

DESCRIPCIÓN

Sistema y método de almacenamiento de energía hidráulica por bombeo

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a un sistema y método de almacenamiento de energía hidráulica por bombeo. En particular, la presente invención se refiere a un sistema y método de almacenamiento de energía hidráulica por bombeo que utiliza un fluido de alta densidad o una combinación de un fluido de alta densidad y un fluido de menor densidad, tal como agua, para aumentar la potencia de salida.

ANTECEDENTES

10 Las energías renovables, tal como las que se aprovechan del sol, el viento y el agua, son formas de energía populares para generar electricidad, ya que tienen un impacto mínimo en nuestro medio ambiente. Por ejemplo, las energías renovables no contaminan el medio ambiente, tal como las emisiones de CO₂. Aunque las energías renovables tienen ventajas, también tienen inconvenientes. Por ejemplo, las energías renovables dependen en gran medida de la naturaleza, que en el mejor de los casos es poco o nada fiable. La energía solar requiere luz solar, que puede verse afectada por las nubes; la energía eólica depende del viento, que puede ir y venir; la energía hidráulica depende del
15 agua, que depende de un número limitado de vías fluviales y presenta numerosos problemas. Esta falta de fiabilidad o incoherencia de las energías renovables contribuye a desequilibrar la oferta y la demanda. Estos desequilibrios provocan enormes oscilaciones en los precios de la energía.

20 La energía hidroeléctrica de bombeo convencional se basa en el agua que fluye hacia abajo desde un depósito superior a un depósito inferior a través de una tubería forzada. A continuación, el agua hace girar una turbina para generar electricidad que se envía a la red. Para recargar el depósito superior, se bombea agua por la tubería forzada. El almacenamiento de energía hidroeléctrica por bombeo, al disponer, además de una turbina, de una bomba para recargar el sistema, aporta capacidad de control y fiabilidad. Así se estabilizan los desequilibrios de oferta y demanda inherentes a las fuentes de energía renovables tradicionales. Además, una consideración importante para los sistemas convencionales de energía hidroeléctrica y el almacenamiento hidroeléctrico por bombeo es la huella requerida por
25 los depósitos.

30 El documento WO2015/118527A1 se refiere a un sistema y método para el almacenamiento de energía por bombeo de alta capacidad utilizando fluido coloidal. El sistema incluye al menos un depósito de almacenamiento de acumulación situado a gran altura que incluye una entrada y una salida y al menos un depósito de almacenamiento de acumulación situado a menor altura que incluye una entrada y una salida. El sistema también incluye una comunicación fluida entre los depósitos de almacenamiento mediante una o más tuberías forzadas equipadas con al menos un aparato para convertir el flujo descendente de fluido coloidal en energía mecánica o eléctrica y medios de transporte para suministrar la energía de salida a los consumidores. El sistema incluye además unidades de control, al menos una tubería de retorno que conecta de forma fluida los acumuladores alto y bajo, equipada con al menos una bomba para devolver el fluido coloidal desde el acumulador de menor elevación al acumulador de mayor elevación
35 utilizando energía de acceso procedente de una fuente de energía eléctrica externa durante las horas de baja demanda de los consumidores.

40 El documento GB2511285A se refiere a un sistema hidroeléctrico de almacenamiento por bombeo. El sistema utiliza tanques de almacenamiento de cámara flexible para al menos uno de los depósitos superior o inferior. Esto permite utilizar la acumulación por bombeo sin necesidad de crear depósitos adicionales. La turbina/bomba puede alojarse en un contenedor transportable. Para conectar los depósitos flexibles superior e inferior se utilizan tuberías ligeras de PE o PRFV que minimizan los costes de capital e instalación.

45 El documento WO92/19864 se refiere a un sistema hidráulico. El sistema incluye una primera y una segunda columnas que contienen un líquido. El líquido presente en la segunda columna contiene una suspensión de material particulado finamente dividido para aumentar su gravedad específica en relación con el líquido en la primera columna. El sistema también incluye unos medios para transferir líquido desde la segunda columna a la primera columna mientras se retiene el material particulado en la segunda columna, por lo que la altura del líquido en la primera columna es mayor que en la segunda columna. El sistema incluye además unos medios para permitir que el líquido de la primera columna rebose y unos medios para mantener el nivel de líquido en la segunda columna.

50 El documento EP0191516A1 se refiere a un sistema de almacenamiento y recuperación de energía. El sistema incluye una caverna superior que contiene un fluido de menor densidad, una caverna inferior que contiene un fluido de alta densidad y un aparato de bomba-turbina. El fluido de menor densidad se bombea desde la caverna superior a la caverna inferior para almacenar energía. Como resultado, el fluido de alta densidad se desplaza desde la caverna inferior a la caverna superior. Posteriormente, se permite que el fluido de alta densidad regrese a la caverna inferior desplazando el fluido de menor densidad a la caverna superior.

55 La presente invención está dirigida a un sistema y método de almacenamiento de energía hidroeléctrica por bombeo de huella pequeña con alta potencia de salida.

SUMARIO

5 Las realizaciones se refieren generalmente a un sistema de almacenamiento hidroeléctrico por bombeo no convencional y a la aplicación del sistema de almacenamiento hidroeléctrico por bombeo. El sistema ocupa menos espacio y tiene mayor densidad energética que los sistemas convencionales de energía hidroeléctrica por bombeo. El sistema utiliza un fluido de alta densidad y permite distintas configuraciones en las que los depósitos superior e inferior pueden estar a la misma altura. Las bombas y turbinas hidráulicas pueden situarse a mayor altura que el depósito inferior, por ejemplo, en la superficie sobre una mina subterránea.

10 En particular, en un aspecto, la presente invención proporciona un sistema de almacenamiento hidráulico por bombeo que incluye un primer depósito y un segundo depósito. El primer depósito está configurado para contener un fluido de alta densidad e incluye un primer puerto de flujo de depósito dispuesto en un fondo del primer depósito. El segundo depósito está configurado para contener un fluido de menor densidad que tiene una densidad inferior a la del fluido de alta densidad e incluye un puerto de flujo del segundo depósito ubicado en la parte inferior del segundo depósito. El sistema también incluye un tanque de cavidad dispuesto a una elevación del tanque de cavidad. Una primera elevación del primer depósito es superior a la elevación del tanque de cavidad del tanque de cavidad. Una segunda elevación del segundo depósito es superior a la elevación del tanque de cavidad. El tanque de cavidad está configurado con un puerto de tanque de cavidad superior y un puerto de tanque de cavidad inferior. El puerto del tanque de cavidad superior está situado encima del orificio del tanque de cavidad inferior. El sistema también incluye una unidad de turbina. La unidad de turbina incluye un primer puerto de flujo de la unidad de turbina y un segundo puerto de flujo de la unidad de turbina. El segundo puerto de flujo de la unidad de turbina está acoplado al segundo puerto de flujo del depósito. El sistema también incluye una tubería forzada. La tubería forzada incluye una primera porción de tubería forzada que está acoplada al puerto de flujo de la primera unidad de turbina y al puerto de tanque de cavidad inferior, en el que el puerto más bajo de la primera porción de tubería forzada está por debajo del tanque de cavidad, y una segunda porción de tubería forzada que está acoplada al puerto de tanque de cavidad superior y al puerto de flujo de la primera unidad de turbina. En el modo de generación de energía, el fluido de alta densidad está configurado para fluir a través de la tubería hacia y a través del tanque de cavidad y hacia el segundo depósito, lo que obliga al fluido de menor densidad a hacer girar la unidad de turbina en una primera dirección para generar energía. En el modo de recarga, la unidad de turbina bombea el fluido de menor densidad desde el segundo depósito a través de la tubería forzada hacia el primer depósito, obligando al fluido de alta densidad a volver al primer depósito. El fluido de menor densidad y el fluido de alta densidad están configurados para impedir que el fluido de alta densidad pase a través de la unidad de turbina.

35 En otro aspecto, la presente invención proporciona un método para generar energía a partir de un sistema de almacenamiento hidráulico por bombeo. El método incluye proporcionar un primer depósito que contiene un fluido de alta densidad, en el que el primer depósito incluye un puerto de flujo de primer depósito situado en la parte inferior del primer depósito; proporcionar un segundo depósito que contiene un fluido de menor densidad que tiene una densidad inferior a la del fluido de alta densidad, en el que el segundo depósito incluye un puerto de flujo de segundo depósito situado en la parte inferior del segundo depósito; proporcionar un tanque de cavidad situado en una elevación del tanque de cavidad que está por debajo de una elevación de primer depósito del primer depósito y una elevación de segundo depósito del segundo depósito, en el que el tanque de cavidad está configurado con un puerto de depósito de cavidad superior y un puerto de depósito de cavidad inferior, en el que el puerto de depósito de cavidad superior está situado por encima del puerto de depósito de cavidad inferior; proporcionar una unidad de turbina que incluye una turbina y una bomba, incluyendo la unidad de turbina un puerto de flujo de primera unidad de turbina y un puerto de flujo de segunda unidad de turbina, en el que el puerto de flujo de segunda unidad de turbina está acoplado de manera próxima al puerto de flujo de segundo depósito, y proporcionar una tubería forzada, en el que la tubería forzada incluye; una primera porción de tubería forzada acoplada al puerto de flujo de primer depósito y al puerto del tanque de cavidad inferior, en el que un puerto más bajo de la primera porción de tubería forzada está por debajo del tanque de cavidad, y una segunda porción de tubería forzada acoplada al puerto del tanque de cavidad superior y al puerto de flujo de primera unidad de turbina; en modo de generación de energía, hacer fluir el fluido de alta densidad desde el primer depósito a través de la tubería forzada hacia y a través del tanque de cavidad y hacia el segundo depósito, para forzar al fluido de menor densidad a fluir a través de la turbina y hacia el segundo depósito que hace girar la turbina en una primera dirección para generar energía; en modo de recarga, bombear, mediante la unidad de turbina, el fluido de menor densidad desde el segundo depósito a través de la tubería forzada hacia el primer depósito para forzar al fluido de alta densidad hacia el primer depósito para recargar el sistema; y en el que cuando el fluido de menor densidad y el fluido de alta densidad circulan a través del sistema, el fluido de alta densidad está configurado para evitar pasar a través de la unidad de turbina.

55 Estas y otras ventajas y características de las realizaciones aquí divulgadas, se harán evidentes mediante referencia a la siguiente descripción y a los dibujos que la acompañan.

Además, debe entenderse que las características de las diversas realizaciones descritas en el presente documento no son mutuamente excluyentes y pueden existir en diversas combinaciones y permutaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

60 En los dibujos, caracteres de referencia similares generalmente se refieren a las mismas partes en las diferentes

vistas. Además, los dibujos no están necesariamente a escala, sino que generalmente se hace hincapié en ilustrar los principios de las diversas realizaciones. En la siguiente descripción, varias realizaciones de la presente divulgación se describen con referencia a lo siguiente, en los que:

5 La figura 1 muestra un diagrama simplificado de una realización de ejemplo de un sistema de almacenamiento hidráulico por bombeo, que no forma parte de la presente invención;

La figura 2 muestra un diagrama simplificado de una realización de ejemplo alternativa del sistema de almacenamiento hidráulico por bombeo;

La figura 3 muestra un diagrama simplificado de otra realización de ejemplo alternativa del sistema de almacenamiento hidráulico por bombeo;

10 Las figuras 4a-d muestran diagramas simplificados de realizaciones de ejemplo alternativas de sistemas de almacenamiento hidráulico por bombeo, no siendo las figuras 4a y 4c parte de la presente invención; y

La figura 5 muestra una realización de ejemplo de una configuración de turbina y bomba.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

15 Las realizaciones descritas en el presente documento se refieren generalmente a un sistema de almacenamiento de energía hidráulica por bombeo. El presente sistema de acumulación de energía hidráulica por bombeo produce una mayor producción de energía por volumen que los sistemas convencionales de acumulación de energía hidráulica por bombeo. En algunas realizaciones, el sistema de energía hidráulica por bombeo, a diferencia de los sistemas convencionales de almacenamiento de energía hidráulica por bombeo, puede implantarse en terrenos llanos o incluso topográficos.

20 La figura 1 muestra un diagrama simplificado de una realización de un sistema de almacenamiento de energía hidráulica por bombeo 100 que no forma parte de la presente invención. Como se muestra, el sistema de energía hidráulica por bombeo incluye un depósito superior 110 y un depósito inferior 120 conectados por una tubería forzada 130. En una realización, el depósito superior está situado por encima del depósito inferior. La diferencia de elevación o altura de los dos depósitos puede denominarse cabeza. La tubería forzada está acoplada a un puerto 112 del depósito superior y a un puerto 121 del depósito inferior. La tubería forzada puede ser una tubería, un canal u otro tipo de conducto que proporcione comunicación fluida entre el depósito superior y el inferior a través de los puertos superior e inferior del depósito. En una realización, una unidad de turbina 140 se dispone próxima al puerto del depósito inferior. La unidad de turbina es una turbina reversible. Por ejemplo, la turbina es una turbina de Francis que sirve como generador de energía cuando gira en un primer sentido y como bomba cuando gira en un segundo sentido. También pueden ser útiles otros tipos de turbinas o configuraciones de unidades de turbina. Por ejemplo, la unidad de turbina puede incluir una turbina independiente para generar energía y una bomba para recargar el sistema. Disponer de una turbina y una bomba separadas puede ser especialmente útil para aplicaciones de alta presión. Por ejemplo, una turbina de Francis solo puede funcionar a 70 BAR. El uso de una configuración separada de turbina y bomba puede funcionar por encima de 70 BAR.

35 En funcionamiento, el fluido contenido en el depósito superior fluye a través de la tubería forzada hacia el depósito inferior por gravedad. Esto puede denominarse como el estado de descarga del sistema. A medida que el fluido fluye por la tubería forzada hacia el depósito inferior, hace girar la turbina de Francis en una primera dirección para generar electricidad. La electricidad puede transmitirse mediante líneas de transmisión. Por ejemplo, en momentos de demanda de energía, el fluido fluye desde el depósito superior al inferior para generar electricidad. La turbina puede girar en la segunda dirección, bombeando el fluido desde el depósito inferior hacia el depósito superior. Alternativamente, se utiliza una bomba para bombear el fluido hacia el depósito superior. Esto puede denominarse como el estado de carga o de recarga del sistema. El sistema puede recargarse en momentos de baja demanda de energía o cuando el depósito superior está vacío o casi vacío.

45 En una realización, el sistema es un sistema cerrado. En un sistema cerrado, los depósitos están cerrados. Por ejemplo, los depósitos son tanques de fluido que forman un bucle cerrado. El depósito inferior puede denominarse depósito de alta presión, mientras que el depósito superior puede denominarse depósito de presión inferior en relación con el depósito inferior. En una realización, el depósito superior puede ser un tanque atmosférico cilíndrico mientras que el depósito inferior es un tanque esférico de alta presión. También pueden ser útiles otras configuraciones de tanques. Los depósitos pueden incluir puertos de llenado para llenarlos con fluidos. Los tanques pueden estar configurados para tener aproximadamente la misma capacidad.

50 El sistema puede estar diseñado con los parámetros deseados para generar la cantidad deseada de electricidad y cuando el sistema necesita ser recargado. Por ejemplo, el caudal del fluido, que viene determinado por el tamaño de la tubería forzada, la altura, que viene determinada por la altura entre los depósitos superior e inferior, y el volumen de los depósitos pueden configurarse para determinar la potencia de salida y el tiempo de recarga del sistema. El caudal y la altura determinan la potencia y el volumen de los depósitos determina el tiempo entre recargas.

En una realización, el fluido del sistema de almacenamiento hidráulico bombeado es un fluido de alta densidad. El

5 fluido de alta densidad tiene una densidad superior a la del agua. Por ejemplo, el fluido de alta densidad puede tener una densidad que es $\geq 3x$, donde x es la densidad del agua. En una realización, el fluido de alta densidad es una mezcla de lodos. Se pueden emplear varios tipos de mezclas de lodos. La mezcla de lodo puede incluir, por ejemplo, partículas de óxido metálico mezcladas con un fluido de menor densidad, tal como agua. También pueden ser útiles otros tipos de partículas y fluidos de menor densidad. El volumen de partículas en la suspensión puede ser igual o superior a aproximadamente el 50 %. Por ejemplo, el porcentaje de partículas puede ser de aproximadamente el 50 - 85 %. En otra realización, el porcentaje de partículas puede ser del 50 - 75 %. Cuanto mayor sea el volumen de partículas, mayor será la densidad de los lodos. Todos los porcentajes son porcentajes de volumen. También pueden ser útiles otros porcentajes.

10 En una realización, las partículas del lodo son de tamaño submicrónico para evitar dañar la turbina. En cuanto a la composición restante, incluye un fluido de menor densidad, tal como agua. En una realización, para evitar la coalescencia del lodo y mejorar el flujo, puede añadirse una pequeña cantidad de tensioactivo. Por ejemplo, puede añadirse aproximadamente menos del 1 % de tensioactivo. En algunos casos, puede añadirse anticongelante para evitar la congelación del lodo. La concentración de anticongelante debe ser suficiente para evitar que el lodo se congele.

15 En una realización, el fluido de alta densidad es una mezcla de lodos de magnetita. La mezcla de lodos de magnetita puede alcanzar una densidad de 3 a 4 toneladas/m³, que es más de 3 veces la densidad del agua. Como fluido de alta densidad, también pueden emplearse otros tipos de mezclas de lodos, tal como se ha comentado. La densidad puede depender del contenido mineral y de la composición.

20 Mediante el empleo de fluido de alta densidad, se puede conseguir un sistema de almacenamiento de energía hidráulica por bombeo más compacto. Para un determinado volumen de depósito o tanque, la capacidad de almacenamiento de energía es proporcional a la densidad del fluido. Por ejemplo, en el caso de que el fluido de alta densidad tenga una densidad $3x$, la capacidad de almacenamiento de energía del sistema es 3 veces mayor que cuando se utiliza agua. Esto se debe a que el caudal másico es unas 3 veces superior al del agua. Alternativamente, el sistema puede producir la misma cantidad de energía utilizando menos volumen de fluido y/o menos diferencia de altura entre los depósitos superior e inferior. Esto reduce los costes y aumenta la flexibilidad a la hora de diseñar un sistema que satisfaga los requisitos de producción.

25 Una ventaja, como se ha comentado con el uso de un fluido de alta densidad, es una mayor potencia de salida. El uso de un fluido de alta densidad puede adaptarse fácilmente a los sistemas hidroeléctricos de acumulación por bombeo existentes modificando la tubería forzada y la bomba para que manejen el fluido de alta densidad, aumentando así la producción de energía. Además, los diseños existentes de sistemas de almacenamiento hidráulico pueden modificarse para que sirvan de modelo de sistemas de almacenamiento hidráulico altamente eficientes que manejen un fluido de alta densidad. El coste de construcción, para una demanda de potencia determinada, se reduciría debido a que se necesitaría menos volumen, las tuberías forzadas serían más pequeñas y/o se reduciría la elevación o altura entre los depósitos.

30 La figura 2 muestra un diagrama simplificado de otra realización de un sistema de almacenamiento de energía hidráulica por bombeo 200. El sistema puede incluir componentes similares a los descritos en la figura 1. Dichos componentes pueden no describirse o describirse en detalle.

35 En una realización, el sistema es un sistema cerrado con depósitos superior e inferior 210 y 220. Los depósitos están acoplados mediante una tubería forzada 230. Como se muestra, el sistema está configurado como un sistema de fluido binario que utiliza un primer y segundo fluidos 251 y 255. En una realización, el primer fluido es un fluido de alta densidad y el segundo fluido es un fluido de menor densidad comparado con el primer fluido. El fluido de alta densidad, por ejemplo, tiene una densidad superior a la del agua. El fluido de alta densidad tendrá una densidad $\geq 3,0x$, donde x es la densidad del agua. También pueden ser útiles otras densidades para el fluido de alta densidad. El fluido de alta densidad puede ser una mezcla de lodos, tal como una mezcla de lodos de magnetita. También pueden ser útiles otros tipos de mezclas de lodos o fluidos de alta densidad. En cuanto al segundo fluido, en una realización es agua. Por ejemplo, el fluido de alta densidad es 3 veces más denso que el fluido de menor densidad. También puede ser útil proporcionar diferentes diferenciales de densidad entre los fluidos. Cuanto mayor sea la diferencia, más eficiente será el sistema. También pueden ser útiles otros tipos de fluidos de menor densidad.

40 La tubería forzada 230 incluye una primera y segunda porciones 230a y 230b que están acopladas comunicativamente al primer y segundo depósitos en ambos extremos y un depósito de cavidad 270 acoplado a segundos extremos de la primera y segunda porciones de la tubería forzada. En una realización, el tanque de cavidad es un tanque de cavidad de alta presión. El tanque de cavidad de alta presión debe sostener la presión de sobrecarga del sistema. En una realización, el tanque de cavidad de alta presión sostiene aproximadamente la misma presión que la presión de sobrecarga del sistema. El tanque de cavidad puede ser un tanque de cavidad esférico de alta presión. También pueden ser útiles otros tipos de tanques de cavidad de alta presión.

45 En una realización, el tanque de cavidad está dispuesto cerca del segundo depósito o depósito inferior, pero a cierta distancia horizontal para asegurar que la presión de sobrecarga está cerca de la ejercida por la columna de lodo. Un primer puerto de tanque de cavidad 271 del tanque de cavidad acoplado a la primera porción de la tubería forzada

5 está dispuesto en un fondo del tanque de cavidad mientras que un segundo puerto de tanque de cavidad 272 del tanque de cavidad acoplado a la segunda porción de la tubería forzada está dispuesto en una parte superior del tanque de cavidad. Una unidad de turbina 240 está situada cerca de un puerto inferior del depósito. La turbina puede ser una turbina de Francis. Alternativamente, la unidad de turbina puede incluir una turbina independiente, tal como una turbina de Pelton y una bomba. También pueden ser útiles otros tipos de turbinas o configuraciones de unidades de turbina.

En una realización, la presión en el tanque de cavidad es generada por la columna de fluido de alta densidad. El depósito inferior puede ser un tanque atmosférico. Por ejemplo, el depósito inferior puede ser un tanque atmosférico cilíndrico. En cuanto al depósito superior, también puede ser un tanque atmosférico.

10 En funcionamiento, el fluido de alta densidad contenido en el depósito superior fluye a través de la tubería forzada hacia el tanque de cavidad por gravedad. La presión en el tanque de cavidad debida a la columna de lodo es mucho mayor que la de la columna del fluido de menor densidad contenido en el depósito inferior, por lo que fluiría hacia arriba y, a continuación, a través del inyector de la turbina superior. El puerto inyector, por ejemplo, es la entrada por la que se introduce agua en la turbina. Debido a la marcada diferencia de densidad, el fluido de alta densidad permanece en el fondo del tanque de cavidad, mientras que el fluido de menor densidad se dispone por encima del fluido de alta densidad en el tanque de cavidad. Además, las configuraciones de los puertos del tanque de la primera y segunda cavidad están configuradas para evitar la mezcla del primer y segundo fluidos. A medida que el fluido de alta densidad sigue saliendo del primer depósito o depósito superior por gravedad, obliga al fluido de menor densidad a subir de nuevo al segundo depósito o depósito inferior, haciendo que la turbina gire para generar electricidad. Esto puede denominarse estado de descarga o de generación de energía del sistema. Por el contrario, en el estado de recarga, el fluido de menor densidad (por ejemplo, agua) se bombea hacia el tanque de cavidad, forzando al fluido de alta densidad a volver al depósito superior. El tanque de cavidad debe estar configurado para acomodar la presión creada por el fluido de alta densidad forzando al fluido de menor densidad a regresar al depósito inferior.

15

20

25 En una realización, el sistema está configurado para que el fluido de alta densidad no entre en contacto con la unidad de turbina. Esto evita ventajosamente configurar el sistema para manejar los fluidos de alta densidad. Por ejemplo, no es necesario que el tamaño de las partículas del fluido de alta densidad esté en el régimen submicrónico para evitar dañar la turbina. El tamaño de las partículas del lodo puede ser de varias micrómetros a varios cientos de micrómetros. El tamaño de las partículas del lodo debe tener una distribución no uniforme para facilitar un mayor porcentaje de volumen de partículas en el lodo y el flujo dentro de la tubería forzada.

30 La figura 3 muestra una aplicación del sistema de almacenamiento de energía hidráulica por bombeo de la figura 2. El sistema de la figura 3 incluye elementos comunes al sistema de la figura 2. Los elementos comunes no pueden describirse ni detallarse. De manera ilustrativa, el sistema se implementa en una mina situada, por ejemplo, en una montaña 305. La mina puede ser una mina de carbón. También pueden ser útiles otros tipos de minas. Implantar el sistema en una mina tiene ventajas, ya que existen pozos en la profundidad del suelo 301, lo que reduce el coste de construcción.

35 El sistema incluye un depósito superior 210 situado cerca de la cima de una montaña, creando una diferencia de elevación entre un depósito inferior 220 situado en la base de la montaña, por ejemplo, dentro de la mina. También pueden ser útiles otras ubicaciones de los depósitos. La ubicación puede aprovechar el terreno y/o las estructuras existentes, tal como túneles y pozos. Aunque el sistema se implanta en una mina existente, también puede ser útil implantarlo en otros lugares que aprovechen el terreno natural, tal como cúpulas de sal o estratos.

40 El depósito superior está configurado para estar en comunicación fluida con el depósito inferior a través de una tubería forzada 230. Un tanque de cavidad 270 está dispuesto dentro de la tubería forzada por debajo del depósito inferior. La tubería forzada incluye una primera y una segunda porciones de tubería forzada 230a y 230b. La primera porción de la tubería forzada está acoplada al puerto superior del depósito y a un primer puerto del tanque de cavidad situado en la parte inferior del tanque de cavidad; la segunda porción de la tubería forzada está acoplada al puerto inferior del depósito y a un segundo puerto del tanque de cavidad situado en la parte superior del tanque de cavidad. Como se muestra, la primera tubería forzada incluye una primera y una segunda subsecciones de tubería forzada 230a₁ y 230a₂. La primera subsección de la tubería forzada está dispuesta por encima del suelo y acoplada al depósito superior y la segunda subsección de la tubería forzada está dispuesta por debajo del suelo y acoplada al tanque de cavidad.

45

50 En otras palabras, el tanque de cavidad está situado bajo tierra. En una realización, una unidad de turbina 240 está situada cerca del depósito inferior. Por ejemplo, está situada entre la tubería forzada y el puerto inferior del depósito. En una realización, la unidad de turbina incluye una turbina 354 y una bomba 356. La turbina, por ejemplo, es una turbina de Pelton. También pueden ser útiles otros tipos de turbinas. La turbina, por ejemplo, puede soportar altas presiones del sistema.

55 Un fluido de alta densidad 251 está contenido en el depósito superior. En el depósito inferior se dispone un fluido de menor densidad 255. El funcionamiento del sistema 300 es similar al del sistema 200 de la figura 2. Por ejemplo, el fluido de menor densidad que fluye hacia el depósito inferior hace que la turbina gire en la primera dirección, generando energía. Para recargar el sistema, la bomba bombea el fluido de menor densidad hacia el depósito de cavidad en la segunda dirección, haciendo que el fluido de alta densidad fluya de vuelta al depósito superior.

Proporcionar el tanque de cavidad de alta presión bajo tierra es ventajoso, ya que puede utilizar la presión litostática, contrarrestando así la presión causada por el fluido. Esto reduce los costes de construcción del depósito inferior. Además, el terreno montañoso proporciona una elevación natural al depósito superior. La altura a la que se eleva el depósito superior puede configurarse en función de las necesidades de producción. Por ejemplo, las elevaciones más bajas pueden ser útiles para reducir los costes asociados a la construcción del depósito superior y la tubería forzada si se cumplen los requisitos de producción.

Las figuras 4a-4d muestran varias variantes de sistemas de almacenamiento hidráulico por bombeo. Los sistemas incluyen componentes similares a los sistemas de las figuras 1 a 3. Los elementos comunes no pueden describirse ni detallarse. Los sistemas pueden implantarse ventajosamente en terrenos llanos. Por ejemplo, el primer y segundo depósitos 410 y 420 pueden estar situados aproximadamente a la misma altitud. Estas realizaciones pueden ser especialmente ventajosas para su aplicación en terrenos llanos o flotando en aguas profundas. Esto es contrario a los sistemas convencionales de almacenamiento hidroeléctrico por bombeo, que requieren diferentes alturas o altitudes entre los depósitos superior e inferior.

En referencia a la figura 4a, se muestra una realización de un sistema de almacenamiento hidráulico bombeado 400a, que no forma parte de la presente invención. El sistema incluye el primer y segundo depósitos 410 y 420. En una realización, los depósitos están situados aproximadamente a la misma altitud o altura. Por ejemplo, los depósitos están situados en un terreno llano o, en el caso de una aplicación acuática, en un barco o una plataforma en alta mar. También puede ser útil disponer los depósitos a diferentes alturas. Preferiblemente, el depósito de alta densidad está situado encima del depósito de menor densidad. Los depósitos están en comunicación fluida mediante una tubería forzada 430. Como se muestra, la tubería forzada tiene forma de U. También pueden ser útiles otras formas de tuberías forzadas. La longitud de la tubería forzada puede oscilar entre cientos de metros y kilómetros.

El primer depósito sirve como contenedor para el fluido de alta densidad 451 y el segundo depósito sirve para contener el fluido de menor densidad 455. Debido a la mayor densidad del fluido de alta densidad en relación con el fluido de menor densidad, la gravedad hace que el fluido de alta densidad fluya hacia abajo, forzando al fluido de menor densidad a subir al segundo depósito. Esto hace girar una unidad de turbina 440 situada cerca del segundo puerto del depósito para generar energía. Por ejemplo, la unidad de turbina incluye una turbina-bomba combinada, tal como una turbina de Francis-bomba. El sistema se recarga haciendo que la unidad de turbina invierta su rotación a la segunda dirección. Al invertir la dirección de la turbina, el agua se bombea hacia abajo, hacia el primer depósito. Esto hace que el fluido de alta densidad vuelva al primer depósito, recargando el sistema. En otras realizaciones, la unidad de turbina puede incluir una turbina independiente, como una turbina de Pelton, y una bomba. También pueden ser útiles otros tipos de turbina o configuraciones de unidades de turbina.

En una realización, el volumen del primer fluido o fluido de alta densidad y del segundo fluido o fluido de menor densidad están configurados para que en estado de descarga o de carga, el fluido de alta densidad no entre en contacto con la turbina. Tal configuración evita ventajosamente la necesidad de configurar la bomba para manejar el fluido de alta densidad. Esto también permite utilizar partículas más grandes en el lodo, lo que reduce ventajosamente los costes.

La figura 4b muestra otra realización de un sistema de almacenamiento hidráulico bombeado 400b. El sistema de la figura 4b es similar al descrito en la figura 4a. Los elementos comunes no pueden describirse ni detallarse.

El sistema incluye el primer y segundo depósitos 410 y 420 que están situados aproximadamente a la misma altitud o altura. También puede ser útil disponer los depósitos a diferentes alturas. Los depósitos están en comunicación fluida mediante una tubería forzada 430. Como se muestra, la tubería forzada tiene forma de U. También pueden ser útiles otras formas de tuberías forzadas. En una realización, la tubería forzada se divide en una primera y segunda porciones 430a y 430b, separadas por un depósito de cavidad o tanque 470, como el descrito en las figuras 2 a 3. El depósito de cavidad, por ejemplo, es un depósito de cavidad esférico de alta presión. Los depósitos superior e inferior pueden ser depósitos atmosféricos de forma cilíndrica. También pueden ser útiles otras configuraciones de depósitos.

Proporcionar un depósito de cavidad aumenta ventajosamente la capacidad de fluido del sistema. Como se muestra, el tanque de cavidad está dispuesto debajo del segundo depósito entre la primera y segunda porciones de tubería forzada. Por ejemplo, la primera porción de la tubería forzada acoplada al primer depósito está acoplada a un primer puerto del tanque de cavidad situado en la parte inferior del tanque de cavidad y la segunda porción de la tubería forzada está acoplada al segundo depósito y a un segundo puerto del tanque de cavidad situado en la parte superior del tanque de cavidad. Esta configuración también reduce el riesgo de mezcla entre los fluidos de alta y menor densidad. El funcionamiento del sistema es similar al descrito en la figura 4a, excepto que con una mayor capacidad debido al tanque de cavidad.

La figura 4c muestra otra realización de un sistema de almacenamiento hidráulico por bombeo, que no forma parte de la presente invención. El sistema de la figura 4c es similar al descrito en las figuras 4a-4b. Los elementos comunes no pueden describirse ni detallarse.

El sistema incluye el primer y segundo depósitos 410 y 420 que están situados aproximadamente a la misma altitud o altura. También puede ser útil disponer los depósitos a diferentes alturas. Los depósitos están en comunicación fluida

mediante una tubería forzada 430. Como se muestra, la tubería forzada tiene forma de U. También pueden ser útiles otras formas de tuberías forzadas. En una realización, un separador de fluido 480 está dispuesto en la tubería forzada entre el primer y segundo fluidos 451 y 455. El separador de fluidos, por ejemplo, puede estar formado por un plástico altamente resistente a la abrasión con una densidad intermedia entre la de ambos fluidos. Por ejemplo, el separador flota en el fluido de alta densidad mientras que se hunde en el fluido de menor densidad. El separador de fluidos está configurado para ser deslizable dentro de la tubería forzada y mantiene la separación de los fluidos de alta y menor densidad. La instalación de un separador garantiza que las pequeñas partículas del fluido de alta densidad no sean arrastradas inadvertidamente hasta la unidad de turbina. El uso del separador de fluidos también puede aplicarse a las realizaciones descritas en las figuras 2 a 3. El sistema está configurado para que el separador de fluido no llegue a la turbina 440. El funcionamiento del sistema es similar al descrito en las figuras 4a-b.

La figura 4d muestra otra realización de un sistema de almacenamiento hidráulico bombeado 400d. El sistema de la figura 4d es similar al descrito en las figuras 4a-4c. Los elementos comunes no pueden describirse ni detallarse.

El sistema incluye el primer y segundo depósitos 410 y 420 que están situados aproximadamente a la misma altitud o altura. También puede ser útil disponer los depósitos a diferentes alturas. Los depósitos están en comunicación fluida mediante una tubería forzada 430. Como se muestra, la tubería forzada tiene forma de U. De forma similar a la figura 4b, la tubería forzada se divide en una primera y una segunda porciones 430a y 430b, separadas por un depósito de cavidad 470, como el descrito en las figuras 2 a 3. También, de forma similar a la figura 4c, se proporciona un separador de fluidos 480 en la tubería forzada para asegurar la separación de los fluidos de alta y menor densidad. En una realización, el tanque de cavidad está configurado con una jaula de separador de fluido 475 que asegura que el separador de fluido pueda pasar a través del tanque de cavidad a la primera o segunda porción de la tubería forzada. Por ejemplo, la jaula sirve de guía para el separador de fluidos al tiempo que permite el flujo de fluidos fuera de la jaula y para mantener la separación. La jaula puede ser un conjunto de barras verticales o un tubo perforado con orificios laterales. La jaula está configurada para permitir que el separador de fluido fluya por encima y por debajo del tanque de cavidad. El funcionamiento del sistema es similar al descrito en las figuras 4a-c. Además, se entiende que el separador de fluidos también puede configurarse en el sistema descrito en las figuras 2 a 3.

La figura 5 muestra un ejemplo de una unidad de turbina 240. Como se muestra, la unidad de turbina incluye una turbina separada 554 y una bomba 556. Por ejemplo, la unidad de turbina incluye trayectorias de flujo o tuberías separadas que se acoplan a la tubería forzada 230. Como se muestra, la unidad de turbina incluye una trayectoria de bomba 546 y una trayectoria de turbina 542. Por ejemplo, en las aplicaciones descritas en las figuras 2 a 3, y en las figuras 4a-d, el extremo superior de la tubería forzada está acoplado al segundo depósito o depósito inferior que contiene el fluido de menor densidad, mientras que el extremo inferior de la tubería forzada está acoplado al primer depósito o depósito superior que contiene el fluido de alta densidad, ya sea directa o indirectamente a través de un depósito de cavidad. Por ejemplo, el extremo superior de la tubería forzada es la salida de la turbina 561 mientras que el extremo inferior de la tubería forzada es la entrada de la turbina 562. Como se ha comentado, el sistema está configurado para que el fluido de alta densidad no entre en contacto con la unidad de turbina. Por ejemplo, solo el fluido de menor densidad circula por la unidad de turbina.

En el modo de generación de energía, el fluido de menor densidad, tal como agua, es empujado a través de la trayectoria de la turbina hacia arriba, hacia el depósito inferior, tal como indican las flechas ascendentes. Esto hace que la turbina gire en la primera dirección, generando energía. En el modo de recarga, la bomba bombea el fluido de menor densidad hacia el depósito superior a través de la trayectoria de bombeo, como indican las flechas descendentes. Esto hace que el fluido de alta densidad vuelva al depósito superior, recargando el sistema.

Como se ha descrito, el uso de un fluido de alta densidad en el sistema mejora la potencia de salida. Por ejemplo, en el caso de un sistema que emplea un sistema de fluido binario con un fluido de alta densidad y un fluido de menor densidad, como el agua, en un terreno llano que implica un primer y segundo tanques atmosféricos a la misma elevación y un tanque de cavidad de alta presión por debajo, como los sistemas descritos en las figuras 4b y 4d, la presión en el tanque de la cavidad inferior es la ejercida por la columna de fluido de alta densidad $=c \cdot H \cdot d_1$ y la presión en la entrada de la turbina es $cHd_1 - cHd_2 = cH(d_1 - d_2)$, donde

H es la diferencia de elevación entre el primer depósito (de fluido de alta densidad) y el depósito de cavidad presurizado,

d1 es la densidad del fluido de alta densidad,

d2 es la densidad del fluido de menor densidad, y

c es una constante.

La potencia P generada por el sistema es proporcional al caudal Q y a la presión en la entrada de la turbina y puede definirse como $P = k \cdot Q \cdot cH(d_1 - d_2)$, siendo k una constante. En el caso de que la densidad del fluido de alta densidad sea 3 veces la del fluido de menor densidad, el uso de un sistema de fluido binario aumenta la potencia de salida en un factor de 2 aproximadamente. Como se ha descrito, el uso de un fluido de alta densidad en el sistema mejora la potencia de salida.

5 En el caso que emplea un fluido de alta densidad y un fluido de menor densidad, tal como agua, que incluye primero y segundo tanques atmosféricos a diferentes elevaciones y un tanque de cavidad de alta presión por debajo, tal como los sistemas descritos en las figuras 2 y 3, la presión en el tanque de cavidad presurizado inferiormente es cHd_1 mientras que la presión en la entrada de la turbina es $cHd_1 - chd_2$, siendo h la diferencia de elevación entre el tanque de cavidad y el segundo depósito (de fluido de menor densidad). La potencia generada por el sistema puede definirse como $P = k \cdot Q \cdot (cHd_1 - chd_2)$. Si H es mucho mayor que h , entonces obtendremos casi la misma potencia si utilizamos sólo fluido de alta densidad, pero haciendo pasar sólo agua por la turbina.

10 El concepto inventivo de la presente invención puede plasmarse en otras formas específicas sin apartarse de las características esenciales de la misma. Las realizaciones anteriores, por lo tanto, deben ser consideradas en todos los aspectos ilustrativas y no limitativas de la invención aquí descrita. El alcance de la invención está indicado por las reivindicaciones adjuntas, más que por la descripción anterior, y todos los cambios que entran dentro del significado y el rango de equivalencia de las reivindicaciones están destinados a ser incluidos en las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de almacenamiento hidráulico por bombeo (200, 300, 400b, 400d) que comprende:

5 un primer depósito (210, 410), en el que el primer depósito (210, 410) está configurado para contener un fluido de alta densidad (251, 451) e incluye un primer puerto de flujo del depósito dispuesto en un fondo del primer depósito (210, 410); y

un segundo depósito (220, 420), en el que el segundo depósito (220, 420) está configurado para contener un fluido de menor densidad (255, 455) que tiene una densidad inferior a la del fluido de alta densidad (251, 451), e incluye un segundo puerto de flujo del depósito dispuesto en un fondo del segundo depósito (220, 420);

en el que el sistema comprende, además:

10 un tanque de cavidad (270, 470) dispuesto a una elevación del tanque de cavidad, en el que una primera elevación del primer depósito (210, 410) es mayor que la elevación del tanque de cavidad del tanque de cavidad (270, 470), y una segunda elevación del segundo depósito (220, 420) es mayor que la elevación del tanque de cavidad (270, 470), 420 es mayor que la elevación del tanque de cavidad del tanque de cavidad (270, 470), en el que el tanque de cavidad (270, 470) está configurado con un puerto de tanque de cavidad superior (272) y un puerto de tanque de cavidad inferior (271), en el que el puerto de tanque de cavidad superior (272) está dispuesto por encima del puerto de tanque de cavidad inferior (271);

15 una unidad de turbina (240, 440) que incluye una turbina (354, 554) y una bomba (356, 556), incluyendo la unidad de turbina (240, 440) un primer puerto de flujo de la unidad de turbina y un segundo puerto de flujo de la unidad de turbina, en el que el segundo puerto de flujo de la unidad de turbina está acoplada al segundo puerto de flujo del depósito; y

20 una tubería forzada (230, 430), en el que la tubería forzada incluye

una primera porción de tubería forzada (230a, 430a) acoplada al primer puerto de flujo del depósito y al puerto inferior del tanque de cavidad (271), en el que un puerto más bajo de la primera porción de tubería forzada (230a, 430a) está por debajo del tanque de cavidad (270, 470), y

25 una tubería forzada de la segunda porción (230b, 430b) acoplada al puerto del tanque de cavidad superior (272) y al puerto de flujo de la primera unidad de turbina; **caracterizado por que**

30 en el modo de generación de energía, el fluido de alta densidad (251, 451) está configurado para fluir a través de la tubería forzada (230, 430) y hacia y a través del tanque de cavidad (270, 470) y hacia el segundo depósito (220, 420), forzando al fluido de menor densidad (255, 455) a fluir a través de la turbina (354, 554) y hacia el segundo depósito (220, 420), haciendo girar el fluido de menor densidad (255, 455) la unidad de turbina (240, 440) en una primera dirección para generar energía, y

en modo de recarga, la unidad de turbina (240, 440) bombea el fluido de menor densidad (255, 455) desde el segundo depósito (220, 420) a través de la tubería forzada (230, 430) hacia el primer depósito (210, 410), forzando al fluido de alta densidad (251, 451) a volver al primer depósito (210, 410); y

35 en el que el fluido de menor densidad (255, 455) y el fluido de alta densidad (251, 451) están configurados para impedir que el fluido de alta densidad (251, 451) pase a través de la unidad de turbina (240, 440).

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la primera elevación del primer depósito (210, 410) es mayor que una segunda elevación del segundo depósito (220, 420).

40 3. El sistema de la reivindicación 1, en el que la primera elevación del primer depósito (210, 410) y una segunda elevación del segundo depósito (220, 420) están aproximadamente a la misma altitud.

4. El sistema de la reivindicación 1, en el que el primer (210, 410) y segundo (220, 420) depósitos comprenden tanques atmosféricos cilíndricos.

5. El sistema de la reivindicación 1, en el que el tanque de cavidad (270, 470) comprende un tanque de cavidad esférico de alta presión.

45 6. El sistema de la reivindicación 1, en el que el fluido de alta densidad (251, 451) comprende un lodo con partículas.

7. El sistema de la reivindicación 1, en el que el fluido de menor densidad (255, 455) comprende agua.

8. El sistema de la reivindicación 1, en el que el fluido de alta densidad (251, 451) tiene una densidad que es al menos 3 veces mayor que la del fluido de menor densidad (255, 455).

9. El sistema de la reivindicación 6, en el que la suspensión comprende partículas de óxido metálico.

10. El sistema de la reivindicación 6, en el que el lodo comprende partículas de magnetita para formar un lodo de magnetita.
11. El sistema de la reivindicación 9, en el que:
el lodo comprende entre un 50 y un 85 % de partículas; y
5 los tamaños de las partículas oscila entre varios micrómetros y varios cientos de micrómetros.
12. Un método para generar energía a partir de un sistema de almacenamiento hidroeléctrico por bombeo (200, 300, 400b, 400d) que comprende:
proporcionar un primer depósito (210, 410) que contiene un fluido de alta densidad (251, 451), en el que el primer depósito (210, 410) incluye un primer puerto de flujo del depósito dispuesto en un fondo del primer depósito (210, 410); y
10 proporcionar un segundo depósito (120, 220, 420) que contiene un fluido de menor densidad (255, 455) que tiene una densidad inferior a la del fluido de alta densidad (251, 451), en el que el segundo depósito (220, 420) incluye un segundo puerto de flujo de depósito dispuesto en un fondo del segundo depósito (220, 420);
en el que el método comprende, además:
15 proporcionar un tanque de cavidad (270, 470) dispuesto a una elevación del depósito de cavidad que está por debajo de una elevación del primer depósito del primer depósito (210, 410) y una elevación del segundo depósito del segundo depósito (220, 420), en el que el tanque de cavidad (270, 470) está configurado con un puerto del depósito de cavidad superior (272) y un puerto del tanque de cavidad inferior (271), en el que el puerto del tanque de cavidad superior (272) está dispuesto por encima del puerto del tanque de cavidad inferior (271);
20 proporcionar una unidad de turbina (240, 440) que incluye una turbina (354, 554) y una bomba (356, 556), incluyendo la unidad de turbina ((140, 240, 440) un primer puerto de flujo de unidad de turbina y un segundo puerto de flujo de unidad de turbina, en el que el segundo puerto de flujo de unidad de turbina está acoplado al segundo puerto de flujo del depósito y proporcionar una tubería de presión (230, 430), en el que la tubería de presión (230, 430) incluye
25 una primera porción de tubería forzada (230a, 430a) acoplada al primer puerto de flujo del depósito y al puerto inferior del tanque de cavidad (271), en el que un puerto más bajo de la primera porción de tubería forzada (230a, 430a) está por debajo del tanque de cavidad (270, 470), y
una tubería forzada de la segunda porción (230b, 430b) acoplada al puerto del tanque de cavidad superior (272) y al puerto de flujo de la primera unidad de turbina;
30 en el modo de generación de energía, hacer fluir el fluido de alta densidad (251, 451) desde el primer depósito (210, 410) a través de la tubería forzada (230, 430) hacia y a través del tanque de cavidad (270, 470) y hacia el segundo depósito (220, 420), para forzar al fluido de menor densidad (255, 455) a fluir a través de la turbina (354, 554) y hacia el segundo depósito (220, 420) que hace girar la turbina (354, 554) en una primera dirección para generar energía;
35 **caracterizado por que** el método comprende, en modo de recarga, bombear, mediante la unidad de turbina (240, 440), el fluido de menor densidad (255, 455) desde el segundo depósito (220, 420) a través de la tubería forzada (230, 430) hacia el primer depósito (210, 410) para forzar el fluido de alta densidad (251, 451) hacia el primer depósito (210, 410) para recargar el sistema (200, 300, 400b, 400d); y
40 en el que cuando el fluido de menor densidad (255, 455) y el fluido de alta densidad (251, 451) circulan a través del sistema (200, 300, 400b, 400d), el fluido de alta densidad (251, 451) está configurado para evitar pasar a través de la unidad de turbina (240, 440).
13. El método de la reivindicación 12, en el que el fluido de alta densidad (251, 451) tiene una densidad que es al menos 3 veces mayor que la del fluido de menor densidad (255, 455).
- 45 14. El método de la reivindicación 12, en el que la primera elevación del primer depósito (210, 410) es mayor que una segunda elevación del segundo depósito (220, 420).
15. El método de la reivindicación 12, en el que la primera elevación del primer depósito (210, 410) está aproximadamente a la misma altitud que una segunda elevación del segundo depósito (220, 420).
- 50 16. El método de la reivindicación 12, en el que una segunda elevación del depósito del segundo depósito (220, 420) se coloca cerca de la elevación del depósito de cavidad.

17. El sistema de la reivindicación 1, en el que una segunda elevación del depósito del segundo depósito (220, 420) se coloca cerca de la elevación del depósito de cavidad.

18. El sistema de la reivindicación 1, en el que la unidad de turbina (240, 440) incluye una turbina-bomba combinada.

5 19. El sistema de la reivindicación 1, en el que la unidad de turbina (240, 440) incluye una turbina separada (354, 554) y una bomba (356, 556).

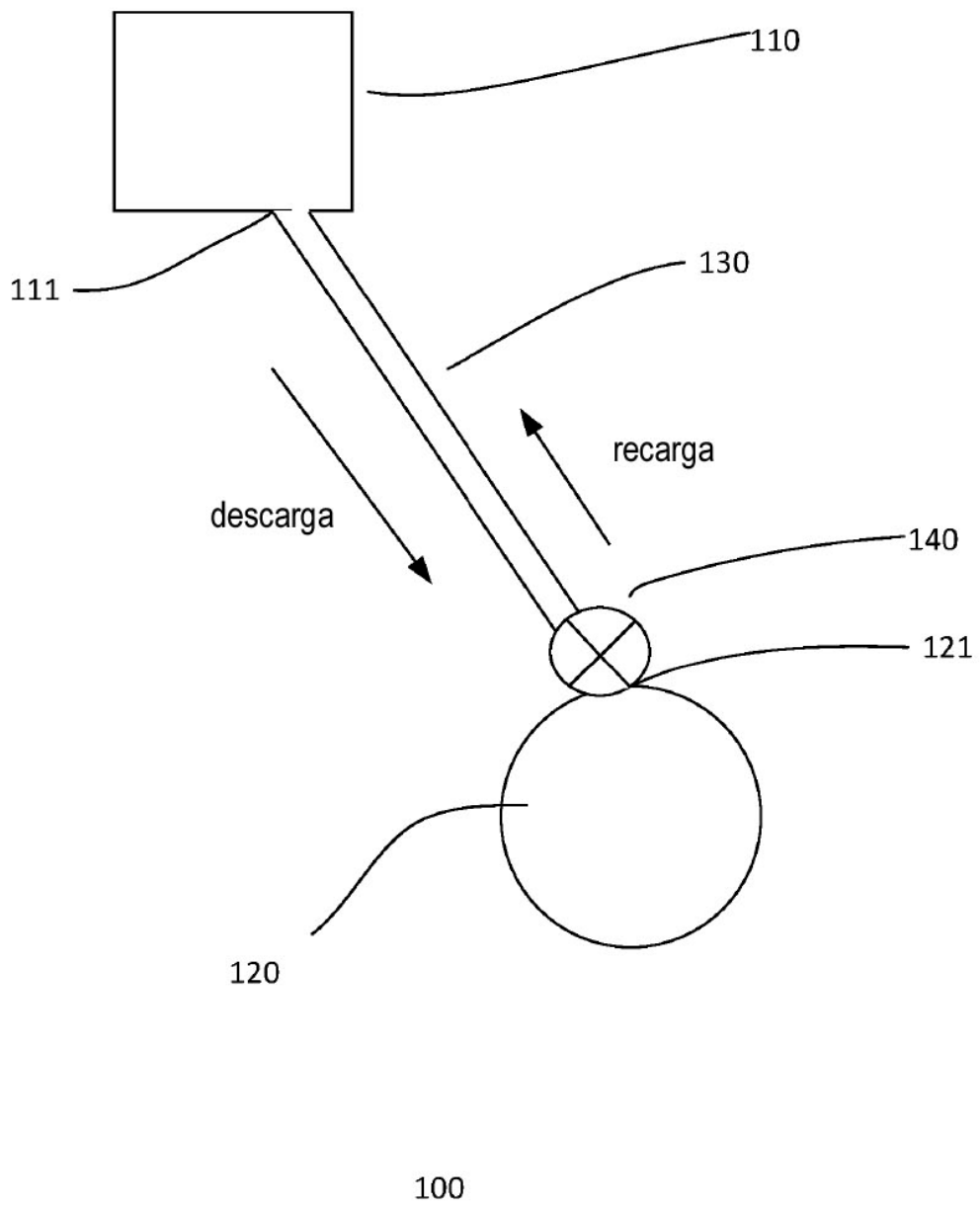


Fig. 1

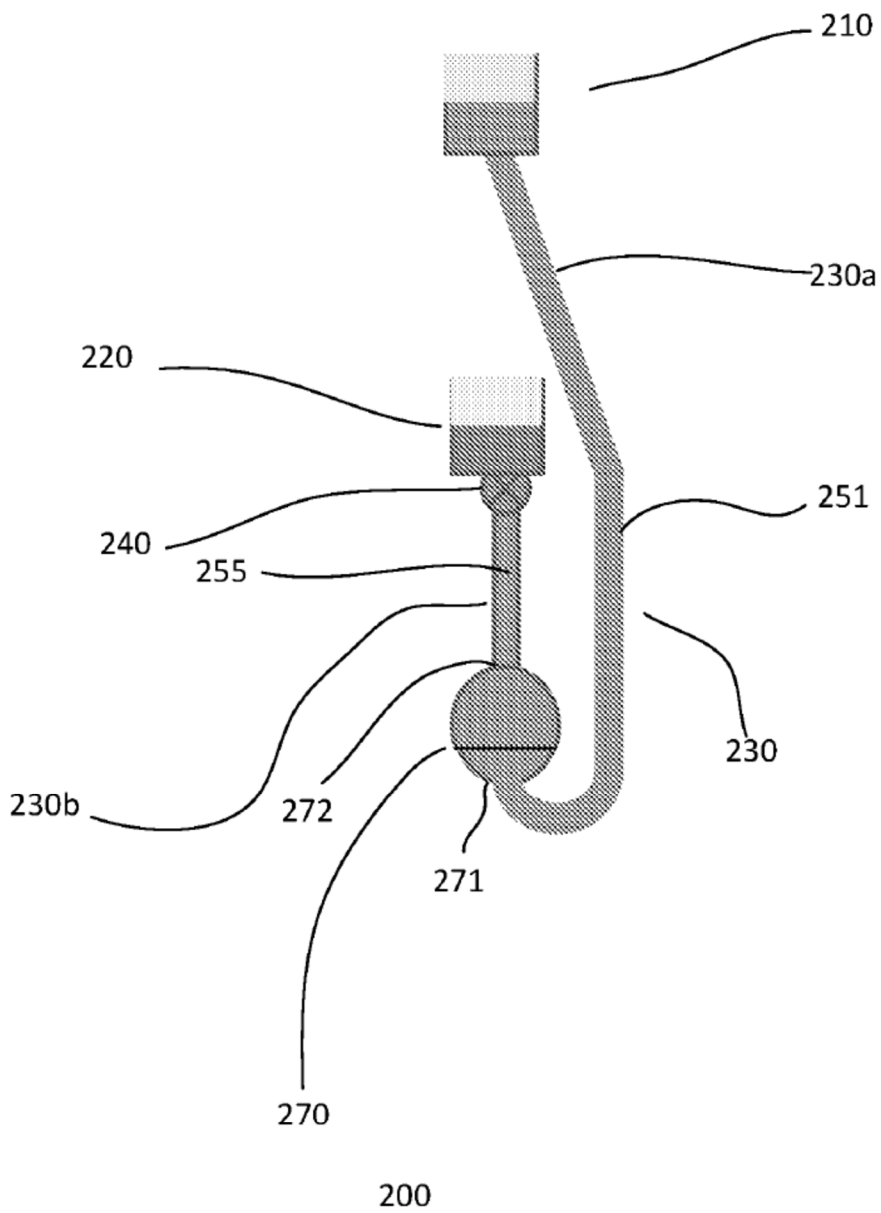


Fig. 2

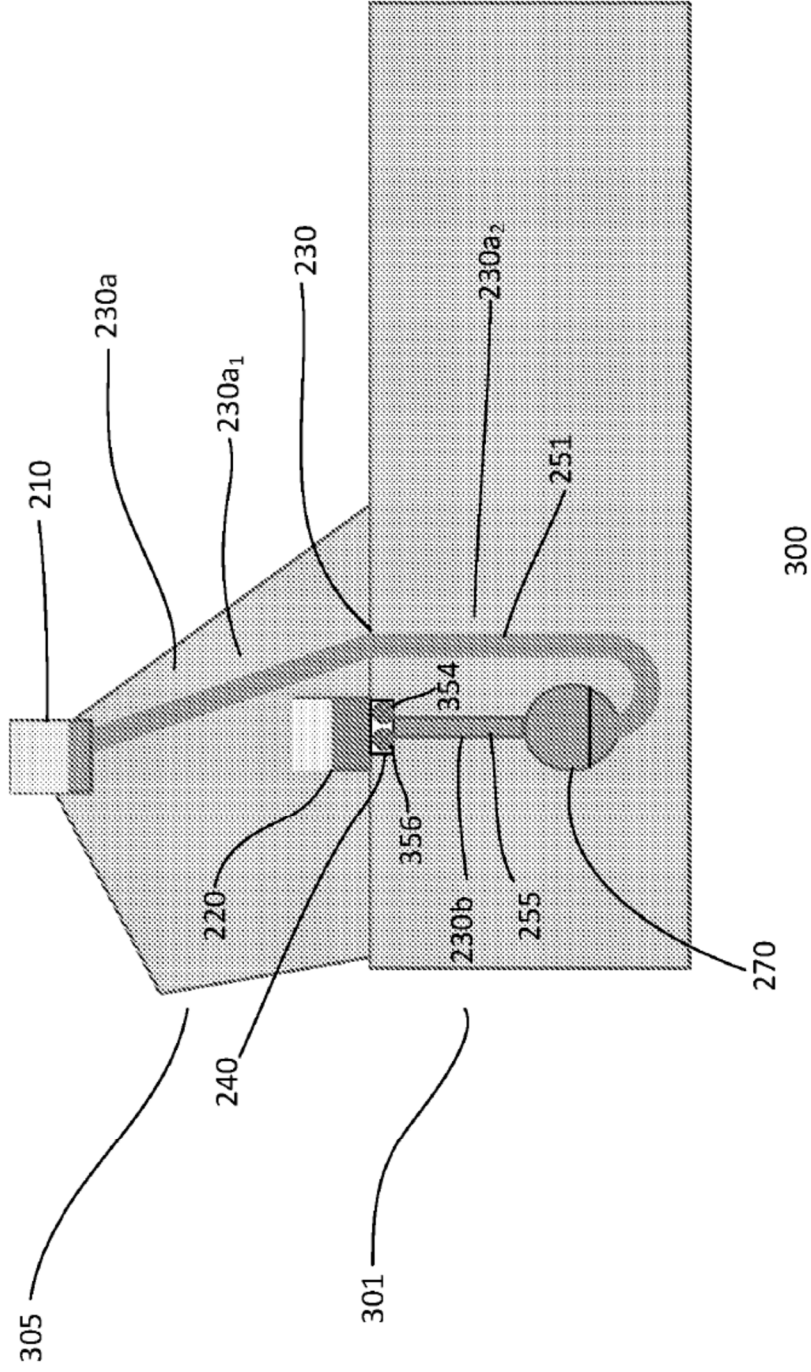


Fig. 3

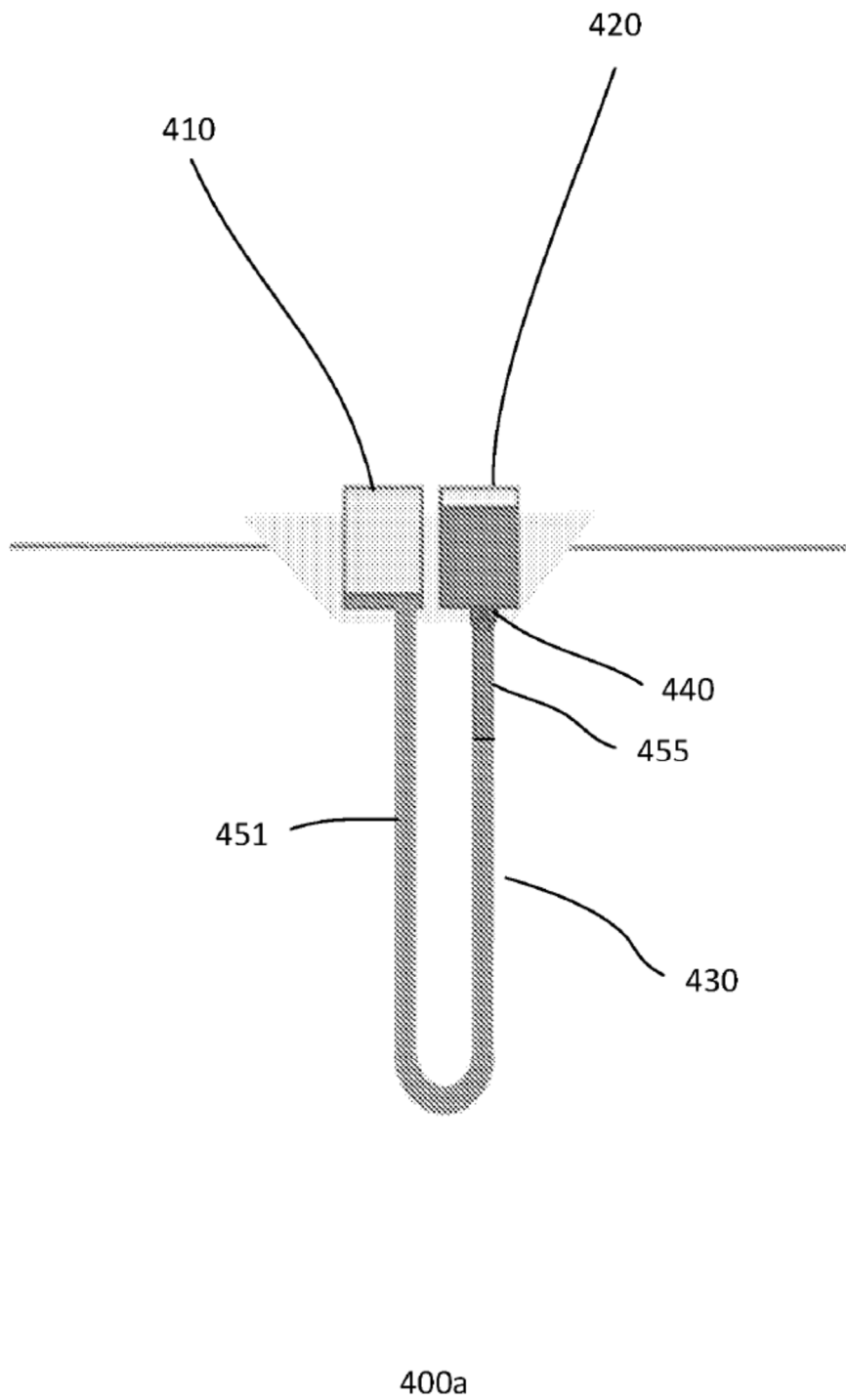


Fig. 4a

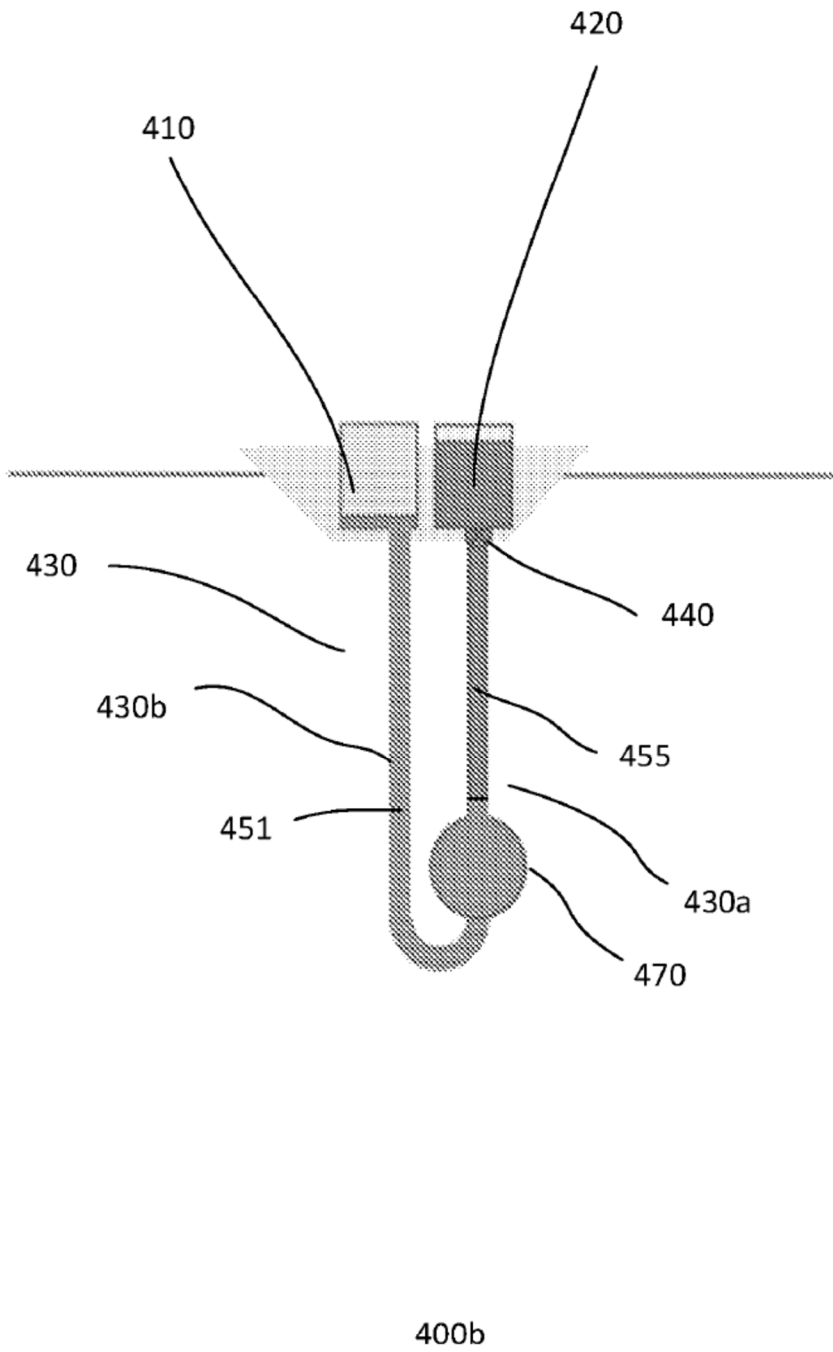
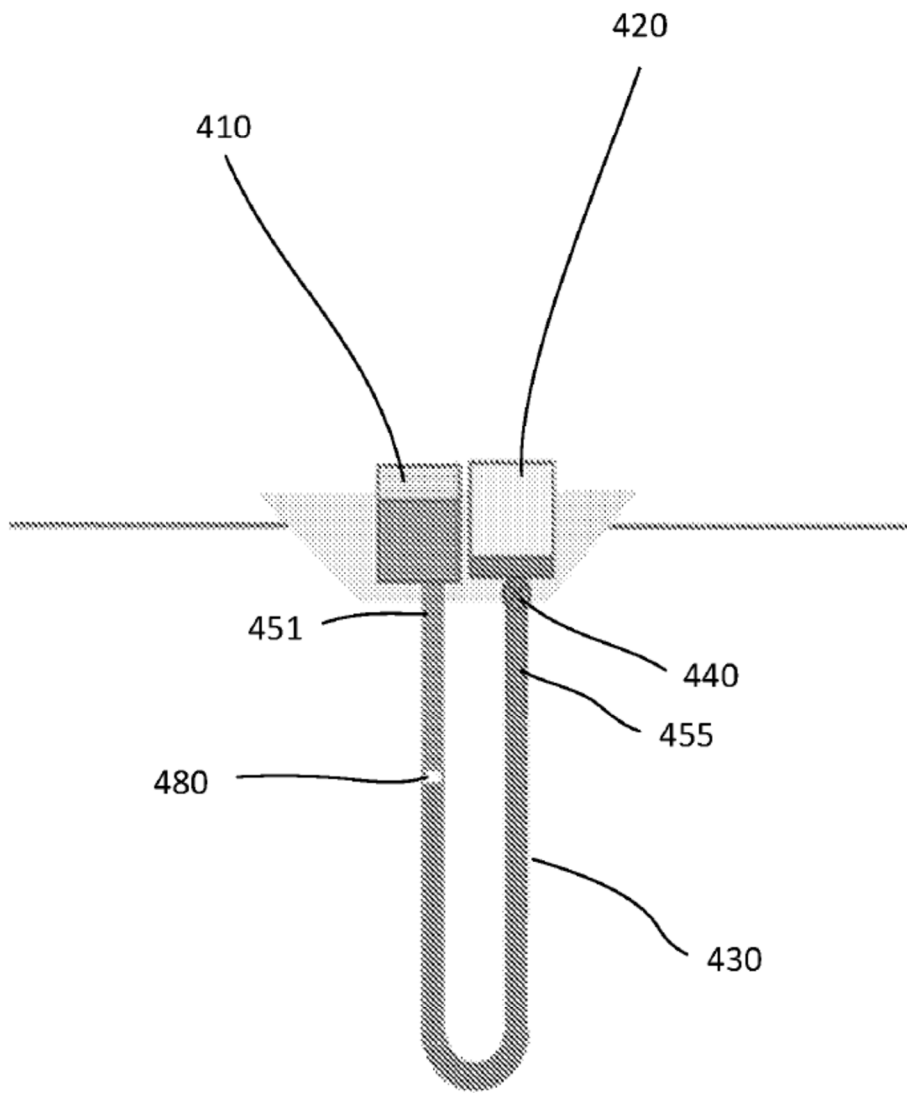


Fig. 4b



400c

Fig. 4c

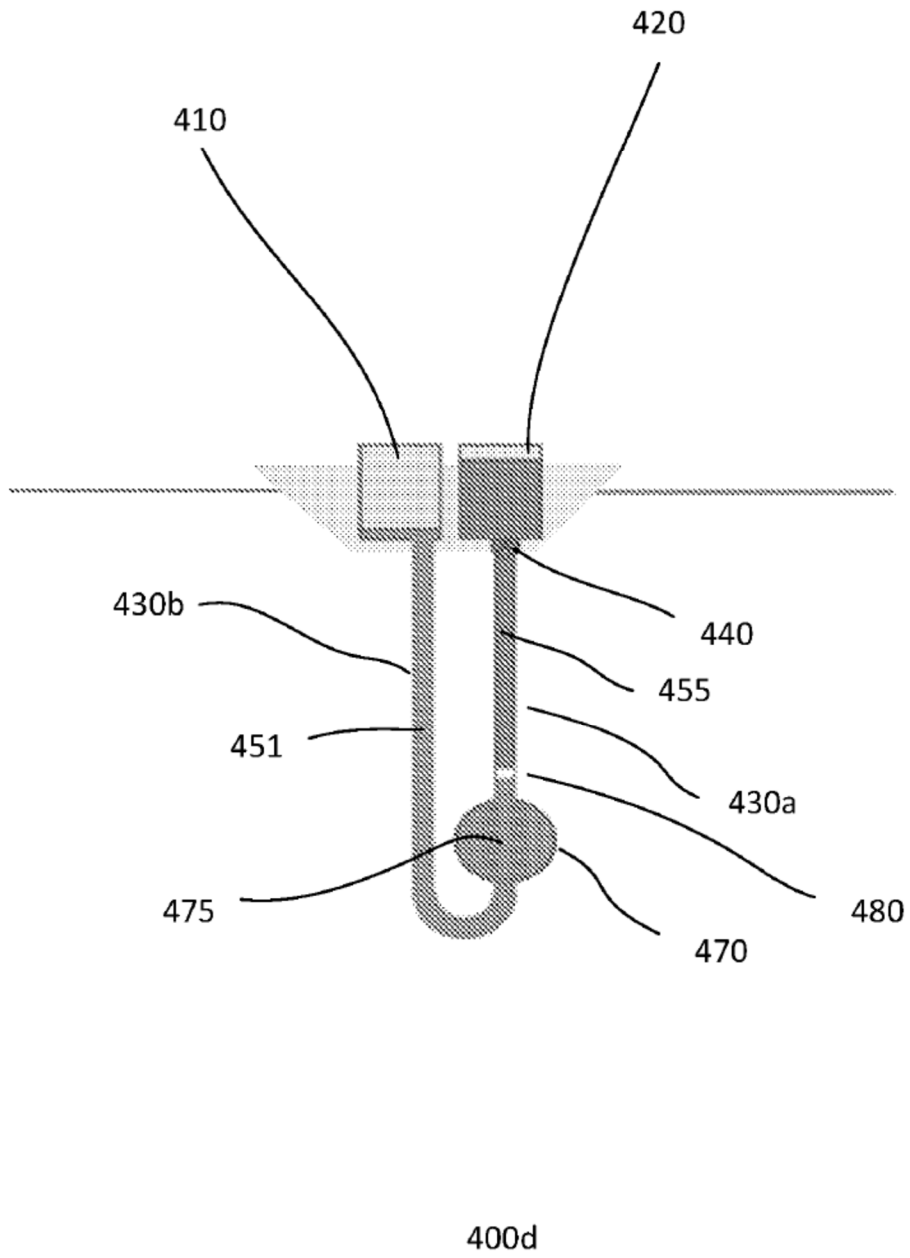


Fig. 4d

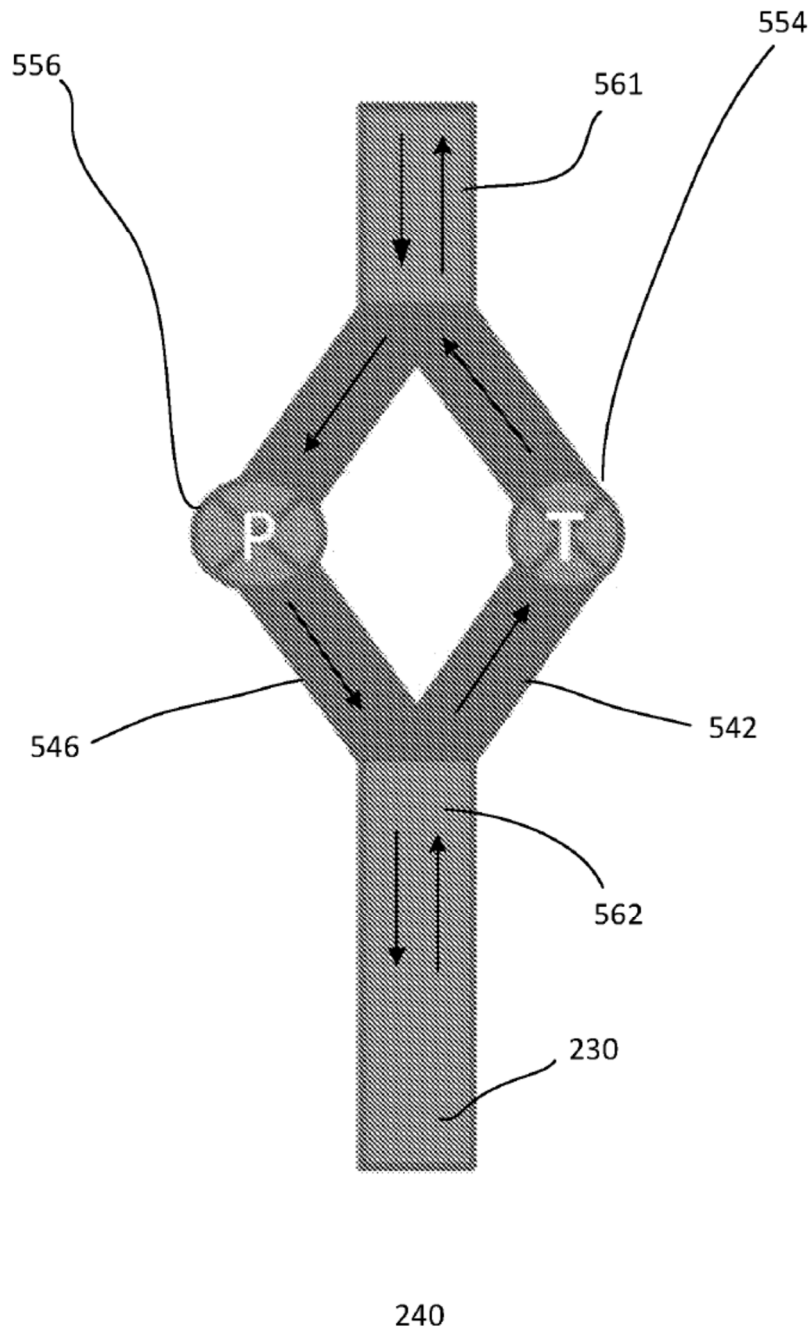


Fig. 5