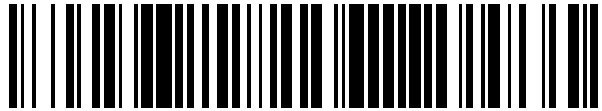


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 713 527**

51 Int. Cl.:

H02K 7/18	(2006.01)
H02P 9/04	(2006.01)
F03D 9/17	(2006.01)
F03B 13/06	(2006.01)
F02C 6/16	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.07.2012 PCT/EP2012/064083**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **10.05.2013 WO13064276**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.07.2012 E 12745801 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2018 EP 2773866**

54 Título: **Dispositivos y procedimientos para el almacenamiento de energía**

30 Prioridad:

05.11.2011 DE 102011117785
 21.12.2011 DE 102011121738
 16.02.2012 DE 102012003123
 16.03.2012 DE 102012005336
 20.03.2012 DE 102012005571
 28.03.2012 DE 102012006376

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.05.2019

73 Titular/es:

ERNEO ENERGIESPEICHERSYSTEME GMBH
(100.0%)
Ostenmeer 1
31515 Wunstorf, DE

72 Inventor/es:

LITTMANN, WOLFGANG y
BÖHM, NORBERT

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 713 527 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

Dispositivos y procedimientos para el almacenamiento de energía

5 La invención se refiere a una central de almacenamiento de gas a presión según la reivindicación 1, así como a un procedimiento para el almacenamiento de energía según la reivindicación 4.

10 La invención se refiere en general al campo del almacenamiento de energía para la energía generada a partir de fuentes renovables como, por ejemplo, la energía eólica o la corriente solar. Como estos tipos de producción de energía están sujetos a irregularidades como consecuencia de las condiciones meteorológicas, la necesidad de almacenar energía es cada vez más importante. Además del almacenamiento electroquímico, que es relativamente costoso, ya existen propuestas para llevar a cabo un almacenamiento como energía mecánica, por ejemplo, en las así llamadas centrales hidroeléctricas de almacenamiento por bombeo o centrales de almacenamiento de aire comprimido. Hasta ahora, las centrales hidroeléctricas de almacenamiento por bombeo están ligadas localmente a las condiciones geológicas sobre el terreno y los nuevos proyectos se enfrentan a problemas de aceptación social debido a la intervención visible en la naturaleza. Las centrales de almacenamiento de aire comprimido son socialmente aceptables gracias a la posibilidad de la instalación subterránea de las cavidades, aunque hasta ahora presentan rendimientos relativamente bajos y, por consiguiente, una baja eficiencia energética. Por este motivo, las centrales hidroeléctricas de almacenamiento por bombeo sólo se han realizado hasta ahora en regiones con las correspondientes diferencias de altura. En zonas como la llanura del norte de Alemania o en mar abierto, donde se genera gran parte de la energía eólica, el uso de centrales hidroeléctricas de almacenamiento por bombeo convencionales resulta poco realista.

15 Ya existen propuestas, por ejemplo, en el documento EP 0 212 692 B1, para llevar a cabo un almacenamiento de energía en dos almacenes subterráneos dispuestos a diferentes profundidades. Sin embargo, la realización de estas propuestas fracasa debido a los problemas de instalación y funcionamiento de las máquinas de bombeo correspondientes a grandes profundidades bajo la superficie de la tierra, para bombear el líquido utilizado desde un espacio de almacenamiento inferior al espacio de almacenamiento superior. Técnicamente no es factible una aspiración del líquido de una máquina de bombeo dispuesta sobre el suelo desde un espacio de almacenamiento inferior relativamente profundo (por ejemplo, varios 100 o 1.000 m de profundidad).

20 Por el documento US 4,353,214 se conoce un sistema de almacenamiento de energía de una planta de almacenamiento de energía que utiliza un proceso de combustión exotérmico.

30 Por consiguiente, la invención se basa en la tarea de proponer un dispositivo y un procedimiento para el almacenamiento de energía que permitan un almacenamiento eficiente de grandes cantidades de energía con un esfuerzo reducido y, por lo tanto, más económico.

35 Esta tarea se resuelve con el dispositivo y con el procedimiento según las reivindicaciones de patente independientes. Ventajosamente, como espacio de almacenamiento superior e inferior o como primer y segundo espacio de almacenamiento se pueden utilizar en especial cavidades subterráneas ya existentes, por ejemplo, cavernas en domos de sal u otras cavidades subterráneas ya creadas, por ejemplo, por la industria minera. En algunos casos, también pueden utilizarse espacios de almacenamiento en superficie o redes de suministro de energía ya existentes, por ejemplo, redes de gas natural. La invención permite un aprovechamiento variado de las cavidades en superficie y subterráneas existentes, así como de canalizaciones existentes.

40 La invención resulta especialmente adecuada para un almacenamiento de energía a corto, medio y/o largo plazo.

45 La invención puede utilizarse, en especial, para cubrir una necesidad de almacenamiento local de energía, teniéndose en cuenta y aplicándose los requisitos técnicos, económicos y ecológicos, así como los requisitos sociales. La invención se puede aplicar en la práctica con componentes técnicos y unidades actualmente disponibles. Las cavernas artificiales existentes pueden utilizarse para los espacios de almacenamiento, por ejemplo, en el pasado para el almacenamiento de gas natural, petróleo u otros materiales, por ejemplo, cavernas en domos de sal naturales. Estas cavernas se pueden producir fácilmente mediante lixiviación con agua dulce en los numerosos domos de sal existentes, por ejemplo, en el norte de Alemania, o se pueden aprovechar las cavernas existentes que ya no se utilizan.

50 Una configuración no conforme a la invención se refiere a una central de almacenamiento por bombeo con al menos un espacio de almacenamiento inferior dispuesto bajo tierra y al menos un espacio de almacenamiento superior dispuesto en tierra o bajo tierra separado del mismo, disponiéndose el espacio de almacenamiento inferior a una profundidad mayor que el espacio de almacenamiento superior, y con respectivamente al menos un conducto de líquido que conduce al espacio de almacenamiento superior y al espacio de almacenamiento inferior que se conecta a al menos una máquina hidráulica motriz y de trabajo de la central de almacenamiento por bombeo o que se puede conectar a través de válvulas conmutables incluso a instalaciones secundarias en su caso necesarias, y con respectivamente al menos un conducto de gas a presión que conduce al espacio de almacenamiento superior y al espacio de almacenamiento inferior y que se conecta a una máquina motriz y de trabajo de gas a presión de la central de almacenamiento por bombeo o que se puede conectar a través de válvulas conmutables, diseñándose la central de almacenamiento por bombeo para transportar un fluido desde el espacio de almacenamiento superior al

espacio de almacenamiento inferior y viceversa a través de los conductos de líquido y la máquina hidráulica de fuerza y de trabajo, y diseñándose la máquina motriz y de trabajo de gas a presión para la generación opcional de una presión de un gas a presión al menos en el espacio de almacenamiento inferior que puede ser diferente a la presión de gas en el espacio de almacenamiento superior.

5 El término de profundidad es el término minero para definir el nivel de profundidad. La profundidad indica el nivel de profundidad bajo tierra en el que se encuentra un punto de referencia definido en la superficie (distancia vertical entre los dos puntos), por ejemplo, referido a la superficie de la tierra.

10 Por medio de la máquina motriz y de trabajo de gas a presión se puede generar ventajosamente una presión del gas a presión al menos en el espacio de almacenamiento inferior que puede ser diferente a una presión de gas en el espacio de almacenamiento superior, por ejemplo, completamente independiente de la presión de gas del espacio de almacenamiento superior. El espacio de almacenamiento superior se desacopla, por lo tanto, del espacio de almacenamiento inferior en lo que se refiere a la presión de gas, por ejemplo, por el hecho de que no existe ninguna conexión directa entre los conductos de gas a presión. Esto abre la posibilidad de apoyar mediante un aumento correspondiente de la presión del gas en el espacio de almacenamiento inferior el transporte del fluido desde el espacio de almacenamiento inferior al espacio de almacenamiento superior por medio de la presión de gas, ya sea de manera que el fluido se transporte por sí solo, como consecuencia de la mayor presión del gas del espacio de almacenamiento inferior, al espacio de almacenamiento superior o que se transporte, en su caso mediante ayuda adicional por medio de una bomba de líquido desde el espacio de almacenamiento inferior al espacio de almacenamiento superior. Esto ofrece a su vez la ventaja de que en la zona del espacio de almacenamiento inferior que se puede encontrar a gran profundidad por debajo de la superficie terrestre, no se necesita ninguna bomba de líquido ni ningún otro equipo. Más bien se puede aumentar la presión de gas en el espacio de almacenamiento inferior por medio de equipos dispuestos en la superficie como, por ejemplo, un compresor. Esto simplifica la construcción y el montaje de toda la instalación, así como el mantenimiento de la misma. En especial no es necesario realizar trabajos de mantenimiento de máquinas a gran profundidad bajo tierra.

25 Por consiguiente resulta ventajosamente posible disponer la máquina hidráulica motriz y de trabajo sobre tierra. La máquina motriz y de trabajo de gas a presión también se puede disponer sobre tierra. Lógicamente también es posible disponer las máquinas mencionadas del todo o parcialmente bajo la superficie de la tierra, por ejemplo, a una profundidad reducida, por ejemplo, en el sótano de un edificio o también a una profundidad algo mayor.

30 En la medida en la que partes de la instalación se monten en superficie, esto significa que estas partes de la instalación se encuentran en la superficie de la tierra o que se han dispuesto por completo o en parte cerca por encima y/o cerca por debajo de la superficie de la tierra.

35 Debido a la diferente posición de profundidad de los dos espacios de almacenamiento se puede llevar a cabo un almacenamiento de energía en forma de un almacenamiento de energía potencial. Cuando se trata de almacenar energía, el fluido se transporta del espacio de almacenamiento inferior al espacio de almacenamiento superior. Para ello, se aumenta la presión de gas en el espacio de almacenamiento inferior por medio de la máquina motriz y de trabajo de gas a presión. La máquina motriz y de trabajo de gas a presión se acciona con energía eléctrica desde una red de suministro de energía y/o directamente desde los proveedores de corriente. Cuando hay que extraer energía, el fluido se transporta desde el espacio de almacenamiento superior al espacio de almacenamiento inferior y pasa por la máquina hidráulica motriz y de trabajo que transforma la energía potencial del fluido en energía eléctrica, por ejemplo, por medio de una turbina con generador conectado, y la transmite a una red de suministro de energía y/o directamente al proveedor de corriente eléctrica.

La red de suministro de energía puede ser una red de suministro de energía pública y/o no pública.

45 Cuando se habla de un espacio de almacenamiento superior y otro inferior o de un primer y un segundo espacio de almacenamiento, esto comprende la posibilidad de más espacios de almacenamiento como un tercer, cuarto y más espacios de almacenamiento. Los espacios de almacenamiento adicionales se pueden disponer a la misma profundidad o a profundidades diferentes respecto al espacio de almacenamiento superior e inferior.

50 La máquina motriz y de trabajo de gas a presión se puede diseñar especialmente para la generación opcional de una presión del gas a presión respectivamente con un tamaño diferente en el espacio de almacenamiento superior y en el inferior, de manera que en el respectivo espacio de almacenamiento se pueda ajustar a elección cualquier presión de gas. Esto tiene la ventaja de que además del almacenamiento de energía a través del fluido, toda la instalación también se puede utilizar adicionalmente como almacén de gas a presión, por ejemplo, para un almacenamiento de energía a corto o medio plazo.

55 La central de almacenamiento por bombeo puede presentar un sistema de control, por ejemplo, en forma de un sistema de control electrónico que controle las funciones de los distintos componentes de la central de almacenamiento por bombeo, por ejemplo, la máquina motriz y de trabajo de gas a presión y las válvulas conmutables eventualmente existentes. El sistema de control se puede diseñar especialmente para la ejecución de determinadas funciones como las que se indican en las reivindicaciones del procedimiento. A estos efectos, el sistema de control se puede configurar, por ejemplo, de forma programable y ejecutar un programa de control correspondiente en el que se programan las funciones citadas o los pasos del procedimiento. Por consiguiente, la invención se refiere además a un sistema de control debidamente diseñado con un programa de control, así como

con un programa de control previsto para la realización de los pasos del procedimiento cuando éste se ejecuta en el sistema de control. El programa de control se puede almacenar en un soporte de datos.

Según una forma de realización perfeccionada ventajosa, el sistema de control se diseña para aumentar, mediante el control de la máquina motriz y de trabajo de gas a presión, la presión del gas en el espacio de almacenamiento inferior cuando el fluido se tiene que transportar del espacio de almacenamiento inferior al espacio de almacenamiento superior. Esto resulta, por ejemplo, necesario cuando hay que almacenar energía en la central de almacenamiento por bombeo. En este caso es posible apoyar, por medio del aumento de la presión de gas en el espacio de almacenamiento inferior, el transporte del fluido al espacio de almacenamiento superior o realizar el transporte incluso por completo sin bomba adicional.

En caso de un suministro de energía de la central de almacenamiento por bombeo, el fluido debe transportarse desde el espacio de almacenamiento superior al espacio de almacenamiento inferior, lo que tiene lugar en virtud de la fuerza de gravedad. Dado que el fluido debe alimentarse en este caso a través de la máquina hidráulica motriz y de trabajo citada para el suministro de energía a una red de suministro de energía y/o a consumidores de corriente directos, resulta ventajoso conectar el espacio de almacenamiento superior al espacio de almacenamiento inferior a través de la máquina hidráulica motriz y de trabajo por medio de los conductos de líquido sin fugas y sin inclusiones de gas, siempre que la máquina hidráulica motriz y de trabajo esté dispuesta por encima del espacio de almacenamiento superior.

Según un perfeccionamiento ventajoso, el conducto de líquido y/o el conducto de gas a presión se conducen desde arriba o desde un lado al espacio de almacenamiento superior o al espacio de almacenamiento inferior. Esto tiene la ventaja de que el conducto correspondiente puede introducirse fácilmente en el espacio de almacenamiento, por ejemplo, a través de una perforación de la superficie terrestre que se puede desarrollar de forma vertical o inclinada. De este modo se pueden evitar especialmente los conductos que conducen desde abajo a un espacio de almacenamiento, como se describe en el documento EP 0 212 692 B1, lo que tiene la ventaja de que en la práctica se puede evitar un guiado de conductos extremadamente complejo desde abajo a un espacio de almacenamiento. Así también se evita que las sustancias sólidas puedan llegar a las máquinas motrices y las bombas a través del conducto de unión.

De acuerdo con una forma de realización perfeccionada ventajosa, la máquina motriz y de trabajo de gas a presión presenta al menos un compresor para la generación de gas a presión comprimido y una máquina de expansión para la liberación de energía a una red de suministro de energía pública y/o no pública y/o directamente a un consumidor de energía mediante la expansión del gas a presión desde el espacio de almacenamiento superior o desde el espacio de almacenamiento inferior. El compresor puede, por ejemplo, configurarse como un compresor de accionamiento eléctrico. La máquina de expansión puede diseñarse, por ejemplo, como una turbina de gas a presión con un generador eléctrico conectado a la misma. Esto tiene la ventaja de que con la máquina motriz y de trabajo de gas a presión no sólo se puede generar el gas a presión comprimido, sino que durante la expansión también es posible recuperar la energía del gas a presión y suministrarla a la red de suministro de energía y/o directamente a los consumidores de corriente. De este modo se aumenta aún más toda la eficiencia energética de la central de almacenamiento por bombeo. Además, se mejora la idoneidad de la central de almacenamiento por bombeo para un almacenamiento de energía a corto y medio plazo.

Según un perfeccionamiento ventajoso, el sistema de control se diseña para, al expandirse el gas a presión comprimido en la máquina de expansión mediante el control de la máquina hidráulica motriz y de trabajo, transferir el fluido desde el espacio de almacenamiento al otro espacio de almacenamiento del que se extrae el gas a presión. Así se reduce el enfriamiento causado por la expansión y se aumenta el margen de maniobra en la caverna, es decir, el espacio de almacenamiento correspondiente (descenso de la presión o descenso de la temperatura por unidad de tiempo). En especial, es posible mantener la presión en el espacio de almacenamiento, no produciéndose ningún enfriamiento durante la expansión en el espacio de almacenamiento. En el proceso de expansión sólo se debe aportar al proceso el calor que se requiere en la máquina de expansión.

Según una forma de realización perfeccionada ventajosa, el sistema de control se diseña para, al expandirse el gas a presión comprimido en la máquina de expansión mediante el control de la máquina hidráulica motriz y de trabajo, introducir en el espacio de almacenamiento, del que se extrae el gas a presión, tanto fluido que la presión del gas en este espacio de almacenamiento permanezca fundamentalmente igual o, al menos, no descienda de forma considerable. De este modo es posible llevar a cabo un funcionamiento ventajoso fundamentalmente isobárico del espacio de almacenamiento. En este caso, el sistema de control presenta los sensores correspondientes o se conecta a los sensores correspondientes para ejecutar esta función.

Según un perfeccionamiento ventajoso, el sistema de control se diseña para, al expandirse el gas a presión comprimido en la máquina de expansión mediante el control de la máquina hidráulica motriz y de trabajo, introducir en el espacio de almacenamiento, del que se extrae el gas a presión, tanto fluido que aumente la temperatura del gas a presión en este espacio de almacenamiento. En este caso, el sistema de control presenta los sensores correspondientes o se conecta a los sensores correspondientes para ejecutar esta función.

De acuerdo con una forma de realización perfeccionada ventajosa se prevé un circuito térmico que presenta al menos un intercambiador de calor, a través del cual fluye el gas a presión, y al menos un intercambiador de calor a través del cual fluye el fluido, pudiéndose conectar los intercambiadores de calor de forma controlada de manera que

el calor producido durante la compresión del gas a presión se transfiera al fluido y/o de manera que, al expandirse el gas a presión, el calor se transfiera del fluido al gas a presión. De este modo, especialmente los cambios de temperatura resultantes de la compresión y expansión del gas a presión pueden utilizarse como energía o almacenarse temporalmente a través del fluido y liberarse de nuevo al gas a presión en otro momento.

5 Según un perfeccionamiento ventajoso, el sistema de control se diseña para, durante la expansión del gas a presión del espacio de almacenamiento inferior, precalentar el gas a presión mediante el control del circuito térmico por medio de los intercambiadores de calor en contracorriente con el fluido extraído del espacio de almacenamiento superior. Esto tiene la ventaja de que es posible compensar total o parcialmente un descenso de temperatura que se produce durante la expansión del gas a presión, de manera que se pueda llevar a cabo una expansión isotérmica
10 eficiente.

De acuerdo con una forma de realización perfeccionada ventajosa, el sistema de control se diseña para limitar la variación temporal de la presión del gas a presión a un valor límite predeterminado. Esto tiene la ventaja de que los espacios de almacenamiento llenos de gas a presión se protegen en caso de producirse un cambio en la presión del gas, cumpliéndose los límites de carga preestablecidos.

15 Según un perfeccionamiento ventajoso, el sistema de control se diseña para recibir y procesar solicitudes de almacenamiento de energía y, si se requiere un almacenamiento de energía a corto plazo a través de una solicitud de almacenamiento de energía, para aumentar la presión del gas a presión en el espacio de almacenamiento superior y/o en el espacio de almacenamiento inferior y, en el caso de una demanda de almacenamiento de energía que solicita un período de almacenamiento de energía más largo que el del almacenamiento de energía a corto
20 plazo, para transportar el fluido del espacio de almacenamiento inferior al espacio de almacenamiento superior. Esto tiene la ventaja de que, dependiendo del período de almacenamiento de energía previsto, puede utilizarse un procedimiento de almacenamiento de energía especialmente adecuado, en concreto el almacenamiento en forma de un aumento de la presión del gas en el caso del almacenamiento de energía a corto plazo, y el almacenamiento de energía a través de la energía potencial del fluido en caso de un período de almacenamiento de energía más largo.
25 De este modo se aumenta aún más la eficiencia energética de la central de almacenamiento por bombeo. Las solicitudes de almacenamiento de energía se pueden aportar al sistema de control, por ejemplo, desde un centro de control de una central o desde otras centrales u operadores de redes de suministro de energía, por ejemplo, a través de una red de comunicación de datos.

30 Según una forma de realización perfeccionada ventajosa, el fluido es salmuera, una mezcla líquida que contiene salmuera u otra mezcla líquida. El gas a presión es aire comprimido u otro gas o una mezcla de gases. La salmuera puede ser especialmente una salmuera saturada. Esto tiene la ventaja de que se puede utilizar como fluido un elemento ya presente en las cavernas subterráneas, en particular, en los domos de sal.

35 De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso, en el espacio de almacenamiento superior y/o en el espacio de almacenamiento inferior se disponen una o varias bombas sumergibles para el transporte del fluido. Esto tiene la ventaja de que las bombas pueden instalarse fácilmente, dado que pueden drenarse de la superficie terrestre al espacio de almacenamiento, por ejemplo, a través del conducto de líquido o de un pozo previsto para este fin. Gracias a la realización como bomba sumergible, la misma está inmediatamente lista para su uso cuando se encuentra en el fluido. Por lo tanto, no es necesaria una instalación especial de la bomba, especialmente ninguna
40 instalación en una sala de máquinas separada cerca del espacio de almacenamiento.

Según una forma de realización perfeccionada ventajosa, entre el fluido y el gas a presión se encuentra una capa de separación mecánica y/o química. La capa de separación mecánica puede configurarse, por ejemplo, a modo de membrana, por ejemplo, de un material elástico o no elástico.

La invención se refiere a una central de almacenamiento de gas a presión según la reivindicación 1.

45 Esto tiene la ventaja de que se dispone de un sistema cerrado para el almacenamiento de gas a presión desde el primer y el segundo espacio de almacenamiento, de manera que el gas a presión no tenga que liberarse a la atmósfera como en las centrales de almacenamiento de aire comprimido conocidas. Más bien, el gas a presión se puede transportar de un espacio de almacenamiento a otro. Esto tiene la ventaja de que también es posible utilizar como gas a presión otros gases distintos del aire, por ejemplo, el gas natural. Otra ventaja consiste en que así se crea un sistema cerrado de gas a presión en el que ambos espacios de almacenamiento o todos los espacios de
50 almacenamiento existentes se mantienen siempre a una presión determinada. En especial, la central también puede realizarse sin los componentes del almacenamiento por bombeo, es decir, el circuito de líquido. Si la central se realiza como una central de almacenamiento por bombeo antes descrita, el espacio de almacenamiento inferior puede servir, por ejemplo, como primer espacio de almacenamiento y el espacio de almacenamiento superior puede servir como segundo espacio de almacenamiento, o viceversa. También se pueden prever espacios de
55 almacenamiento separados para el circuito de gas a presión y el circuito de líquido.

De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso de la invención, el sistema de control se diseña para, durante la expansión del gas a presión de un espacio de almacenamiento, no dejar caer la presión del gas en este espacio de almacenamiento por debajo de un valor de presión mínimo predeterminado, por ejemplo, no por debajo de 60 a 100 bar. Esto tiene la ventaja de que la eficiencia energética del almacenamiento de la presión del gas se puede
60 incrementar considerablemente en comparación con las centrales de almacenamiento de aire comprimido convencionales. Esto se debe fundamentalmente al efecto físico de que la compresión de un mol de un gas de, por

ejemplo, 1 bar a 10 bar, produce la misma cantidad de calor que un aumento de la presión de 10 bar a 100 bar, siendo, por el contrario, la energía de compresión $p \cdot V$ contenida en el gas proporcionalmente mayor en caso de un nivel de presión más alto. Dado que, con la central según la invención, el almacenamiento de la presión del gas y la expansión siempre se pueden llevar a cabo en niveles de presión en general relativamente altos, es posible generar una energía de compresión relativamente alta y al mismo tiempo con sólo pequeñas diferencias de temperatura, de manera que, en caso de un funcionamiento de este tipo, se produzca una carga térmica y mecánica más reducida de las cavernas, los conductos y las máquinas motrices.

Según un perfeccionamiento ventajoso de la invención, el sistema de control se diseña para generar en el primer espacio de almacenamiento una presión más alta que en el segundo espacio de almacenamiento y, en caso de una expansión del gas a presión, para extraer el gas a presión del espacio de almacenamiento con la presión más alta, guiarlo a través de una máquina de expansión y transferir el gas a presión expandido al otro espacio de almacenamiento.

A continuación se explican más detalladamente ejemplos de realización a la vista de los dibujos.

Se muestra en la

Figura 1 una central de almacenamiento por bombeo no conforme a la invención en una representación esquemática y

Figura 2 una central según la invención sin circuito de líquido en una representación esquemática.

En las figuras se utilizan las mismas referencias para los elementos correspondientes entre sí.

La figura 1 muestra una central de almacenamiento por bombeo 1 conectada a través de líneas eléctricas 20 a una red de suministro de energía pública o no pública 2 que también puede incluir proveedores de corriente directos o consumidores de corriente. La central de almacenamiento por bombeo 1 se diseña para almacenar el exceso de energía en la red de suministro de energía 2 a corto, medio o largo plazo, y para aportar a su vez energía eléctrica a la red de suministro de energía 2 en caso de que la red de suministro de energía 2 necesite energía adicional.

Con esta finalidad, la central de almacenamiento por bombeo 1 presenta un depósito subterráneo, es decir, un espacio de almacenamiento inferior 11 dispuesto a una profundidad considerable por debajo de la superficie de la tierra 3, así como un espacio de almacenamiento superior 12 que también se puede disponer bajo tierra o sobre tierra o en la zona de la superficie de la tierra 3. La central de almacenamiento por bombeo 1 se diseña para utilizar la energía potencial del fluido 5, 7 que se encuentra en un circuito de líquido para el almacenamiento de energía. Por lo tanto, el espacio de almacenamiento inferior 11 se dispone a una profundidad mayor, es decir, a una profundidad mayor por debajo de la superficie de la tierra 3 que el espacio de almacenamiento superior 12. Como se representa en la figura 1, un fluido 5 se encuentra en el espacio de almacenamiento inferior 11 y un fluido 7 se encuentra en el espacio de almacenamiento superior 12, siendo los fluidos 5, 7 normalmente los mismos elementos que se transportan de un lado a otro entre los espacios de almacenamiento 11, 12 cuando se pretende almacenar o extraer la energía. Entre los niveles de líquido de los líquidos 5, 7 existe una diferencia de altura 8 de la que, junto con la masa del fluido 7 que se encuentra en el espacio de almacenamiento superior 12, resulta la energía potencial actualmente almacenada.

En el espacio de almacenamiento inferior 11, un gas a presión 4 se encuentra por encima del fluido 5. En el espacio de almacenamiento superior 12 se encuentra, por encima del fluido 7, un gas a presión 6 que, por regla general, es el mismo gas que el gas a presión 4. En el espacio de almacenamiento inferior 11 se guía un conducto de líquido 15 conectado a las instalaciones dispuestas sobre el suelo que se explicarán más adelante. Además, en el espacio de almacenamiento superior 11 se guía un conducto de gas a presión 17 que también se conecta a las instalaciones de la superficie terrestre. Como se puede ver, el conducto de líquido 5 se inserta aproximadamente hasta la zona inferior del espacio de almacenamiento inferior 11. El conducto de gas a presión 17 termina en la zona superior del espacio de almacenamiento inferior 11. Del mismo modo, en el espacio de almacenamiento 12 se guían un conducto de líquido 16 y un conducto de gas a presión 18 que también están conectados a las instalaciones dispuestas sobre el suelo. El conducto de líquido 16 se conduce a su vez aproximadamente hasta la zona inferior del espacio de almacenamiento inferior 12, terminando el conducto de gas a presión 18 en la zona superior del espacio de almacenamiento superior 12.

La central de almacenamiento por bombeo 1 presenta una serie de instalaciones dispuestas, a modo de ejemplo en la figura 1, sobre el suelo, es decir, por encima de la superficie de la tierra 3, que pueden agruparse en un bloque de central 10. El bloque de central 10 se puede configurar, por ejemplo, como un edificio de central. Naturalmente, las instalaciones individuales o todas las instalaciones también se pueden disponer debajo de la superficie de la tierra 3, cerca de la superficie o a una profundidad mayor. Sin embargo, por razones de viabilidad práctica de la central de almacenamiento por bombeo, resulta ventajoso disponer las instalaciones por encima de la tierra.

En el bloque de central 10 se encuentra un sistema de control 13 que se puede diseñar, por ejemplo, como un ordenador de control o como un ordenador piloto de la central de almacenamiento por bombeo 1, por ejemplo, en forma de un ordenador. El sistema de control 13 se conecta a las distintas instalaciones a través de líneas eléctricas 14 representadas de forma simbólica, a fin de controlarlas o de registrar los datos de medición de las mismas. El sistema de control 13 se conecta además a través de las líneas 14 a una interfaz de demanda de energía por medio

de la cual se pueden recibir las solicitudes de almacenamiento de energía y las solicitudes de suministro de energía desde el exterior, por ejemplo, de los operadores de la central o de los proveedores de energía. El sistema de control 13 procesa estas solicitudes y controla las instalaciones conforme a la solicitud, de manera que la energía eléctrica de la red de suministro de energía 2 se almacene en la central de almacenamiento por bombeo 1 o se libere de nuevo a la red de suministro de energía 2.

La central de almacenamiento por bombeo 1 presenta en especial las siguientes instalaciones. El conducto de líquido 15 se conecta a una máquina hidráulica motriz y de trabajo 26, 27 a través de un dispositivo de válvulas controlable 28. El conducto de líquido 16 se conecta a la máquina hidráulica motriz y de trabajo 26, 27 a través de un dispositivo de válvulas controlable 26. La máquina hidráulica motriz y de trabajo 26, 27 puede, por ejemplo, presentar una turbina de líquido (por ejemplo, una turbina de agua) 26 con un generador para la generación de energía eléctrica que se aporta a la red de suministro de energía 2, así como una bomba 27 accionada eléctricamente que puede apoyar un transporte del fluido desde el espacio de almacenamiento inferior 11 al espacio de almacenamiento superior 12 por medio de una función de bombeo. Dependiendo de la dirección de transporte del fluido, como se indica mediante las flechas en la turbina de líquido 26 y la bomba 27, las válvulas controlables 28, 29, incluida cualquier instalación secundaria 19, en su caso necesaria, se conmutan de forma correspondiente por medio del sistema de control 13 para transportar el fluido desde el espacio de almacenamiento superior 12 al espacio de almacenamiento inferior 11 si la energía debe aportarse a la red de suministro de energía 2, o para transportar el fluido desde el espacio de almacenamiento inferior al espacio de almacenamiento superior 12 si la energía de la red de suministro de energía 2 debe almacenarse en la central de almacenamiento por bombeo 1.

Los componentes 11, 12, 15, 16, 26, 27, 28, 29 forman así un circuito de líquido.

El conducto de gas a presión 17 se conecta a una máquina motriz y de trabajo de gas a presión 21, 22 a través de un dispositivo de válvulas controlable 24. El conducto de gas a presión 18 se conecta a la máquina motriz y de trabajo de gas a presión 21, 22 a través de un dispositivo de válvulas controlable 25. La máquina motriz y de trabajo de gas a presión 21, 22 puede, por ejemplo, presentar una máquina de expansión 21, por ejemplo, en forma de una turbina de gas con generador, y un compresor 22, por ejemplo, en forma de un compresor accionado eléctricamente. El compresor 22 se identifica con una flecha de dos lados, ya que éste, en función del control de los dispositivos de válvulas controlables 24, 25 por medio del sistema de control 13, es capaz de transportar gas a presión del espacio de almacenamiento inferior 11 al espacio de almacenamiento superior 12, aumentando así la presión del gas en el espacio de almacenamiento inferior 11, y viceversa, transportar gas a presión del espacio de almacenamiento inferior 11 al espacio de almacenamiento superior 12, aumentando así la presión del gas en el espacio de almacenamiento superior 12. En este caso, la presión del gas en el espacio de almacenamiento inferior 11 y en el espacio de almacenamiento superior 12 puede determinarse respectivamente por separado, activándose el compresor 22 siempre que el gas a presión deba transportarse desde un espacio de almacenamiento con una presión de gas más baja a un espacio de almacenamiento con una presión de gas más alta. El compresor 22 puede conectarse, por ejemplo, a una conexión 23 a través de la cual el gas a presión, en su caso adicional, procedente de la atmósfera o de una red de gas conectada a la conexión 23, puede almacenarse en el circuito de gas a presión.

Si se pretende transportar gas a presión desde un espacio de almacenamiento con una presión del gas mayor a un espacio de almacenamiento con una presión del gas menor, la máquina de expansión 21 se activa por medio del control de los dispositivos de válvulas controlables 24, 25. Mediante el gas a presión que se expande y que fluye a través de la máquina de expansión 21, la máquina de expansión 21 puede generar energía eléctrica y aportarla a la red de suministro de energía 2. La máquina de expansión 21 también se conecta o se puede conectar a la conexión 23, a fin de descargar cualquier cantidad excesiva de gas eventualmente existente en el sistema de gas a presión.

Los componentes 11, 12, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25 forman así un circuito de gas a presión comprimido.

El circuito de gas a presión de la central de almacenamiento por bombeo 1 puede utilizarse, por una parte, para provocar que el fluido 5 sea bombeado desde el espacio de almacenamiento inferior 11 al espacio de almacenamiento superior 12 como consecuencia de una sobrepresión de gas o, al menos, para apoyar el funcionamiento de la bomba 27 (modo de funcionamiento hidráulico de la central). Adicionalmente, el circuito de gas a presión puede utilizarse para almacenar temporalmente en la central de almacenamiento por bombeo 1 la energía de la red de suministro de energía 2 en forma de presión de gas aumentada y, en caso necesario, para transferirla de nuevo a la red de suministro de energía 2 mediante expansión en la máquina de expansión 21. De este modo es posible realizar una central combinada de almacenamiento por bombeo y de almacenamiento de gas a presión (modo de funcionamiento turbo de la central).

Además del circuito de líquido y del circuito de gas a presión, en la central de almacenamiento por bombeo 1 se prevé un tercer circuito, concretamente el circuito térmico 33. El circuito térmico 33 conecta térmicamente los conductos de líquido 15, 16 a los conductos de gas a presión 17, 18. Como se puede ver en la figura 1, el circuito térmico 33 puede estar formado, por ejemplo, por un intercambiador de calor 32 a través del cual fluye el fluido, y por un intercambiador de calor 33 a través del cual fluye el gas a presión, conectándose los intercambiadores de calor 32, 33 entre sí. Mediante los intercambiadores de calor 32, 33 es posible bombear un elemento de intercambio de calor, normalmente un fluido, a través de una bomba de circuito térmico 31 que el sistema de control 13 puede controlar, a fin de realizar el intercambio de calor entre el circuito de líquido y el circuito de gas a presión. Si fuera necesario, el sistema de control 13 puede conectar y desconectar la bomba de circuito térmico 31.

El circuito térmico 30 también se puede realizar de un modo diferente al que se representa en la figura 1, por ejemplo, disponiendo el conducto de líquido 15, 16 dentro del conducto de gas a presión 17, 18 respectivo, de manera que el gas a presión se transporte en el espacio anular restante.

La figura 2 muestra una central 9 que sólo presenta el circuito de gas a presión antes descrito, es decir, no se trata del circuito de líquido. La central funciona en un así llamado modo aéreo. Los componentes representados en la figura 2, cuyas referencias son idénticas a las mostradas en la figura 1, corresponden a los componentes ya descritos por medio de la figura 1. A diferencia de la central de almacenamiento por bombeo según la figura 1, los espacios de almacenamiento 11, 12 de la central 9 según la figura 2 se pueden disponer bajo tierra a cualquier profundidad o, en su caso, también sobre tierra, de manera que también sea posible utilizar otras formaciones existentes para construir la central 9. A diferencia de las centrales de almacenamiento de aire comprimido conocidas, la central 9 presenta un circuito de gas a presión básicamente cerrado con los dos espacios de almacenamiento 11, 12, entre los cuales el gas a presión 4, 6 puede, por así decirlo, oscilar. Como consecuencia del sistema cerrado, en los espacios de almacenamiento 11, 12 siempre se puede mantener una presión mínima determinada del gas a presión 4, 6, de manera que se pueda realizar un servicio de almacenamiento de energía con una eficiencia energética considerablemente mayor que en las centrales de almacenamiento de aire comprimido conocidas, en las que sólo hay un espacio de almacenamiento disponible y el aire almacenado siempre se comprime desde el nivel atmosférico y se vuelve a expandir al nivel atmosférico.

A continuación se presentan otros ejemplos del funcionamiento de la central de almacenamiento por bombeo 1 o de la central 9. Los espacios de almacenamiento 11, 12 antes mencionados también se denominan cavernas.

No resulta tan sencillo bombear líquidos de un lado a otro entre dos cavidades a diferentes profundidades. Normalmente, la bomba se instala para ello debajo del depósito más bajo. La razón de esta instalación es que una bomba necesita una presión de entrada para que el líquido pueda fluir hacia la bomba en una pendiente. Las bombas sólo pueden generar presión y bombear un líquido. Por razones físicas, la aspiración de líquidos con una bomba sólo es posible hasta alturas de aproximadamente 8-10 m. En caso de diferencias de altura mayores, el flujo se interrumpiría y la bomba se vaciaría.

Anteriormente y a continuación se describe un procedimiento para el almacenamiento de energía potencial en una central de almacenamiento por bombeo subterránea. Como ya se ha explicado, los depósitos superior e inferior necesarios para el almacenamiento por bombeo se pueden realizar como cavidades subterráneas. El inconveniente de que el líquido entre los dos depósitos se pueda bombear fácilmente mediante bombas dispuestas sobre el suelo, lo que resulta deseable técnica y económicamente, se compensa en el procedimiento aquí descrito, gracias a que ambas cavernas se conectan a otro conducto y a que las cavernas se solicitan con una presión de gas. Esta presión de gas en las cavernas puede ser tan alta que resulte, para el líquido en los otros conductos, una presión en la bomba lo suficientemente grande para permitir el bombeo del líquido. Esta presión debería ser mayor que la presión del aire reinante en la superficie, proporcionándose valores más precisos en la siguiente descripción de un ejemplo.

La introducción de un gas a presión en el sistema requiere igualmente una cantidad considerable de energía que también puede utilizarse para el almacenamiento de energía. En la invención aquí descrita, esta energía almacenada también se puede convertir en trabajo en una turbina que funciona con gas (turbina de expansión). La presión de gas requerida en el sistema se genera mediante un compresor.

Si se pretende comprimir y expandir el gas presente en el sistema, esto también se puede llevar a cabo de una caverna a otra. Con esta finalidad, una de las cavernas se ajusta a una presión más alta, preferiblemente la caverna inferior. Esto puede llevarse a cabo mediante un compresor existente o mediante el bombeo del líquido, separándose las cavernas una de otra de forma adecuada.

Si la compresión tiene lugar a través del compresor, se genera calor. Este calor se puede transferir a través de un intercambiador de calor al líquido que fluye en contracorriente y almacenar en el mismo. Durante la expansión, el calor se puede extraer de nuevo del flujo de líquido invertido, se puede aportar al gas y convertir en trabajo en la turbina de expansión. Como intercambiador de calor se puede elegir un dispositivo técnico adecuado o el intercambio de calor puede tener lugar en las perforaciones si tanto el gas, como también el líquido, fluyen en una sola perforación, fluyendo el líquido en el tubo ascendente y el gas en el espacio anular. Estos dispositivos son habituales en el almacenamiento de petróleo y gas. El gas y el líquido fluyen a contracorriente en las perforaciones.

Otra ventaja del sistema descrito hasta ahora consiste en que el gas no se expande completamente, sino que se almacena en una segunda caverna en un estado ya comprimido. Si el gas no se comprime a partir de la presión atmosférica, sino a partir de una presión más alta, entonces se almacena mucha más energía en el trabajo de volumen y no se convierte en calor, lo que tiene un efecto positivo en el rendimiento. Esta ventaja también se explica en el siguiente ejemplo.

Las cavidades, en adelante denominadas cavernas, se crean a diferentes profundidades. El tope de la caverna superior 12 debe encontrarse a una profundidad de 900 m y el tope de la caverna inferior 11 debe encontrarse a una profundidad de 1.650 m. Las cavernas 11 y 12 deben poseer respectivamente un volumen de 500.000 m³. En cada una de las cavernas se practican dos perforaciones, pudiendo practicarse una de ellas durante el proceso de construcción de las cavernas mediante lixiviación. Las perforaciones en las que se pretende bombear el líquido tienen un diámetro efectivo de 30 pulgadas (762 mm) y las perforaciones en las que debe oscilar el gas a presión tienen un diámetro de 20 pulgadas (508 mm). Las perforaciones de este tipo se pueden practicar de un modo

estándar; por este motivo también se han utilizado las dimensiones en pulgadas de EE.UU. que se utilizan habitualmente en la industria de la perforación. El líquido utilizado en el sistema debe presentar una densidad de 1.250 kg/m³. Así, en el tope de la cavidad inferior resulta una presión de aproximadamente 202 bar causada por la columna de líquido. Para obtener una presión de 4 bar de la columna de líquido en la superficie terrestre, la caverna inferior debe someterse a una presión total de gas de aproximadamente 206 bar medida en el tope de la caverna. Por consiguiente, en la caverna superior resulta una presión de aproximadamente 187 bar (medida en el tope de la caverna) si, por ejemplo, se utiliza aire como gas. La presión máxima que se puede aplicar a la caverna superior es de aproximadamente 190 bar. Esta presión está limitada por las propiedades mecánicas de la roca y puede desviarse del valor aquí indicado. Esta presión máxima debe mantenerse siempre. Con este procedimiento también se cumple la presión de funcionamiento máxima admisible de la cavidad inferior.

Ambas cavernas se conectan a un conducto en el que se bombea el líquido y a un conducto en el que el gas puede oscilar. La caverna inferior se puede someter a presión a través de este conducto. Si la presión en el sistema se mantiene por encima de la presión hidrostática del líquido mediante el aire comprimido, el líquido se puede transportar desde la caverna inferior a la superior con una bomba instalada en la superficie. Además, el líquido de la caverna superior se puede conducir a través de la turbina para la generación de corriente.

Las pérdidas de presión en los conductos son de aproximadamente 3 bar para el gas y para el líquido, siendo la velocidad de flujo para el gas de aproximadamente 8 m/s y para el líquido de aproximadamente 3,5 m/s.

En el sistema se pueden almacenar aproximadamente 1.200 MWh como energía potencial en el líquido. En el caso de los índices de flujo indicados, la potencia de la turbina 26 es de aproximadamente 10 MW con una duración de 84 h para la descarga. Este sistema resulta preferiblemente adecuado para un almacenamiento a largo plazo durante varios días. Se puede conseguir un aumento del rendimiento utilizando perforaciones de mayor diámetro o utilizando varias perforaciones en paralelo.

Para el almacenamiento de corriente se deben cubrir tanto los períodos de almacenamiento a largo plazo (varios días) como también los ciclos de almacenamiento a corto plazo (día/noche) o los picos de potencia a corto plazo.

El sistema también puede utilizarse para la aportación de potencia a corto plazo. Si, por ejemplo, la presión en la caverna inferior 11 se incrementa en 20 bar mediante el bombeo de agua, se puede alcanzar una potencia de aproximadamente 50 MW durante aproximadamente 2 h mediante una posterior expansión del sistema, siendo el cambio de temperatura en la caverna de sólo 10°C aproximadamente. Este proceso se puede utilizar para la aportación de potencia a corto plazo.

Durante la compresión de un gas se genera calor si el gas no realiza ningún trabajo, mientras que, por el contrario, durante la expansión la energía debe aportarse en forma de calor para que el gas pueda realizar el trabajo y no se enfríe demasiado. En los procesos para el almacenamiento de energía propuestos hasta ahora, el aire de la atmósfera se comprime y se almacena en una cavidad. A escala industrial, esta cavidad es, por ejemplo, una caverna salina, como se ha descrito anteriormente. Las presiones en una caverna de este tipo son de aproximadamente 150 a 250 bar, dependiendo de la profundidad.

Cuando un gas es comprimido por la presión atmosférica (~1 bar) a 150 bar, éste experimenta un aumento de temperatura de aproximadamente 530 Kelvin. Si este gas comprimido se almacena en un volumen de 1 m³, este proceso produce aproximadamente 25 kWh de calor. Por el contrario, la energía contenida en la tensión del gas (p•V) es sólo de 4,2 kWh aproximadamente. En caso de una expansión completa es preciso aportar de nuevo la misma cantidad de calor, ya que, de lo contrario, se producen procesos de formación de hielo en el sistema. Si el calor generado durante la compresión no se puede almacenar ni aportar de nuevo al proceso durante la expansión, entonces el proceso presenta un rendimiento muy bajo de aproximadamente el 14 %, resultando el rendimiento de la relación entre el trabajo mecánico w y la energía total utilizada (calor q más trabajo w) (4,2/(25+4,2)).

La compresión de un gas a partir de la presión atmosférica tiene lugar en una escala técnica de forma escalonada debido al fuerte calentamiento, siendo necesario a la vez enfriar el gas. Esto puede verse en el ejemplo de la compresión isotérmica. La cantidad de calor producida en la compresión isotérmica se calcula con:

$$q = nRT \cdot \ln(p_1/p_2)$$

siendo q la cantidad de calor, n la cantidad de gas en mol, R la constante general del gas, T la temperatura, p₁ la presión de entrada, p₂ la presión de salida.

Esto significa que para la compresión de un mol de un gas de 1 bar a 10 bar se produce tanto calor como de 10 bar a 100 bar, siendo, por el contrario, la energía de compresión p•V (p es la presión, V el volumen) contenida en el gas menor en la primera etapa que en la segunda y siendo el cambio de temperatura el mismo.

De estas consideraciones se deduce que para el almacenamiento de energía resulta ventajoso partir de un nivel de presión más alto.

Esto puede lograrse si el proceso no tiene lugar entre, por ejemplo, 1 bar y 150 bar, sino, por ejemplo, entre 130 bar y 150 bar. El gas que se produce durante la expansión debe almacenarse en otra cavidad donde estaría disponible de nuevo para la compresión. En este proceso, la cantidad de calor que se produce sería de 0,7 kWh con respecto a

1 m³ de volumen de cavidad y la energía de compresión sería de aproximadamente 0,6 kWh. En este caso, el rendimiento sería del 46 %.

5 Para este tipo de almacenamiento de energía se pueden utilizar las cavernas antes descritas, siendo posible prescindir del líquido y de los dispositivos y conductos necesarios. Tampoco es preciso prever las cavernas a diferentes profundidades, aunque puede resultar ventajoso para cumplir mejor los requisitos mecánicos de la roca. En el caso del sistema aquí descrito, la cavidad inferior 11 debe ajustarse a una presión de 280 bar, siendo entonces la presión en la superficie de aproximadamente 230 bar. La presión en la caverna debe expandirse en 20 bar por el hecho de que el gas se extrae de la caverna en gran cantidad. El cambio de temperatura en la caverna es de aproximadamente 7°C. Este gas se aporta a la turbina de expansión 21 donde se expande con una diferencia de presión de 70 bar. En este caso, el gas experimenta una nueva caída de temperatura de aproximadamente 35°C. En este proceso se trabaja con un índice de flujo de 2 millones de metros cúbicos estándar por hora y una potencia de aproximadamente 30 MW.

10 El gas se almacena a continuación en la segunda caverna 12 a una presión de entre 130 y 150 bar aproximadamente, siempre que esta caverna presente el mismo tamaño que la primera.

15 El gas de la segunda caverna 12 puede volver de nuevo a la alta presión en la primera caverna, produciéndose cambios de presión y de temperatura en la dirección opuesta.

20 Este proceso tiene la ventaja de que en las cavernas se producen cambios de presión y de temperatura que son admisibles conforme a las directrices actuales en vigor para el almacenamiento subterráneo de gas natural. Se puede prescindir del enfriamiento y del precalentamiento del gas y tanto las instalaciones en superficie, como también las perforaciones y las cavernas no están sujetas a cambios excesivos de temperatura y presión.

Lista de referencias

- 1 Central de almacenamiento por bombeo
- 2 Red de suministro de energía y/o proveedor de corriente y consumidor
- 25 3 Superficie de la tierra
- 4 Gas a presión
- 5 Fluido
- 6 Gas a presión
- 7 Fluido
- 30 8 Diferencia de altura
- 9 Central
- 10 Bloque de central
- 11 Espacio de almacenamiento inferior o primer espacio de almacenamiento
- 12 Espacio de almacenamiento superior o segundo espacio de almacenamiento
- 35 13 Sistema de control
- 14 Líneas eléctricas
- 15 Conducto de líquido
- 16 Conducto de líquido
- 17 Conducto de gas a presión
- 40 18 Conducto de gas a presión
- 19 Instalaciones secundarias
- 20 Líneas eléctricas
- 21 Máquina de expansión
- 22 Compresor
- 45 23 Conexión de gas a presión
- 24 Dispositivo de válvulas controlable
- 25 Dispositivo de válvulas controlable

	26	Turbina de líquido
	27	Bomba
	28	Dispositivo de válvula controlable
	29	Dispositivo de válvula controlable
5	30	Circuito térmico
	31	Bomba de elemento térmico
	32	Intercambiador de calor
	33	Intercambiador de calor

REIVINDICACIONES

- 5 1. Central de almacenamiento de gas a presión con al menos un primer espacio de almacenamiento y un segundo espacio de almacenamiento separado del mismo (11, 12) a la misma profundidad o a profundidades diferentes, y con respectivamente al menos un conducto de gas a presión (17, 18) que conduce al primer espacio de almacenamiento (11) y al segundo espacio de almacenamiento (12) que se conectan a una máquina hidráulica motriz y de trabajo de gas a presión de la central de almacenamiento de gas a presión o que se pueden conectar a través de válvulas conmutables a la máquina motriz y de trabajo de gas a presión, diseñándose la máquina motriz y de trabajo de gas a presión (21, 22) para la generación opcional de una presión de gas de un gas a presión (4, 6) respectivamente en el primer y en el segundo espacio de almacenamiento (11, 12) en diferentes tamaños, y con un sistema de control (13) diseñado para transportar el gas a presión expandido durante la expansión del gas a presión (4, 6) de un espacio de almacenamiento (11, 12) al otro espacio de almacenamiento (11, 12), presentando la máquina motriz y de trabajo de gas a presión al menos un compresor (22) para la generación de un gas a presión comprimido, y una máquina de expansión (21) para la liberación de energía eléctrica a una red de suministro de energía (2), diseñándose la central de almacenamiento de gas a presión para la generación y liberación de la energía eléctrica a la red de suministro de energía (2) exclusivamente mediante la expansión del gas a presión (4, 6), diseñándose el sistema de control (13) para, durante la expansión del gas a presión (4, 6) de un espacio de almacenamiento (11, 12), no dejar caer la presión del gas en este espacio de almacenamiento (11, 12) por debajo de un valor de presión mínimo predeterminado de 60 bar.
- 20 2. Central según la reivindicación 1, caracterizada por que el sistema de control (13) se diseña para generar en el primer espacio de almacenamiento (11) una presión mayor que en el segundo espacio de almacenamiento (12) y, en caso de una expansión del gas a presión (4, 6), extraer el gas a presión (4, 6) del espacio de almacenamiento con la presión más alta, conducirlo a través de una máquina de expansión (22) y transportar el gas a presión expandido (4, 6) al otro espacio de almacenamiento (11, 12).
- 25 3. Procedimiento para el almacenamiento de energía por medio de una central según una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que, durante la expansión del gas a presión (4, 6) desde un espacio de almacenamiento, la presión del gas en este espacio de almacenamiento no descienda por debajo de un valor de presión mínimo predeterminado de 60 bar.
- 30 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que, durante la expansión del gas a presión (4, 6) desde un espacio de almacenamiento (11, 12), el gas a presión expandido (4, 6) se transporta al otro espacio de almacenamiento (11, 12).
- 35 5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que en el primer espacio de almacenamiento (11) se genera una presión más alta que en el segundo espacio de almacenamiento (12) y, en caso de una expansión del gas a presión (4, 6), el gas a presión (4, 6) se extrae del espacio de almacenamiento (11, 12) con la presión más alta, se conduce a través de una máquina de expansión (22) y el gas a presión expandido (4, 6) se transporta al otro espacio de almacenamiento (11, 12), aportándose desde la máquina de expansión (22) energía a una red de suministro de energía (2) pública y/o no pública y/o directamente a consumidores de energía.
- 40

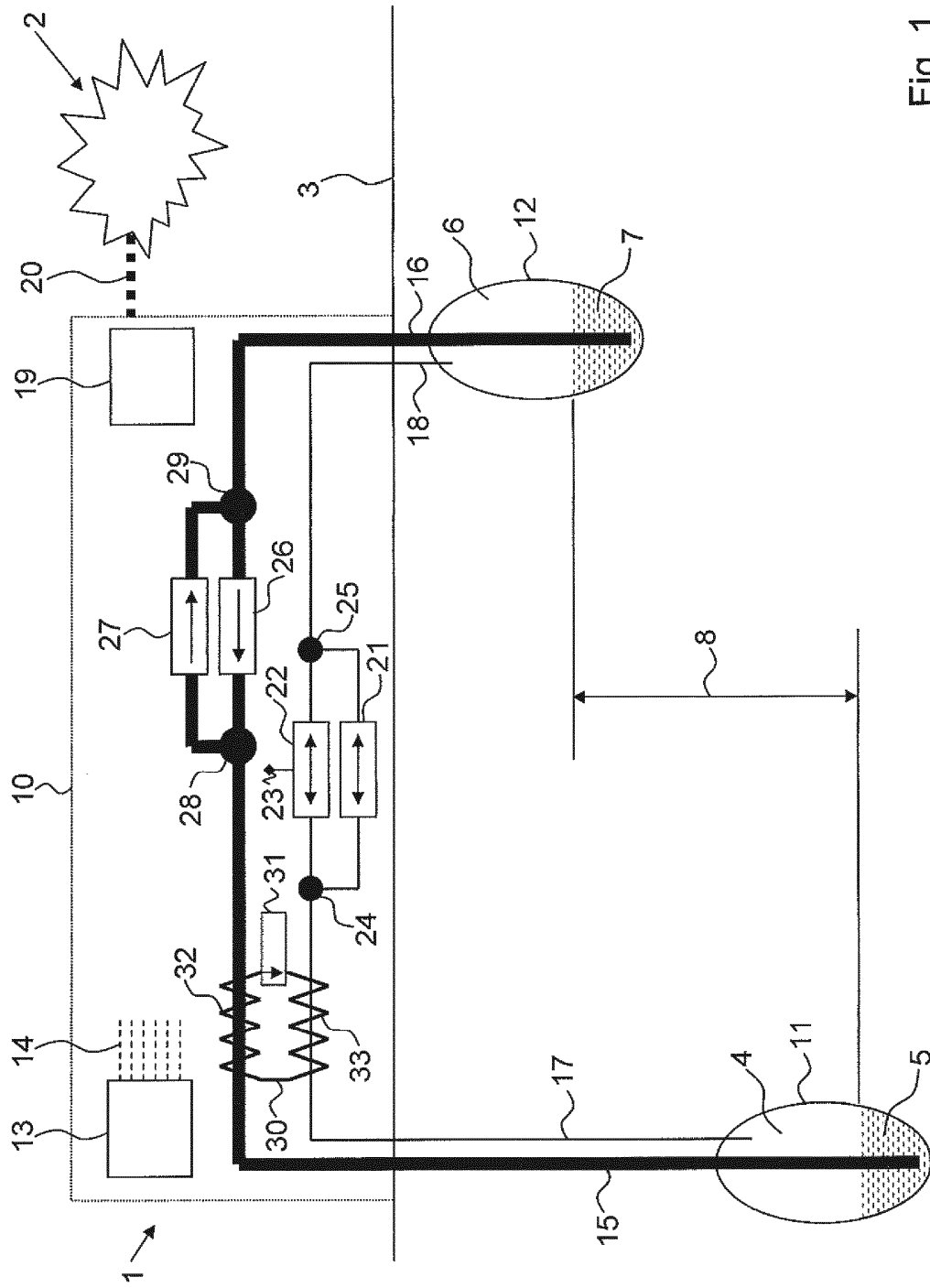


Fig. 1

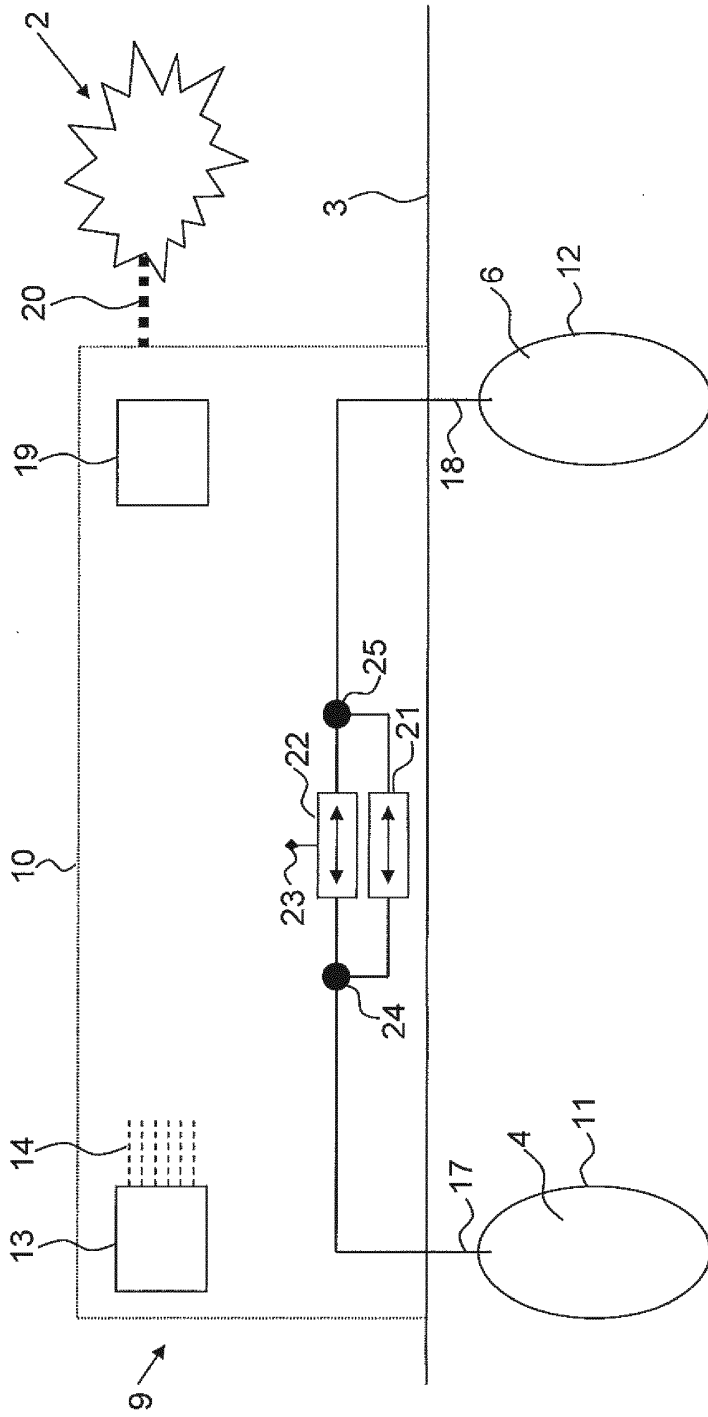


Fig. 2