestra de roca.

35 En una realización particular, la pared externa estanca al agua está cubierta por un manguito de refuerzo. Dicho manguito de refuerzo proporciona rigidez adicional al cuerpo principal de la estructura de membrana al envolverlo (es decir, cubriéndolo) alrededor de su contorno exterior, aumentando de esta manera el espesor de la estructura de membrana.

40 En una realización más particular, el manguito de refuerzo tiene un espesor de 3 mm.

45 En una realización particular, al menos una de la pluralidad de cámaras huecas internas se extiende a lo largo de una sección trapezoidal circular del cuerpo principal.

En una realización particular, la pluralidad de cámaras huecas internas está equidistribuida a lo largo de una trayectoria circular alrededor de la dirección longitudinal.

50 El cuerpo principal de la estructura de membrana de acuerdo con una realización preferida tiene una forma de cilindro hueco. A este respecto, la sección transversal de la estructura de membrana es un anillo. Por consiguiente, una cámara hueca interna se puede conformar con una sección transversal trapezoidal circular, cuyos límites están definidos por tanto por:

- 55 - una primera superficie interna contenida en una sección cilíndrica del cuerpo principal con un radio R , menor que el radio de la pared externa estanca al agua;
- una segunda superficie interna contenida en una sección cilíndrica del cuerpo principal con un radio r , menor que R y mayor que el radio de la pared interna permeable; y
- 60 - superficies laterales comprendidas en respectivos planos radiales, correspondiendo dichas superficies laterales a los lados de las dos paredes divisorias respectivas que separan la cámara hueca interna de las cámaras huecas internas adyacentes.

Esta configuración geométrica con simetría radial dota a la estructura de membrana de una óptima capacidad interna de distribución de tensiones que da como resultado un alto grado de isotropía respecto a la contribución generada, al estado tensional resultante, por la presión hidrostática ejercida por el primer fluido sobre la pared estanca al agua externa.

En una realización particular, la pluralidad de partículas rígidas son partículas esféricas de acero apiladas en una configuración de empaquetamiento compacto.

5 Seleccionando, durante la fase de diseño y construcción, el tamaño de las partículas rígidas y la estructura de empaquetado, es posible optimizar las propiedades mecánicas de las cámaras huecas internas y de la estructura de membrana completa de esta manera.

10 En particular, se puede aumentar la densidad de las partículas rígidas alojadas dentro de las cámaras huecas internas, mientras se permite que el segundo fluido fluya hacia el interior, dado que dicho segundo fluido quedará alojado en los espacios vacíos intersticiales.

15 La presencia de las partículas esféricas de acero, apiladas de acuerdo con una configuración de empaquetamiento compacto, proporciona rigidez al cuerpo principal de la estructura de membrana, puentando la pared externa estanca al agua y la pared interna permeable, para una transmisión óptima de la presión hidrostática ejercida por el primer fluido, sin distorsionar el estado de tensión resultante de los gradientes de concentración de partículas esféricas de acero.

20 En una realización preferida, las partículas esféricas de acero se apilan de acuerdo con una malla hexagonal muy compacta. Ventajosamente, el tensor de rigidez es transversalmente isótropo, es decir, la transmisión de tensiones a través de planos en sección transversal de acuerdo con la dirección longitudinal de la forma cilíndrica hueca de la estructura de membrana es óptima.

25 En una realización preferida, el diámetro de las partículas esféricas de acero se encuentra entre el intervalo de 1,25-1,70 mm.

En una realización particular, al menos una cámara hueca interna comprende una malla de filtro provista cerca de la pared interna permeable.

30 La presencia de la malla de filtro evita que las partículas rígidas alojadas dentro de las cámaras huecas internas comprometan el suministro de un segundo fluido desde las cámaras huecas internas a la muestra de roca a través de la pared interna permeable.

35 En una realización más particular, en donde dicha pared interna permeable comprende una pluralidad de poros, la malla de filtro evita que las partículas rígidas obstruyan los poros por los que se suministra el fluido a la muestra de roca.

En una realización preferida, dicha malla de filtro tiene un tamaño de tamiz menor que 0,5 mm.

40 En una realización particular, el cuerpo principal comprende al menos un orificio radial configurado para alojar un pasador conectado a un extensómetro, que permite el acceso del pasador a través de una abertura provista en la pared externa estanca al agua a la pared interna para medir la deformación radial de dicha muestra o roca.

En una realización particular, el orificio radial se extiende a través de una pared divisoria del cuerpo principal.

45 El uso de extensómetros permite analizar la deformación de la muestra de roca durante la prueba de producción de arena. En particular, los pasadores de un extensómetro en voladizo pueden alojarse dentro de dichos orificios radiales, para acceder al interior del cuerpo principal de la estructura de membrana y evaluar la deformación de la superficie externa de la muestra de roca.

50 En una realización particular, estos orificios comprenden:

- una abertura proporcionada en la pared externa estanca al agua;
- un canal interno que se extiende a través de una pared divisoria del cuerpo principal,
- un extremo distal ubicado cerca de la muestra de roca, es decir, en una sección del cuerpo principal (110) de radio ligeramente mayor que el radio de la pared interna permeable.

60 De esta manera, el extremo distal de los pasadores entra en contacto mecánicamente con la región de la estructura de membrana cerca de la superficie externa de la muestra de roca, pero impidiendo que se establezca una comunicación fluídica entre el alojamiento (H) en donde está confinada la muestra de roca y el exterior de la estructura de membrana, lo que provocaría fugas cruzadas del primer y segundo fluidos.

65 De acuerdo con esta configuración, y al contrario del concepto tradicional de acuerdo con el cual solo se miden las deformaciones de la superficie interna de la muestra de roca perforada, las deformaciones de la superficie externa de la muestra de roca se pueden medir durante la prueba. Dichas deformaciones son consecuencia de las presiones diferenciales resultantes aplicadas a la superficie externa de la muestra de roca como una contribución de la presión hidrostática ejercida por el primer fluido y transmitida por la estructura de membrana, y las contribuciones parciales de

cada cámara hueca interna llena con el segundo líquido. Estas deformaciones se traducen en desplazamientos lineales de los pasadores.

5 Por lo tanto, dichos pasadores alojados dentro de los orificios radiales del cuerpo principal de la estructura de membrana, como se ha indicado anteriormente, se mueven linealmente, pudiendo transmitir el movimiento a un extensómetro montado sobre una estructura de soporte de tipo columna, ubicada orientada hacia el orificio radial, que proporcionará información relacionada con la deformación de la muestra de roca en forma de variación eléctrica.

10 En una realización particular, el cuerpo principal comprende una pluralidad de orificios radiales paralelos alineados en una fila, para la obtención de información relacionada con la deformación de la superficie externa de la roca sencilla de acuerdo con una dirección longitudinal.

En una realización particular, el cuerpo principal está fabricado de un polímero elastomérico.

15 En una realización preferida, el polímero elastomérico del que está fabricado el cuerpo principal de la estructura de membrana se proporciona por un proceso de fabricación aditiva.

20 La fabricación aditiva (AM), también conocida como impresión 3D, se refiere a los métodos y tecnologías de fabricación actuales en donde los componentes tridimensionales se construyen aplicando capas sucesivas de material bajo control informático, partiendo de un modelo digital del componente a producir.

25 Típicamente, un material fundible cambia a líquido tras la aplicación de calor y se solidifica (o endurece) a un sólido cuando se enfría. Comúnmente, estas tecnologías AM usan un ordenador con software de modelado 3D (diseño asistido por ordenador o CAD), una herramienta de fabricación aditiva (por ejemplo, equipo de máquina) y filamentos de material de capas. El boceto CAD es un modelo electrónico 3D del objeto 3D final construido. La herramienta AM puede leer datos del archivo CAD (tanto la geometría de la sección transversal como el patrón de la superficie) y coloca o deposita filamentos sucesivos (formando a continuación capas) de líquido, polvo, material laminar o similar, por al menos un cabezal en forma de capa sobre capa para fabricar un objeto 3D.

30 Adicionalmente, antes de imprimir, el boceto CAD digital del montaje se lamina digitalmente en múltiples secciones o capas horizontales. El controlador de la impresora a continuación usa este laminado generado para fabricar el montaje secuencialmente, por ejemplo, con una capa cada vez (es decir, capa a capa), adhiriéndose o uniéndose cada capa a la anterior.

35 Muchas tecnologías están englobadas dentro de las tecnologías de fabricación aditiva, dependiendo de la forma del material y la tecnología de la máquina usada, siendo las más relevantes, entre otras: *estereolitografía* (ANS), *modelado por deposición fundida* (FDM) o *fabricación con filamento fundido* (FFF), *modelado de múltiples inyectores*, o *sinterización por láser selectiva* (SLS).

40 Ventajosamente, fabricar el cuerpo principal de la estructura de membrana empleando una de las técnicas de impresión 3D AM mencionadas anteriormente permite la creación y fabricación de geometrías imposibles de producir con los métodos tradicionales, ya sea como una única parte o en su totalidad. Dichas geometrías incluyen cavidades huecas dentro de partes sólidas y partes dentro de partes.

45 La naturaleza de la impresión 3D permite el montaje paso a paso de la parte o producto, lo que garantiza la mejora del diseño y partes/productos de mejor calidad.

50 Como se ha mencionado anteriormente en relación con la calidad, los procesos de fabricación tradicionales pueden dar como resultado que un porcentaje de un lote de partes sea defectuoso o de calidad inconsistente en comparación con el resto de las partes.

55 En la impresión 3D, las partes se imprimen en sucesión. Cada parte individual sucesiva puede monitorizarse, permitiendo detectar errores en tiempo real, reduciendo el número global de partes defectuosas y materiales desperdiciados mientras que aumenta la calidad consistente de las partes producidas.

En una realización más preferida, el polímero elastomérico usado para producir el cuerpo principal de la estructura de membrana es poliuretano termoplástico (TPU).

60 En un segundo aspecto inventivo, la invención proporciona un sistema adecuado para una prueba de producción de arena de una muestra de roca provista de una forma de cilindro hueco extendida a lo largo de una dirección longitudinal, comprendiendo el sistema:

- una primera placa base;
- una estructura de membrana de acuerdo con una realización del primer aspecto inventivo, descansando la segunda base de la estructura de membrana sobre la primera placa base;
- una segunda placa base que descansa sobre la primera base de la estructura de membrana configurada para

ejercer una fuerza axial a la estructura de membrana y sobre la muestra de roca confinada dentro del alojamiento de la estructura de membrana de manera operativa;

- una carcasa ubicada sobre la primera placa base, la carcasa configurada para alojar la membrana y la segunda placa base con un espacio intermedio entre la carcasa y la membrana para alojar el primer fluido;
- 5 - un pistón adaptado para ejercer una fuerza axial a la segunda placa base de acuerdo con la dirección longitudinal;
- una primera bomba para bombear el primer fluido;
- una segunda bomba para bombear el segundo fluido;

10 en donde la segunda placa base comprende al menos un puerto de entrada para el segundo fluido y un puerto de salida para el segundo fluido, de manera que

15 el puerto de entrada está en comunicación fluida con la segunda bomba; y el puerto de salida está en comunicación fluida con la al menos una entrada de la estructura de membrana configurada para establecer una comunicación fluida entre la pluralidad de cámaras huecas internas y una fuente externa del segundo fluido; y en donde la primera bomba está en comunicación fluida con el espacio intermedio de la carcasa para aumentar la primera presión de fluido, estando el primer fluido en contacto con la pared externa estanca al agua de la estructura de membrana de manera operativa.

20 Este sistema que comprende una estructura de membrana de acuerdo con una realización del primer aspecto inventivo se puede usar para llevar a cabo una prueba de producción de arena que reproduce la compresión triaxial bajo diversas condiciones ambientales que pueden tener lugar durante la operación de perforación que puede conducir a la producción de arena, permitiendo por tanto obtener una predicción óptima del comportamiento mecánico de la perforación y estimar la producción de arena.

25 Dicha estructura de membrana está fijada de forma estanca al agua a la primera placa base por su segunda base. La segunda placa base está fijada de forma estanca al agua a la primera base de la estructura de membrana, de modo que se define la celda de arenado en donde está confinada la muestra de roca, cerrando el volumen interno (es decir, el alojamiento (H) de la estructura de membrana) de esta manera. Dado que estos son los elementos del sistema en contacto mecánico con la muestra de roca, son responsables de la aplicación final de las fuerzas configuradas para reproducir las condiciones operativas y, por lo tanto, responsables de definir el estado tensional de la muestra de roca.

30 En este sentido, la segunda placa base está provista de un flujo del segundo fluido, por medio de al menos un puerto de entrada en comunicación fluida con medios de bombeo correspondientes, un flujo que se redirige y canaliza hacia las cámaras huecas internas. Más en particular, la segunda placa base está adaptada para establecer comunicación fluida con cada una de las entradas de dichas cámaras huecas internas por medio de correspondientes puertos de salida ubicados en la propia primera placa base, de modo que el segundo fluido se distribuya apropiadamente a cada cámara hueca interna.

40 Tal y como se ha mencionado anteriormente, la pared externa estanca al agua de la estructura de membrana soporta la presión hidrostática ejercida por un primer fluido, típicamente un aceite a presión, que se proporciona por la primera bomba. En particular, la primera bomba está en comunicación fluida con el espacio intermedio definido entre la celda de arenado y la carcasa. Más en particular, la carcasa se cierra de forma estanca al agua sobre la primera placa base, definiendo por tanto una cámara de presión, para aumentar la primera presión de fluido proporcionada en la misma por dicha primera bomba.

45 De esta manera, la pared externa estanca al agua recibe el aceite de prensado que está bajo presión hidrostática que proporciona componentes radiales de la fatiga de tensión a la muestra de roca, transmitiéndose dichos componentes radiales a través del cuerpo principal de la estructura de membrana.

50 Por último, para reproducir completamente el estado tensional de la muestra de roca correspondiente a las condiciones de operación de una perforación, el sistema comprende un pistón que proporciona tensión axial a la muestra de roca. En particular, el pistón está configurado para ejercer una fuerza axial sobre la segunda placa base. La combinación de la tensión axial y los componentes radiales de la tensión controlada por medio de la presión hidrostática ejercida por el primer fluido, más contribuciones diferenciales de cada cámara hueca interna, que proporciona un flujo del segundo fluido a la muestra de roca, puede proporcionar una fatiga de tensión bajo condiciones predefinidas.

55 En una realización particular, se pueden proporcionar medios de sellado en las interfaces de unión entre la primera y/o segunda base de la estructura de membrana y la primera y/o segunda placa base del sistema, respectivamente, para aumentar el efecto de sellado que evita la fuga cruzada entre el alojamiento interna donde se aloja la muestra de roca y la cámara de presión externa definida por la carcasa, donde está confinado el primer fluido.

60 En una realización más particular, el sistema comprende un sello de junta tórica provisto en al menos una de dichas interfaces de unión.

65 En una realización particular, el sistema comprende al menos un miembro de fijación rígido que comprende un primer y un segundo extremos distales, en donde

la placa base de distribución comprende un primer punto de anclaje;
el disco de distribución anular comprende un segundo punto de anclaje;

y, en donde,

5 el al menos un miembro de fijación rígido está fijo:

- al primer punto de anclaje por el primer extremo distal; y
- al segundo punto de anclaje por el segundo extremo distal.

10 En una realización más particular, ambos puntos de anclaje comprenden orificios roscados; el miembro de fijación rígido es una varilla; y ambos extremos distales comprenden secciones roscadas respectivas configuradas para encajar en cada orificio roscado respectivo, fijando de forma extraíble el miembro de fijación rígido al mismo.

15 Mediante esta configuración, se puede proporcionar pretensado a la celda de arenado, de tal manera que la primera y segunda placas base se acerquen a la primera y segunda bases de la estructura de membrana, respectivamente, de modo que se aplique presión. Por lo tanto, se proporciona estabilidad al conjunto antes del desarrollo de la prueba de producción de arena, aumentando adicionalmente el efecto de sellado entre las partes, de tal manera que ayude a evitar fugas cruzadas entre el alojamiento interno donde se aloja la muestra de roca y la cámara de presión externa donde está confinado el primer fluido.

20 En una realización particular, la comunicación fluida entre la segunda bomba y el puerto de entrada de la segunda placa base se establece por medio de una tubería de distribución, de manera que

25 la tubería de distribución está acoplada en un primer extremo con el puerto de entrada de la segunda placa base;
y
la tubería de distribución está acoplada en un segundo extremo con la primera placa base;

y en donde la primera placa base comprende además un segundo puerto de entrada configurado para establecer una comunicación fluida entre la segunda bomba y el segundo extremo de la tubería de distribución.

30 En una realización particular, el pistón está acoplado a un cono truncado que descansa sobre la segunda placa base y está configurado para la redistribución de la presión, a la segunda placa base, de la fuerza axial ejercida por el pistón cuando se actúa de manera operativa.

35 En una realización particular, el sistema comprende, además, un compartimento de recopilación proporcionado debajo de la estructura de membrana y configurado para recibir:

- partículas de muestra de roca producidas durante la prueba de producción de arena; y
- el segundo fluido que pasa a través de la muestra de roca durante la prueba de producción de arena.

40 En una realización particular, una sección del compartimento de recopilación comprende un deflector de arena, comprendiendo dicho deflector de arena una placa fijada a una cara interna del compartimento de recogida, e inclinada hacia la base inferior del compartimento de recogida.

45 Dicho deflector de arena permite que la arena colapsada caiga a las secciones inferiores del compartimento de recogida de manera controlada para distribuirse uniformemente en una base inferior, es decir, sin aglomerarse en la base de forma que se formen agregados.

50 En una realización particular, el compartimento de recogida comprende medios de pesaje configurados para recibir y pesar las partículas de muestra de roca producidas durante la prueba de producción de arena.

En una realización particular, los medios de pesaje comprenden una celda de carga acoplada a una placa de recogida ubicada en una sección inferior del compartimento de recogida.

55 En una realización particular, la primera placa base comprende al menos un extensómetro que, a su vez, comprende una estructura de soporte elásticamente deformable orientada hacia el al menos un orificio radial que aloja un pasador, de modo que:

60 la estructura de soporte elásticamente deformable comprende una galga extensiométrica, y
el pasador está acoplado por un extremo a la estructura de soporte.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, los pasadores alojados dentro pueden moverse linealmente debido al desplazamiento de la muestra de roca causado por su deformación, pudiendo transmitir el movimiento a un extensómetro en forma de estructura de soporte flexible de tipo columna que comprende una galga extensiométrica.
65 De acuerdo con esta configuración, el pasador se empuja contra la muestra de roca y el movimiento del pasador sigue el desplazamiento de la muestra de roca en la ubicación de contacto. La galga extensiométrica genera una señal

proporcional al desplazamiento del pasador y, por lo tanto, al desplazamiento de la muestra de roca permitiendo determinar su deformación.

5 En una realización particular, al menos una de las aberturas de los orificios radiales previstas en la pared externa estanca al agua comprende un casquillo de centrado flexible.

Descripción de los dibujos

10 Estas y otras características y ventajas de la invención se observarán con mayor claridad a partir de la siguiente descripción detallada de una realización preferente proporcionada únicamente a modo de ejemplo ilustrativo y no limitativo con referencia a los dibujos adjuntos.

15 **Figura 1** Esta figura muestra una realización de una estructura de membrana de acuerdo con la invención, intersecada por un plano vertical que pasa a través de un diámetro, que muestra detalles de las cámaras huecas internas.

20 **Figura 2** Esta figura muestra una vista mejorada de una realización de una estructura de membrana de acuerdo con la invención, estando implementada la membrana en un sistema de producción de arena entre una primera y una segunda placa base.

25 **Figura 3** Esta figura muestra una realización de una estructura de membrana de acuerdo con la invención, intersecada por un plano vertical que pasa a través de un diámetro en donde el cuerpo principal de la estructura de membrana comprende dos filas de orificios radiales, alojando cada una un respectivo pasador de un extensómetro.

30 **Figura 4** Esta figura muestra una realización de una estructura de membrana de acuerdo con la invención en donde el cuerpo principal de la estructura de membrana comprende cuatro filas de orificios radiales, alojando cada una un respectivo pasador de un extensómetro.

35 **Figura 5** Esta figura muestra una representación esquemática de una matriz de estructuras de soporte elásticamente deformables para un sistema adecuado para una prueba de producción de arena, de acuerdo con la invención.

Figura 6 Esta figura muestra una vista frontal de una realización de un sistema adecuado para una prueba de producción de arena de acuerdo con la invención, intersecada por un plano vertical.

Figura 7 Esta figura muestra una vista en perspectiva de una realización de un sistema adecuado para una prueba de producción de arena de acuerdo con la invención.

40 **Figura 8** Esta figura muestra una vista en perspectiva de una realización de un sistema adecuado para una prueba de producción de arena de acuerdo con la invención, intersecada por un plano vertical, comprendiendo el sistema un compartimento de recogida.

45 **Figura 9** Esta figura muestra una vista en perspectiva de una realización de un sistema adecuado para una prueba de producción de arena de acuerdo con la invención.

Descripción detallada de la invención

50 Una vez que se ha expuesto el objeto de la invención, a continuación, se describen realizaciones específicas no limitativas.

La Figura 1 representa una realización de una estructura de membrana (100) adecuada para una prueba de producción de arena de una muestra de roca (300), de acuerdo con la invención. La estructura de membrana (100) comprende un cuerpo principal (110) provisto de una forma de cilindro hueco que se extiende a lo largo de una dirección longitudinal.

60 El cuerpo principal (110) se muestra intersecado por un plano vertical que pasa a través de un diámetro para mostrar los detalles de las partes internas de la estructura de membrana (100). En particular, el cuerpo principal (110) está provisto de una forma cilíndrica anular de este tipo para alojar en su interior la muestra de roca (300), que también está provisto de una forma de cilindro hueco. En la figura 1 no se muestra ninguna muestra de roca (300), por lo que se muestra parte del volumen interno del cuerpo principal (110). En particular, dicho volumen interno configurado para confinar la muestra de roca (300) en su interior se define como el alojamiento denominado con la referencia (H).

65 Adicionalmente, el cuerpo principal (110) de la estructura de membrana (100) comprende una pared externa estanca al agua (111) adaptada para resistir la presión hidrostática externa ejercida por un primer fluido cuando la estructura de membrana (100) está operativa. En particular, durante una prueba de producción de arena, la estructura de

membrana (100) es parte de una celda de arenado sobre la cual se aplican fuerzas externas para simular las condiciones reales de una perforación. En este sentido, la celda de arenado, es decir, la estructura de membrana (110) estará confinada dentro de una cámara cerrada llena de aceite a presión (es decir, el primer fluido) que aplicará una presión hidrostática sobre la pared externa estanca al agua (111) del cuerpo principal (110), una presión que el cuerpo principal (110) de la estructura de membrana (100) debe transmitir a la muestra de roca (300) confinada dentro del alojamiento (H).

Con respecto al límite interno de la estructura de membrana (100), el cuerpo principal (110) comprende una pared interna permeable (112) que limita el alojamiento (H) y está configurada para ejercer presión sobre la muestra de roca (300) y, para inyectar un segundo fluido en la superficie externa de dicha muestra de roca (300) cuando la estructura de membrana (100) está operativa

Dicho segundo fluido se proporciona y se aloja dentro de una pluralidad de cámaras huecas internas (115) ubicadas entre la pared externa estanca al agua (111) y la pared interna permeable (112). En particular, la estructura de membrana (100) mostrada comprende ocho cámaras huecas internas (115) equidistribuidas a lo largo de una trayectoria circular alrededor de la dirección longitudinal. Puede considerarse como un anillo vacío completo que se divide en cámaras separadas (115) que se extienden a lo largo de secciones trapezoidales circulares de igual tamaño.

Para separar cada cámara hueca interna (115) de las adyacentes, el cuerpo principal (110) comprende una pluralidad de paredes divisorias (116), estando configurada cada una de la pluralidad de paredes divisorias (116) por lo tanto para separar dos cámaras huecas internas adyacentes (115). En particular, el cuerpo principal (110) de la estructura de membrana (100) mostrada comprende ocho paredes divisorias (116).

En cuanto a la presión ejercida mencionada por la pared interna permeable (112) es el resultado total de la contribución parcial de la presión hidrostática ejercida por el primer fluido sobre la pared externa estanca al agua (111) más la presión diferencial aplicada por cada porción de la pared interna permeable (112) correspondiente al sector circular en donde se ubica una cámara hueca interna (115).

Más en particular, la pared interna permeable (112) permite que el segundo fluido alojado en cada cámara hueca interna (115) fluya bajo presión sobre la muestra de roca (300) alojada dentro del alojamiento (H) del cuerpo principal (110). Por consiguiente, es posible aplicar diferentes presiones sobre porciones periféricas específicas de la muestra de roca (300) gracias a la independencia operativa de cada cámara hueca interna (115) con respecto a las demás. Por lo tanto, hacer fluir el segundo fluido que fluye a través de cada cámara hueca interna (115) a diferentes presiones para aplicar diferentes presiones en porciones específicas de la muestra de roca (300) proporciona la capacidad de realizar una prueba pluriaxial (o triaxial verdadera).

Adicionalmente, el cuerpo principal comprende una primera base (113) y una segunda base (114) opuesta a la primera base (113) de acuerdo con la dirección longitudinal.

Para el suministro del segundo fluido a cada una de las cámaras huecas internas (115), la primera base (113) del cuerpo principal (110) comprende una pluralidad de entradas (113.1), estando configurada cada una para establecer una comunicación fluidica entre cada cámara hueca interna (115) y una fuente externa del segundo fluido.

Por último, cada cámara hueca interna (115) comprende una pluralidad de partículas rígidas (115.1) que llenan el espacio interno. Dicha pluralidad de partículas rígidas (115.1) puentean la pared externa estanca y la pared interna permeable (112) para transmitir la presión hidrostática ejercida por el primer fluido entre ellas, dejando intersticios vacíos entre ellos para permitir que el segundo fluido acceda a cada cámara hueca (115). Con fines ilustrativos, únicamente se muestra una cámara hueca interna (115) que comprende una pluralidad de partículas rígidas (115.1).

La figura 2 muestra una vista mejorada de una estructura de membrana (100) implementada en un sistema adecuado para una prueba de producción de arena, entre una primera y una segunda placa base. La estructura de membrana (100) muestra dos filas de respectivos tríos de orificios radiales (110.1, 110.1') provistos en la pared externa estanca al agua (111) del cuerpo principal (110). Estos orificios radiales (110.1, 110.1') están configurados para alojar un pasador conectado a un extensómetro, permitiendo el acceso del pasador a través de respectivas aberturas provistas en la pared externa estanca al agua (111) a la pared interna para medir la deformación radial de la muestra de roca.

En particular, las dos filas de orificios radiales (110.1, 110.1') se proporcionan en respectivas protuberancias prismáticas que se extienden desde la pared externa estanca al agua (111) del cuerpo principal (110), para proporcionar un acceso más fácil a los orificios radiales (110.1, 110.1') desde el exterior para la inserción de cada pasador.

Las figuras 3 y 4 muestran diferentes perspectivas de una realización de una estructura de membrana (100), en donde el cuerpo principal (110) de la estructura de membrana (100) comprende varias filas de orificios radiales, alojando cada uno un respectivo pasador (110.2, 110.2') de un extensómetro.

Por un lado, la figura 3 está intersecada por un plano vertical que pasa a través de un diámetro de la forma cilíndrica

hueca del cuerpo principal (110) de la estructura de membrana (100), de manera que solo se muestra la mitad del cuerpo principal (110). Se puede observar cómo los pasadores (110.2, 110.2') acceden a través de respectivas aberturas provistas en la pared externa estanca al agua, así como también cómo cada fila de pasadores (110, 110.2') está alojada dentro de canales internos que se extienden a través paredes divisorias (116) correspondientes. Dichos canales comprenden un extremo distal ubicado próximo a la muestra de roca, es decir, en una sección circular del cuerpo principal (110) de radio ligeramente mayor que el radio de la pared interna permeable.

A diferencia de la figura 1, la figura 3 no proporciona detalles de las cámaras huecas internas (115). Únicamente se aprecian dos entradas (113) provistas en la primera base (113), correspondiendo cada entrada (113) a una respectiva cámara hueca interna (115) ubicada dentro del cuerpo principal (110). Por consiguiente, la estructura de membrana (100) comprende cuatro cámaras huecas internas (115), como se puede observar en la figura 4.

Por otro lado, la figura 4 intersecada por un plano horizontal que corta por la mitad la parte más superior de los tres pasadores (110.2, 110.2'), de modo que se muestren detalles adicionales con respecto a cómo los pasadores (110.2, 110.2') acceden a la región de muestra cercana a la roca, a través de las paredes divisorias (116), para medir las deformaciones de muestras de roca. En particular, se observa cómo el extremo distal de los canales internos está ubicado antes de una sección cilíndrica correspondiente a la pared interna permeable (112).

De esta manera, el extremo distal de los pasadores (110.2, 110.2') entra en contacto mecánicamente con la región de muestra cercana a la roca de la estructura de membrana (100) para medir las deformaciones de la superficie externa de la muestra de roca durante la prueba de producción de arena.

Por consiguiente, estas deformaciones se traducen en desplazamientos lineales de los pasadores (110.2, 110.2') alojados dentro de los orificios radiales. Por lo tanto, los pasadores (110.2, 110.2') se mueven linealmente, pudiendo transmitir dicho movimiento a un extensómetro montado sobre una estructura de soporte de tipo columna, ubicada frente a cada fila de pasadores (110.2, 110.2'), proporcionando, por lo tanto, información relacionada con la deformación de la muestra de roca en forma de variación eléctrica.

Adicionalmente, tal y como puede observarse en las figuras 3 y 4, las aberturas de los orificios radiales están provistas de respectivos casquillos de centrado flexibles configurados para proporcionar a los pasadores (110.2, 110.2') una mejor alineación y acomodación dentro de los orificios radiales

La figura 5 muestra una representación esquemática de una serie de cuatro estructuras de soporte elásticamente deformables (208), que forman parte de cuatro extensómetros respectivos, para un sistema adecuado para una prueba de producción de arena, de acuerdo con las realizaciones mostradas en las figuras 3 y 4. En particular, se observa cómo una porción de una estructura de una primera placa base (201) comprende cuatro estructuras de soporte de tipo columna (es decir, las estructuras de soporte elásticamente deformables (208)), cada una dispuesta para orientarse hacia una fila respectiva del alojamiento radial de los pasadores (110.2, 110.2') mostrados en las figuras 3 y 4.

De acuerdo con esta configuración, cada una de las estructuras de soporte elásticamente deformables (208) de los extensómetros, comprende una galga extensiométrica (208.1), estando acoplado cada pasador (110.2, 110.2') también por un extremo a dicha estructura soporte elásticamente deformable (208). En una realización preferida, al menos una de las estructuras de soporte elásticamente deformables (208) comprende dos galgas extensométricas (208.1) dispuestas de acuerdo con una configuración de medio puente (Wheatstone). En otra realización preferida, al menos una de las estructuras de soporte elásticamente deformables (208) comprende cuatro galgas extensométricas (208.1) dispuestas de acuerdo con una configuración de puente completo (Wheatstone).

Las figuras 6, 7 y 8 muestran diferentes configuraciones de un sistema (200) adecuado para una prueba de producción de arena de acuerdo con la invención.

En particular, la figura 6 muestra una vista frontal del sistema (200), intersecada por un plano vertical que proporciona una vista de los detalles internos del sistema (200). Como se puede observar, el sistema (200) comprende una primera placa base (201) sobre la que descansan el resto de elementos del sistema (200) mostrados.

Una estructura de membrana (100) de acuerdo con una realización del primer aspecto inventivo está fijada por su parte base inferior (es decir, segunda) a la primera placa base (201). Se proporciona una muestra de roca (300) provista de una forma de cilindro hueco dentro del alojamiento interno (H) de la estructura de membrana (100). Se muestra una segunda placa base (202) que descansa sobre la base superior (es decir, primera) de la estructura de membrana (100), que cierra dicho alojamiento (H).

Con respecto a la distribución del primer y segundo fluidos usados para la aplicación de presión axial sobre la muestra de roca (300) durante la prueba de producción de arena, el sistema (200) de la figura 6 comprende los siguientes elementos.

En cuanto al suministro del primer fluido, es decir, el fluido usado para aplicar presión hidrostática en la pared externa estanca al agua de la estructura de membrana (100), el sistema (200) comprende una primera bomba (no mostrada)

para bombear el primer fluido al espacio intermedio de la carcasa (no mostrada) para aumentar la primera presión de fluido.

5 Con respecto a la distribución del segundo fluido, es decir, el fluido suministrado en el interior de las cámaras huecas internas (115) para su posterior suministro a presión sobre la muestra de roca (300), el sistema (200) comprende una segunda bomba (no mostrada) para bombear el segundo fluido. Adicionalmente, se puede observar que la segunda placa base (202) comprende un puerto de entrada (202.1) para la admisión del segundo fluido; y un puerto de salida (202.2) que se muestra en comunicación fluidica con una entrada (113.1) de la estructura de membrana (100) para proporcionar una cámara hueca interna (115) correspondiente con un flujo del segundo fluido.

10 La comunicación de fluido entre la segunda bomba y el puerto de entrada (202.1) de la segunda placa base (202) se establece por medio de una tubería de distribución (que se muestra en las figuras 7 y 8), de manera que dicha tubería de distribución (202.3) está acoplada en un primer extremo con el puerto de entrada (202.1) de la segunda placa base (202); y en un segundo extremo con un segundo puerto de entrada (201.1) provisto en la primera placa base (201).

15 La figura 7 muestra una vista en perspectiva de la totalidad del sistema (200) de la figura 6, en donde se ha representado la tubería de distribución (202.3). En particular, se puede observar que el puerto de entrada (201.1) de la primera base (201) está conectado a un único conducto que está conectado, aguas abajo del puerto de entrada (201.1) con un anillo de distribución que comprende una pluralidad de conductos, cada uno de ellos acoplado por un extremo con un puerto de entrada (202.1) respectivo de la segunda placa base (202) para establecer comunicación fluidica. A su vez, cada puerto de entrada (202.1) de la segunda placa base (202) está en comunicación fluidica con un puerto de salida (202.2) respectivo que, de la misma manera, finalmente establece comunicación fluidica con una de las entradas (113.1) provistas en la primera base (113) de la estructura de membrana (100) para proporcionar un flujo del segundo fluido a una cámara hueca interna (115) correspondiente.

20 Adicionalmente, el sistema (200) mostrado en la figura 7 comprende una porción de un pistón adaptado para ejercer una fuerza axial sobre la segunda placa base (202) de acuerdo con la dirección longitudinal. En particular, se puede observar que sobre la segunda placa base (202) descansa un tronco de cono (203.1) para distribuir la presión, a la segunda placa base (202), de la fuerza axial ejercida por el pistón cuando se actúa de manera operativa. De acuerdo con otra realización, el cono truncado (203.1) se sustituye por un cilindro.

25 La figura 8 muestra una vista en perspectiva del sistema (200) de la figura 7, intersecada por un plano vertical que proporciona una vista de los detalles internos del sistema (200), y que comprende además un compartimento de recogida (206) provisto debajo de la estructura de membrana (100) y configurado para recibir tanto las partículas de la muestra de roca (300) producidas durante el prueba de producción de arena; como el segundo fluido que pasa a través de la muestra de roca durante la prueba de producción de arena.

30 Como se puede observar, el compartimento de recogida (206) está provisto con una forma tubular, comprendiendo una sección inferior del compartimento de recogida (206) un deflector de arena. En particular, dicho deflector de arena consiste en una placa curva fijada a una cara interna del compartimento de recogida (206) inclinada hacia la base inferior del compartimento de recogida (206), para permitir que la arena colapsada caiga a las secciones inferiores del compartimento de recogida (206) de manera controlada e intentar evitar que se aglomere en la base de forma que se formen agregados.

35 Adicionalmente, el compartimento de recogida (206) comprende medios de pesaje (207) configurados para recibir y pesar las partículas de la muestra de roca (300) producidas durante la prueba de producción de arena y desviadas por el deflector de arena. En particular, los medios de pesaje (207) comprenden una celda de carga acoplada a una placa de recogida ubicada en una sección más inferior del compartimento de recogida (206).

40 La figura 9 muestra una vista en perspectiva de una realización de un sistema (200) adecuado para una prueba de producción de arena completamente ensamblado en una configuración operativa. En particular, se puede observar que una de las disposiciones del sistema (200) mostradas en las figuras 6, 7 u 8 está confinada dentro de una carcasa (205) que está dispuesta de manera que se fija de forma estanca al agua sobre la primera placa base (201), que define una cámara de presión en su interior, es decir, un espacio intermedio entre la carcasa (205) y la membrana (100). Este espacio intermedio está configurado para alojar el primer fluido suministrado por la primera bomba para ejercer una presión hidrostática predeterminada sobre la estructura de membrana (100).

REIVINDICACIONES

1. Estructura de membrana (100) adecuada para una prueba de producción de arena de una muestra de roca (300) provista de una forma de cilindro hueco extendida a lo largo de una dirección longitudinal, comprendiendo la estructura de membrana (100) un cuerpo principal (110), en donde el cuerpo principal (110) comprende:
- 5 un alojamiento (H) configurado para confinar la muestra de roca (300) en su interior;
 una pared externa estanca al agua (111) adaptada para soportar la presión hidrostática externa ejercida por un primer fluido cuando la estructura de membrana (100) está operativa;
 10 una pared interna permeable (112) que limita el alojamiento (H) y está configurada para ejercer presión sobre la muestra de roca (300) y, para inyectar un segundo fluido en la superficie externa de dicha muestra de roca (300) cuando la estructura de membrana (100) está operativa;
 una primera base (113);
 una segunda base (114) opuesta a la primera base (113) de acuerdo con la dirección longitudinal; caracterizada por que el cuerpo principal (110) incluye, además:
 15 una pluralidad de cámaras huecas internas (115) ubicadas entre la pared externa estanca al agua (111) y la pared interna permeable (112),
- en donde
- 20 el cuerpo principal (110) de la estructura de membrana (100) comprende una pluralidad de paredes divisorias (116), estando configurada cada una de la pluralidad de paredes divisorias (116) para separar dos cámaras huecas internas adyacentes (115);
 la primera base (113) o la segunda base (114) del cuerpo principal (110) comprende una pluralidad de entradas (113.1), estando configurada cada una para establecer una comunicación fluidica entre una de la pluralidad de cámaras huecas internas (115) y una fuente externa del segundo fluido; y
 25 cada una de la pluralidad de cámaras huecas internas (115) comprende una pluralidad de partículas rígidas (115.1) que llenan el espacio interno de cada cámara hueca (115), dicha pluralidad de partículas rígidas (115.1) destinada a transmitir la presión externa ejercida desde la pared externa (111) hacia la pared interna (112) mientras que permite el paso del segundo fluido desde la al menos una entrada (113.1) hacia la pared interna permeable (112).
- 30
2. Estructura de membrana (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde al menos una de la pluralidad de cámaras huecas internas (115) se extiende a lo largo de una sección trapezoidal circular del cuerpo principal (110).
- 35
3. Estructura de membrana (100) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la pared interna permeable (112) comprende una pluralidad de poros (112.1) de manera que se establece una comunicación fluidica entre cada una de la pluralidad de cámaras huecas internas (115) y el alojamiento (H) configurado para confinar la muestra de roca (300).
- 40
4. Estructura de membrana (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la pluralidad de cámaras huecas internas (115) está equidistribuida a lo largo de una trayectoria circular alrededor de la dirección longitudinal.
- 45
5. Estructura de membrana (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la pluralidad de partículas rígidas (115.1) son partículas esféricas de acero apiladas en una configuración de empaquetamiento compacto.
- 50
6. Estructura de membrana (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos una cámara hueca interna (115) comprende una malla de filtro (115.2) provista cerca de la pared interna permeable (112).
- 55
7. Estructura de membrana (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el cuerpo principal (110) comprende al menos un orificio radial (110.1) configurado para alojar un pasador (110.2) conectado a un extensómetro, que permite el acceso del pasador (110.2) a través de una abertura provista en la pared externa estanca al agua (111) a la pared interna para medir la deformación radial de dicha muestra o roca.
- 60
8. Estructura de membrana (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores y la reivindicación 7, en donde el orificio radial (110.1) se extiende a través de una pared divisoria (116) del cuerpo principal (110).
9. Estructura de membrana (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el cuerpo principal (110) está fabricado de un polímero elastomérico.
- 65
10. Sistema (200) adecuado para una prueba de producción de arena de una muestra de roca (300) provista de una forma de cilindro hueco extendida a lo largo de una dirección longitudinal, comprendiendo el sistema (200):
- una primera placa base (201);
 - una estructura de membrana (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, descansando la

segunda base (114) de la estructura de membrana (100) sobre la primera placa base (201);

- una segunda placa base (202) que descansa sobre la primera base (113) de la estructura de membrana (100) configurada para ejercer una fuerza axial a la estructura de membrana (100) y a la muestra de roca (300) confinada dentro del alojamiento (H) de la estructura de membrana (100) de manera operativa;
- 5 - una carcasa (205) ubicada sobre la primera placa base (201), la carcasa configurada para alojar la membrana (100) y la segunda placa base (202) con un espacio intermedio entre la carcasa (205) y la membrana (100) para alojar el primer fluido;
- un pistón (203) adaptado para ejercer una fuerza axial a la segunda placa base (202) de acuerdo con la dirección longitudinal;
- 10 - una primera bomba para bombear el primer fluido;
- una segunda bomba para bombear el segundo fluido;

en donde la segunda placa base (202) comprende al menos un puerto de entrada (202.1) para el segundo fluido y un puerto de salida (202.2) para el segundo fluido, de manera que

- 15 el puerto de entrada (202.1) está en comunicación fluidica con la segunda bomba; y el puerto de salida (202.2) está en comunicación fluidica con la al menos una entrada (113.1) de la estructura de membrana (100) configurada para establecer una comunicación fluidica entre la pluralidad de cámaras huecas internas (115) y una fuente externa del segundo fluido; y
- 20 en donde la primera bomba está en comunicación fluida con el espacio intermedio de la carcasa (205) para aumentar la primera presión de fluido, estando el primer fluido en contacto con la pared externa estanca al agua (111) de la estructura de membrana (100) de manera operativa.

11. Sistema (200) de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la comunicación fluida entre la segunda bomba y el puerto de entrada (202.1) de la segunda placa base (202) se establece por medio de una tubería de distribución (202.3), de manera que

- 30 la tubería de distribución (202.3) está acoplada en un primer extremo con el puerto de entrada (202.1) de la segunda placa base (202); y la tubería de distribución (202.3) está acoplada en un segundo extremo con la primera placa base (201); y en donde la primera placa base (201) comprende además un segundo puerto de entrada (201.1) configurado para establecer una comunicación fluida entre la segunda bomba y el segundo extremo de la tubería de distribución (202.3).

12. Sistema (200) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11, en donde el pistón (203) está acoplado a un cono truncado (203.1) que descansa sobre la segunda placa base (202) y está configurado para la redistribución de la presión, a la segunda placa base (202), de la fuerza axial ejercida por el pistón (203) cuando se actúa de manera operativa.

13. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, que comprende además un compartimento de recogida (206) provisto debajo de la estructura de membrana (100) y configurado para recibir:

- partículas de muestra de roca (300) producidas durante la prueba de producción de arena; y
- 45 - el segundo fluido que pasa a través de la muestra de roca durante la prueba de producción de arena.

14. Sistema (200) de acuerdo con la reivindicación 13, en donde el compartimento de recogida (206) comprende medios de pesaje (207) configurados para recibir y pesar las partículas de muestra de roca (300) producidas durante la prueba de producción de arena.

15. Sistema (200) de acuerdo con la reivindicación 7 y cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en donde la primera placa base (201) comprende al menos un extensómetro que, a su vez, comprende una estructura de soporte elásticamente deformable (208) orientada hacia el al menos un orificio radial (110.1) que aloja un pasador (110.2), de modo que:

- 55 la estructura de soporte elásticamente deformable (208) comprende una galga extensiométrica (208.1), y el pasador (110.2) está acoplado por un extremo a la estructura de soporte (208).

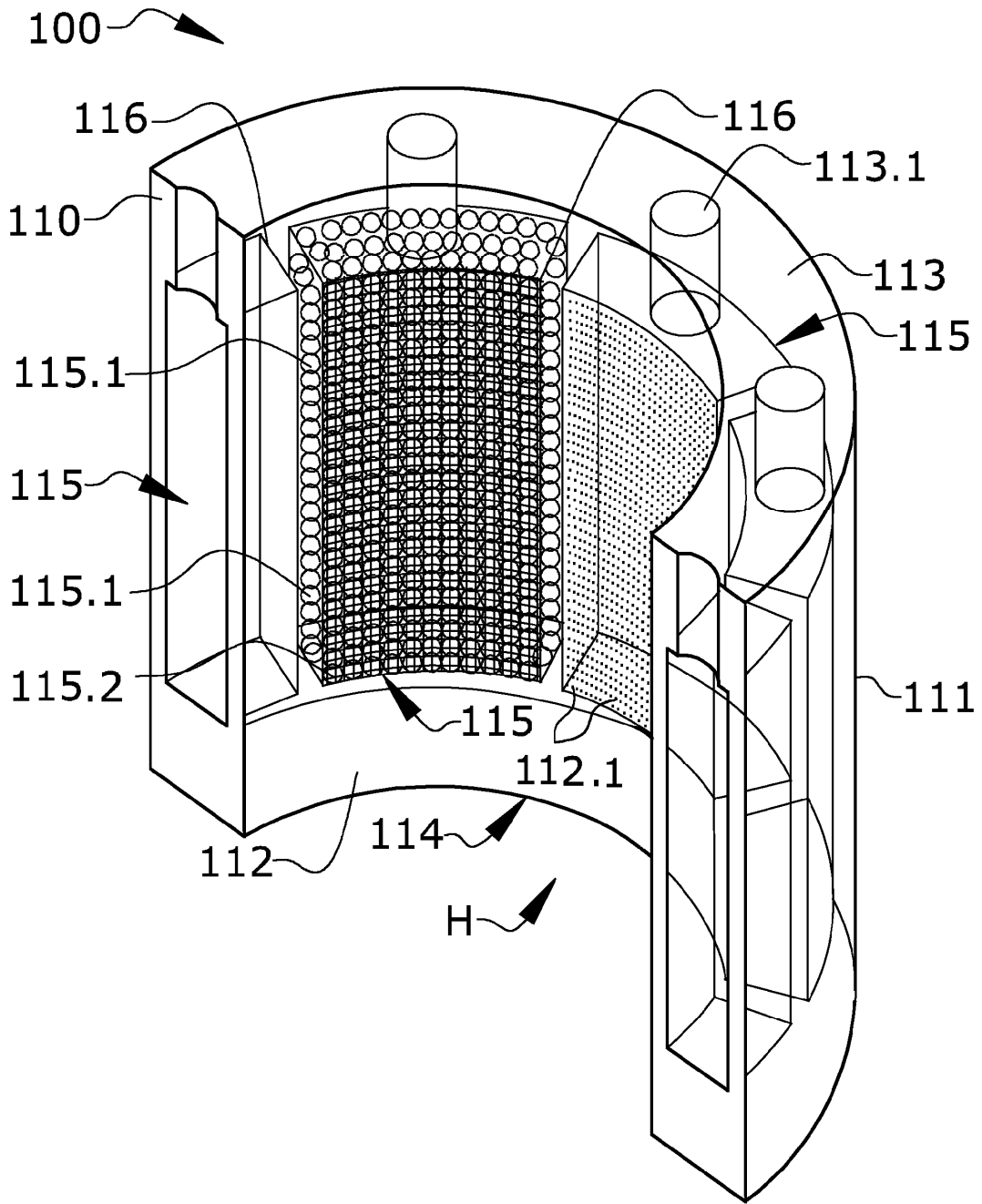


FIG.1

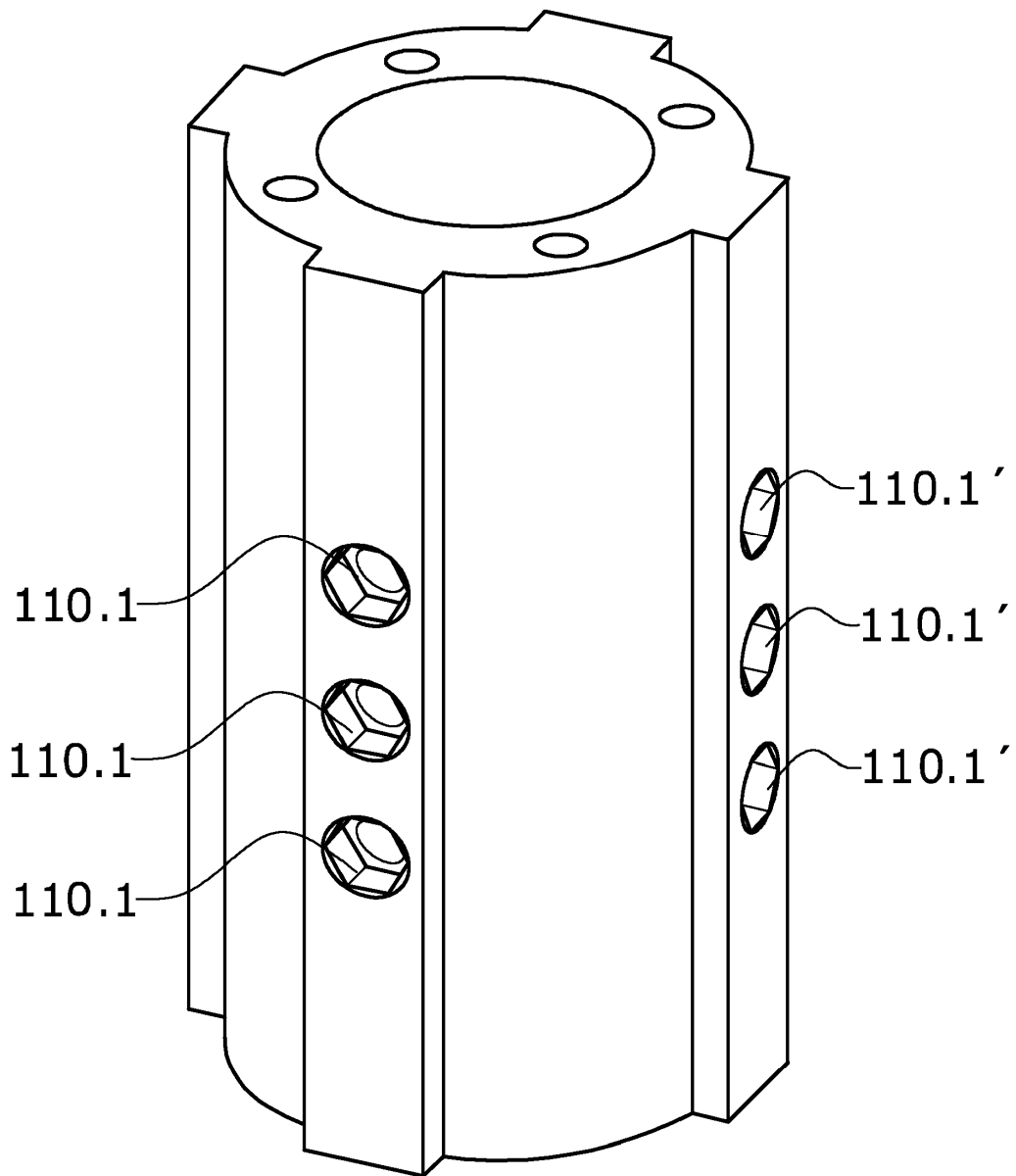


FIG. 2

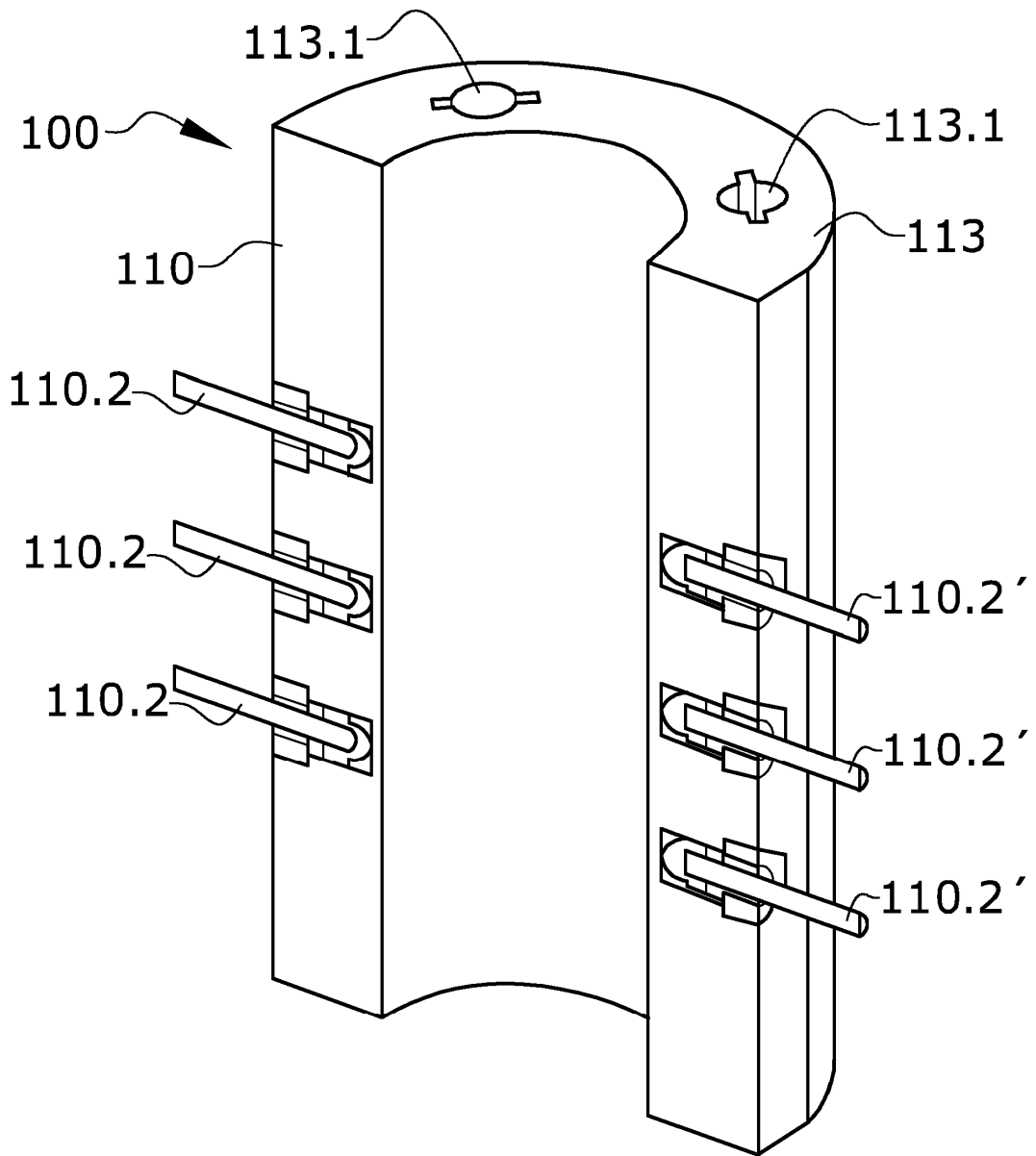


FIG.3

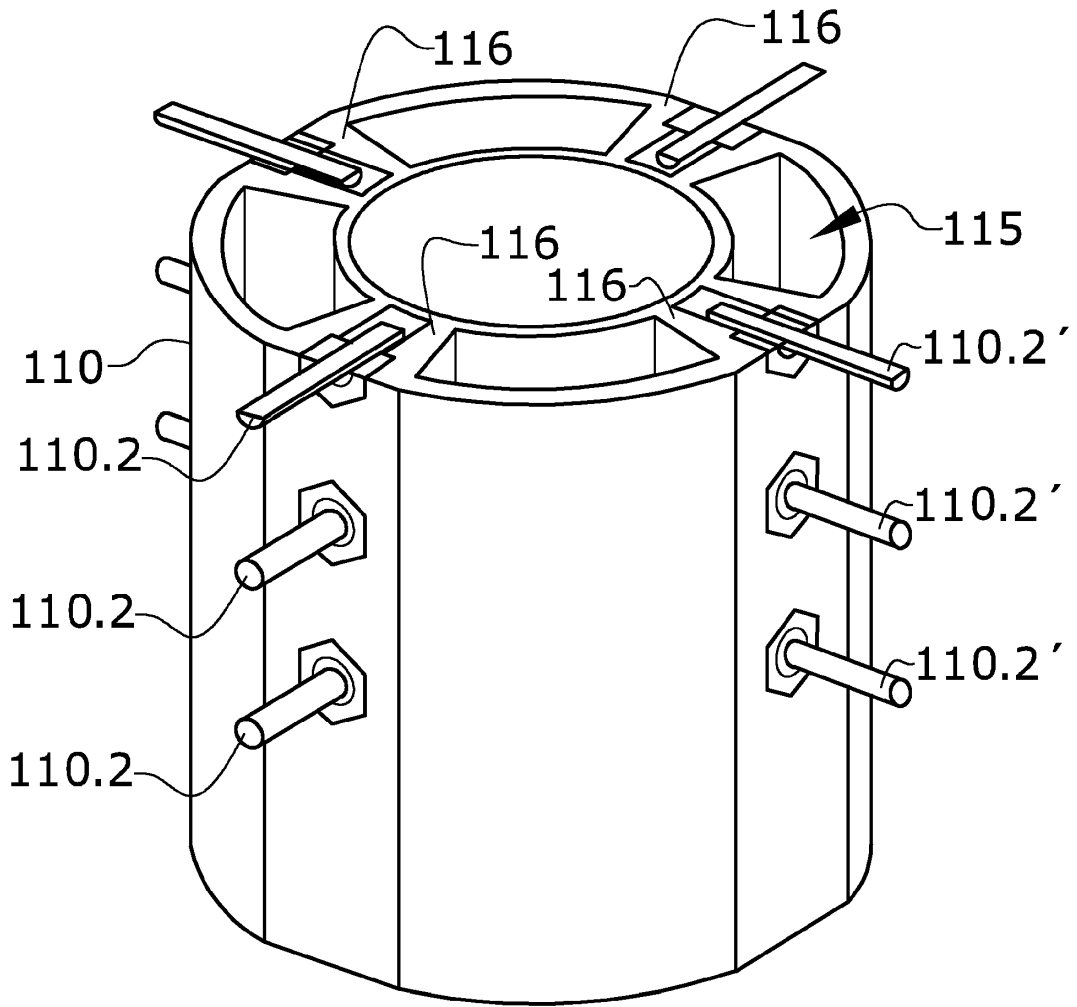


FIG.4

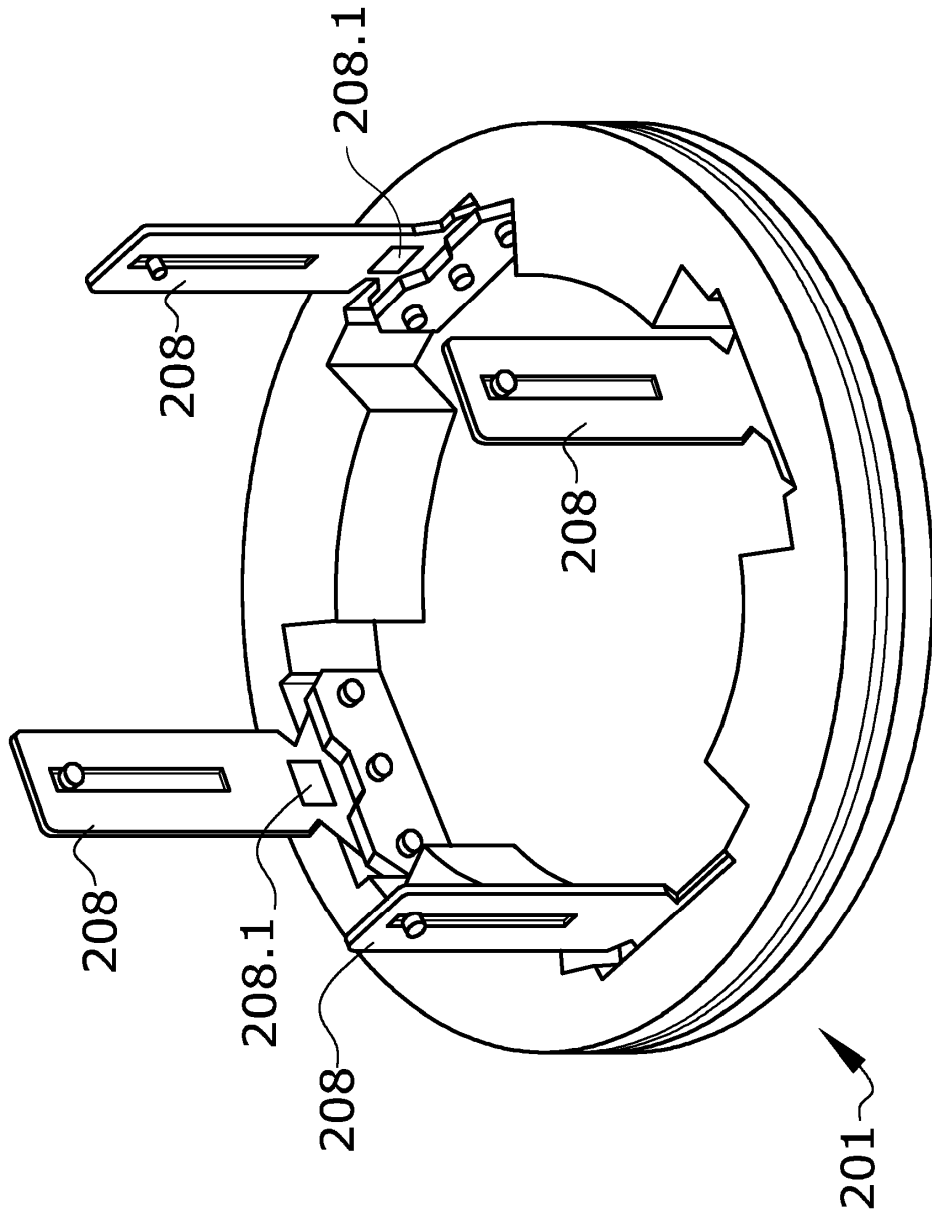


FIG.5

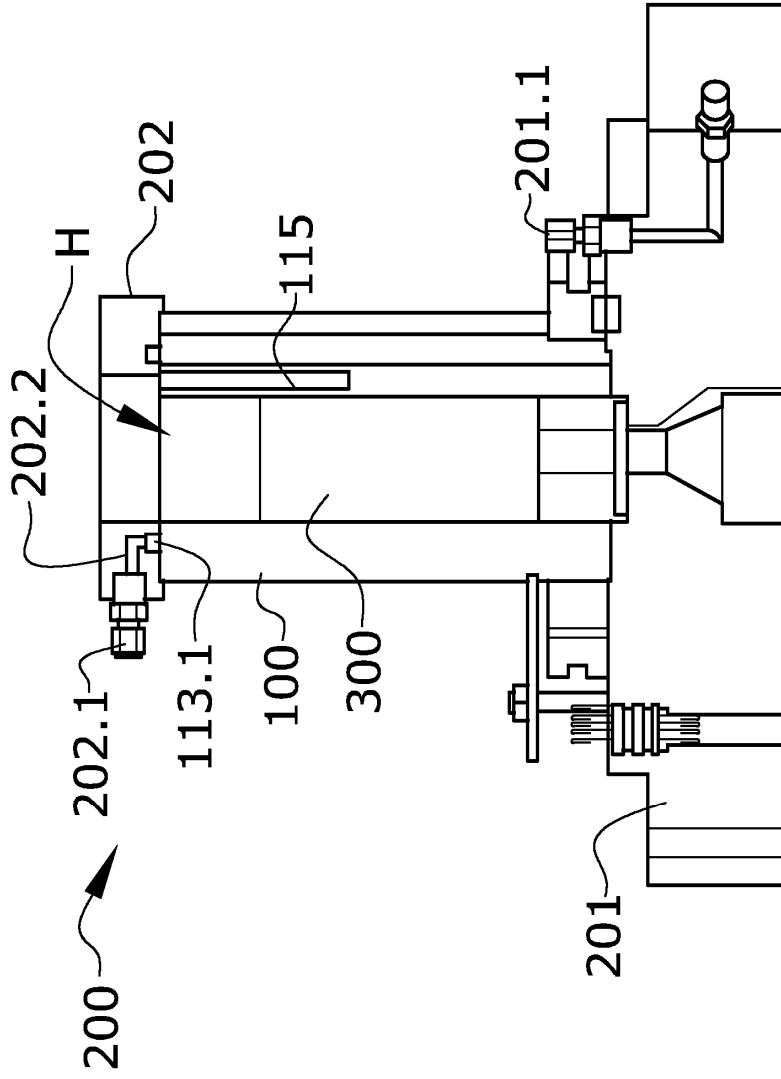


FIG.6

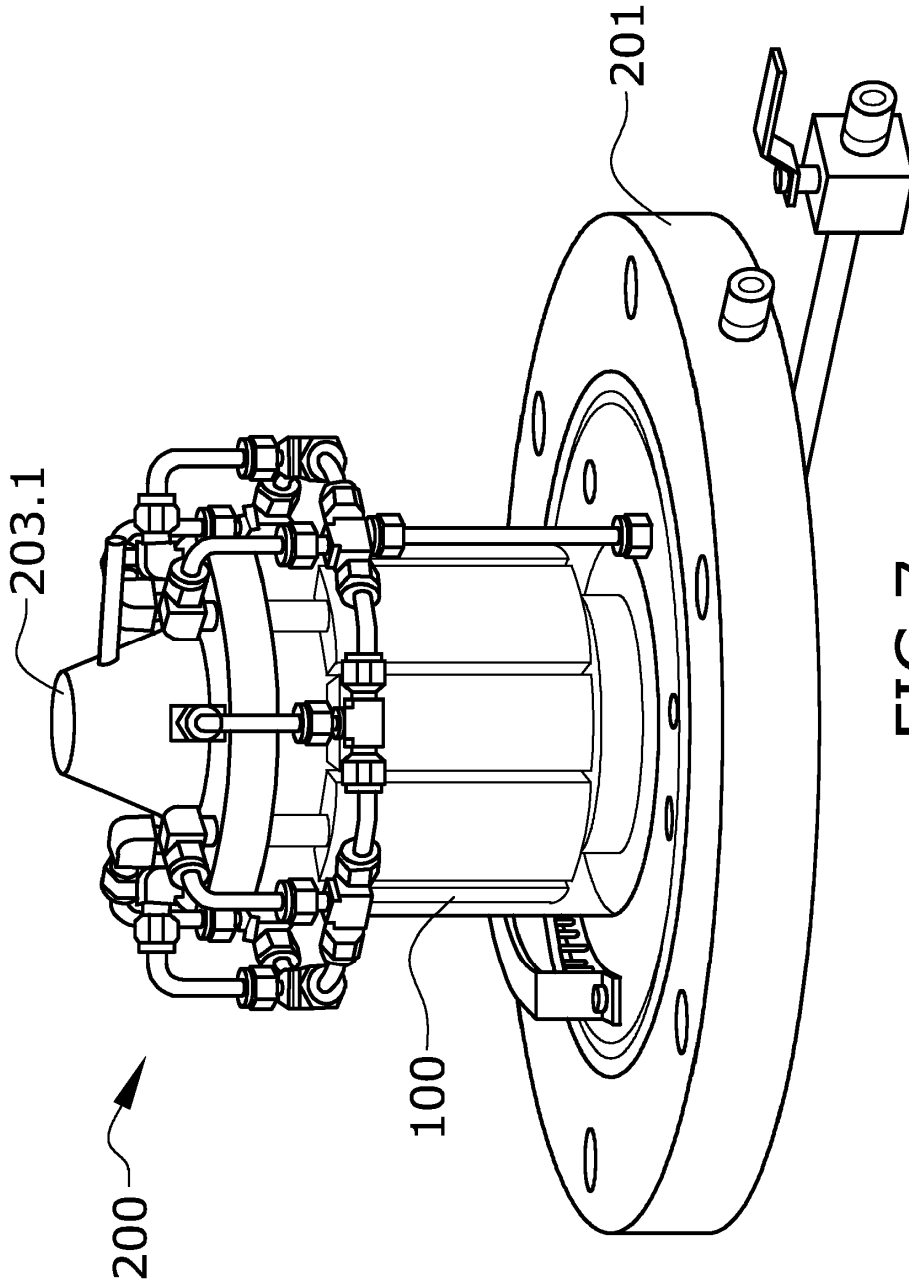


FIG. 7

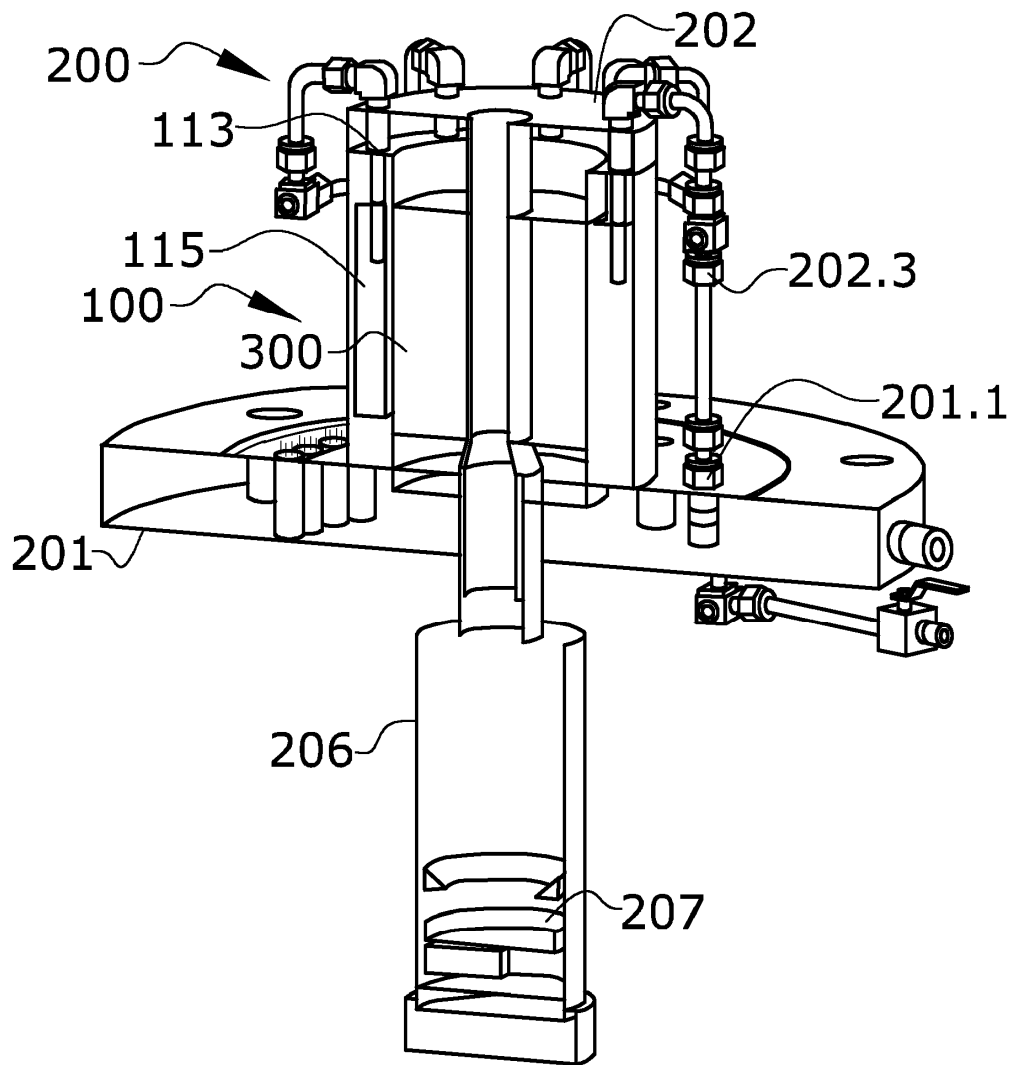


FIG. 8

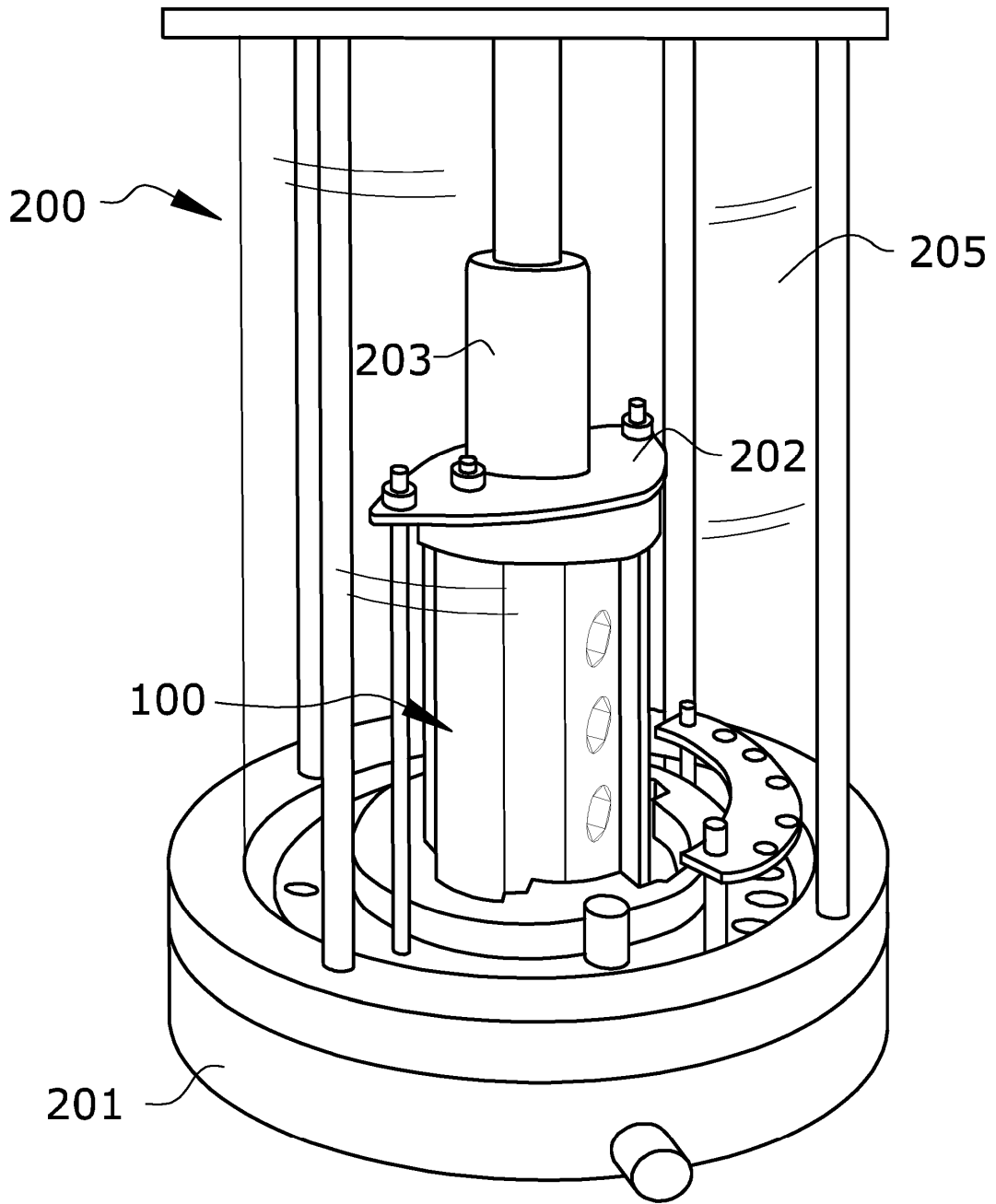


FIG. 9