

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 086**

51 Int. Cl.:

F01K 13/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.04.2021** **PCT/EP2021/059819**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.10.2021** **WO21213893**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2021** **E 21722109 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2024** **EP 4139562**

54 Título: **Sistema con dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica**

30 Prioridad:

21.04.2020 DE 102020110854

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

08.11.2024

73 Titular/es:

SCHWARZ, HELMUT (50.0%)
Lohstrasse 1
82064 Kleindingharting, DE y
SCHWARZ, ANTON (50.0%)

72 Inventor/es:

SCHWARZ, ANTON

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES, S.L.P.

ES 2 986 086 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema con dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica

5 **[0001]** La invención se refiere a un sistema con un dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica de acuerdo con el tipo especificado en el preámbulo de la reivindicación 1, así como a un procedimiento para el funcionamiento de este sistema.

10 **[0002]** En muchos países, la proporción de electricidad generada a partir de energía solar y eólica está aumentando sin cesar. Por ello, el almacenamiento de energía eléctrica está adquiriendo cada vez más importancia. Mientras que las centrales hidroeléctricas asociadas a embalses pueden generar energía eléctrica en gran medida en función de la demanda y las grandes centrales como las de gas, carbón o nucleares pueden al menos generar una producción constante, las centrales eólicas o solares solo generan electricidad cuando brilla el sol o sopla el viento, con total independencia de la demanda de electricidad. En este sentido, la energía solar se genera incluso habitualmente en sentido contrario a la demanda de electricidad. En Baja Sajonia, por ejemplo, se producen actualmente enormes cantidades de energía eólica en vano, porque la red no puede absorber tales cantidades de electricidad. La energía eólica en Europa alcanzó en 2019 la potencia de 100 centrales nucleares.

20 **[0003]** El almacenamiento de electricidad en forma de almacenamiento de energía en aire líquido, es decir, la llamada tecnología LAES (en inglés: "*Liquid Air Energy Storage*", de forma abreviada "*LAES*"), por lo tanto desempeña un papel crucial en un sistema energético de este tipo. La gran ventaja del almacenamiento de energía en aire líquido en comparación con el almacenamiento por bombeo es que pueden instalarse donde sea necesario, casi independientemente de las condiciones locales. Esto significa que no son necesarias condiciones geológicas ni trabajos especiales. Las centrales eléctricas de almacenamiento por bombeo con un tamaño de 2 x 150 MW también requieren 10 años de construcción. En cambio, los sistemas con un dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica están listos para funcionar en como máximo 18 meses de diseño y construcción.

30 **[0004]** En el conocido dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica se licua el aire ambiente con la electricidad mediante el procedimiento de Linde, se almacena en depósitos de almacenamiento criogénicos (ultrafríos) y, en caso necesario, se transforma de nuevo en electricidad en una turbina de expansión y se alimenta a una red eléctrica.

35 **[0005]** Un dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica comprende a este respecto esencialmente tres componentes principales: un componente de carga, un componente de almacenamiento y un componente de descarga. El componente de carga estará en funcionamiento cuando se deba almacenar energía eléctrica no necesaria, por ejemplo, al mediodía, cuando brilla el sol. Con la electricidad disponible se comprime el aire ambiente en el componente de carga con ayuda de un compresor y se licua mediante expansión hasta -190 °C de forma conocida mediante el procedimiento de Linde o con ayuda de una turbina de expansión y un generador de frenada. A continuación, el aire líquido se almacena a una presión cercana a la presión ambiente en un depósito de almacenamiento aislado (componente de almacenamiento), concretamente a una densidad de más de 700 veces la del aire ambiente. Cuando se vuelve a necesitar más electricidad, el aire líquido se pone presión mediante una bomba, se calienta en un dispositivo de evaporación, se evapora y finalmente se expande hasta la presión ambiente en el componente de descarga a través de una turbina conectada a un generador o varias turbinas conectadas a generadores. A este respecto la electricidad se alimenta de nuevo a la red eléctrica a través del generador. El rendimiento del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica se puede aumentar si se acopla energía térmica externa al dispositivo de evaporación cuando el aire líquido se convierte en aire comprimido.

50 **[0006]** Por el documento DE 10 2015 109 898 A1 se conoce cómo integrar el dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica en un sistema con una central eléctrica de vapor para aprovechar el calor de escape, es decir, la energía térmica, para aumentar la eficacia del componente de descarga y, por tanto, del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica en su conjunto.

55 **[0007]** Sin embargo, las centrales eléctricas de vapor son relativamente complejas y están sujetas a estrictas normas medioambientales. Por lo tanto, solo se pueden construir en lugares seleccionados. La mayoría de las veces, las ubicaciones de las centrales eléctricas de vapor no están cerca de los aerogeneradores o de las plantas de fotovoltaicas. La central eléctrica de vapor divulgada en el documento DE 10 2015 109 898 A1 comprende además una caldera que funciona con gas combustible fósil, que también puede presentar problemas materiales relacionados con la seguridad debido al intercambio de temperaturas muy altas y muy bajas. También hay que tener en cuenta en este sentido que los aceros de alta aleación no están diseñados para la licuefacción de aire a temperaturas de alrededor de -190 °C. La eficiencia de un sistema de este tipo, así como el balance de CO₂ también es insuficiente.

65 **[0008]** Por el documento US 2015/300209 A1 se conoce un sistema genérico que presenta un dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica con un componente de carga que comprende un compresor para comprimir el aire alimentado, al que le sigue un condensador para licuar el aire. Además, está previsto un componente de almacenamiento con un depósito de aire para almacenar el aire licuado. Un componente de descarga que comprende un dispositivo de evaporación para convertir el aire líquido en aire comprimido gaseoso y un

dispositivo de expansión para expandir el aire comprimido cooperan, por tanto, con una turbina y con un generador conectado a la turbina. Entre el dispositivo de evaporación y el dispositivo de expansión se puede alimentar energía térmica a través de una primera conducción de calor. Este sistema realiza entonces, en caso necesario, electrólisis de agua, pero a temperaturas entre 100 °C y 850 °C. Por tanto, el producto de partida no es agua, sino vapor de agua. Además, a estas temperaturas no son posibles los procedimientos de electrólisis conocidos con un electrolizador PEM ni una electrólisis alcalina, lo que impide una implementación económica.

[0009] Por lo tanto, la invención se basa en el objetivo de perfeccionar el sistema conocido por el preámbulo de la reivindicación 1 de tal manera que, evitando los inconvenientes mencionados, por un lado se pueda almacenar y recuperar energía de forma relativamente económica y, por otro lado, energía externa procedente de un procedimiento que consume mucha energía se utilice para producir otros productos de tecnología verde.

[0010] Este objetivo se consigue mediante las características de la parte caracterizadora de la reivindicación 1 en combinación con las características de su preámbulo.

[0011] Las reivindicaciones dependientes constituyen perfeccionamientos ventajosos de la invención.

[0012] La invención se basa en el reconocimiento de que un procedimiento de electrólisis continua para la producción de hidrógeno y oxígeno produce continuamente calor de escape en un intervalo de aproximadamente 40 °C a 90 °C y, por tanto, energía térmica, que corresponde a la cantidad de calor necesaria que es óptima para el proceso de evaporación del aire líquido a aire comprimido. Por lo tanto, al integrar dicho procedimiento de electrólisis en el sistema con un dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica, la eficiencia global se puede aumentar significativamente. También cabe señalar en este sentido que, a medio plazo, el hidrógeno y el oxígeno se convertirán en la piedra angular de un suministro energético seguro, sostenible y económico basado en energías renovables. La integración de sistemas Power-to-Hydrogen reducirá los costes de la transición energética y al mismo tiempo aumentará la seguridad del suministro. Además, la necesidad de hidrógeno es considerable y aumenta cada vez más para una amplia variedad de aplicaciones, debido también al aumento de las ventas de vehículos propulsados por hidrógeno, que necesitan alrededor de 5 kg de hidrógeno para recorrer 500 km. En la actualidad se consumen anualmente 600 mil millones de Nm³ de hidrógeno en refinerías y plantas petroquímicas, de los cuales 40 mil millones de Nm³ solo en Alemania.

[0013] Por lo tanto, según la invención, el sistema está equipado con un dispositivo para la electrólisis permanente de agua con al menos un primer intercambiador de calor, a través del cual la energía térmica generada durante la electrólisis es absorbida por un fluido que fluye a través del primer intercambiador de calor. A este respecto, está prevista al menos una primera conducción de calor, que alimenta energía térmica al dispositivo de evaporación a través del fluido. El fluido tiene a este respecto una temperatura de 40 °C a 90 °C en el dispositivo de evaporación. El primer intercambiador de calor está conectado a la primera conducción de calor de tal manera que la energía térmica generada durante la electrólisis se disipa a través del primer intercambiador de calor a través del fluido y se alimenta al dispositivo de evaporación. Se trata de una forma sencilla de alimentar la energía térmica generada durante la electrólisis permanente, es decir, la producción de H₂ y O₂, al dispositivo de evaporación del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica, y de regularla.

[0014] De acuerdo con una forma de realización de la invención, el dispositivo de evaporación está configurado como dispositivo de evaporación en baño de agua. Un dispositivo de evaporación en baño de agua de este tipo es, en última instancia, un intercambiador de calor, a través del cual discurre la primera conducción de calor y que libera energía térmica a través de un baño de agua al menos a una conducción que transporta el aire licuado. El aire licuado se convierte así en aire comprimido gaseoso. Un dispositivo de evaporación en baño de agua se caracteriza por su diseño robusto y fiable y tiene un amplio margen de capacidad.

[0015] Estos dispositivos de evaporación en baño de agua son generalmente conocidos y se utilizan en sistemas criogénicos para evaporar gases licuados tales como aire, oxígeno, nitrógeno, argón y gas natural. Esto sucede en un intervalo de carga de aprox. 500 a 195.000 Nm³/h. En un dispositivo de evaporación en baño de agua se pueden procesar hasta tres flujos de gas líquido diferentes.

[0016] Preferiblemente están previstos dos primeros intercambiadores de calor, en donde un primer intercambiador de calor está asociado a la producción de oxígeno y otro primer intercambiador de calor está asociado a la producción de hidrógeno en el dispositivo para la electrólisis de agua, para absorber la energía térmica generada durante la electrólisis mediante el fluido que fluye a través de los dos primeros intercambiadores de calor. El calor de escape del dispositivo para la electrólisis permanente debe ser alimentado casi por completo al fluido a través de los dos primeros intercambiadores de calor y finalmente, a través del mismo, al dispositivo de evaporación.

[0017] De acuerdo con otra forma de realización de la invención, el dispositivo para la electrólisis de agua para separar hidrógeno y oxígeno mediante una corriente eléctrica funciona según el principio de electrólisis de membrana de intercambio de protones (en inglés: "Proton Exchange Membrane" o "Polymer Electrolyte Membrane", de forma abreviada "PEM") y está diseñado para ello. Las dos mitades de celda están separadas por una membrana estanca a los gases. La gran ventaja de esta tecnología es el buen comportamiento en el cambio de carga. En comparación con

otros procedimientos, los volúmenes fluctuantes de electricidad se pueden abordar en este caso más rápidamente. Además, el funcionamiento en el régimen de carga parcial es posible en todo el ancho de banda.

[0018] Alternativamente, el dispositivo para la electrólisis permanente para la producción de H_2 y O_2 puede funcionar según el principio de electrólisis alcalina y estar configurado para ello. En la electrólisis alcalina (AEL) se sumergen electrodos metálicos en una solución acuosa alcalina. Las mitades de celda en las que cuelgan los electrodos están separadas por una membrana permeable. Al aplicar una tensión se produce oxígeno en el ánodo e hidrógeno en el cátodo. La tecnología se caracteriza por una alta estabilidad a largo plazo y bajos costes de inversión. Además, para el material de electrodo no se necesitan metales preciosos raros. A pesar de su sencillo diseño, este tipo de sistemas alcanzan actualmente los mayores niveles de eficiencia. Sin embargo, sobre todo en relación con el aprovechamiento de un abastecimiento eléctrico volátil, existe el problema de la lentitud de los cambios de carga y de un régimen de carga parcial relativamente pequeño.

[0019] Para aumentar aún más la eficiencia del sistema, el compresor del componente de carga del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica coopera con al menos un segundo intercambiador de calor, cuyo fluido que fluye a través del segundo intercambiador de calor absorbe la energía térmica generada al comprimir el aire y la disipa hacia el dispositivo de evaporación.

[0020] Para ello, el segundo intercambiador de calor puede estar conectado a través de una segunda conducción de calor al dispositivo de evaporación para alimentar la energía térmica generada durante la compresión al dispositivo de evaporación.

[0021] De acuerdo con otra forma de realización de la invención, aguas abajo del dispositivo de evaporación está conectado al menos un tercer intercambiador de calor, a través del cual se alimenta adicionalmente energía térmica al aire comprimido procedente del dispositivo de evaporación y se ajusta la temperatura requerida del aire comprimido.

[0022] El dispositivo de evaporación puede estar conectado, a este respecto, al tercer intercambiador de calor a través de la primera conducción de calor y/o la segunda conducción de calor y aprovechar la energía térmica residual del fluido que sale del dispositivo de evaporación para ajustar la temperatura del aire comprimido a través del tercer intercambiador de calor.

[0023] El tercer intercambiador de calor está configurado preferiblemente como intercambiador de calor aire-agua. El tercer intercambiador de calor está conectado a este respecto al primer intercambiador de calor a través de la primera conducción de calor y forma un primer circuito de fluido.

[0024] Alternativa o adicionalmente, el tercer intercambiador de calor puede estar conectado al segundo intercambiador de calor a través de la segunda conducción de calor y formar un segundo circuito de fluido. Así se aprovecha también la energía térmica disponible en el dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica para aumentar la eficiencia de todo el sistema.

[0025] Con ayuda del tercer intercambiador de calor se calentará preferiblemente el aire comprimido hasta la temperatura ambiente, pero también se regulará la temperatura de entrada para el primer intercambiador de calor del dispositivo para la producción permanente de H_2 y O_2 que tiene lugar en la electrólisis para un funcionamiento óptimo.

[0026] Preferiblemente, la primera conducción de calor y/o la segunda conducción de calor también pueden presentar derivaciones en los intercambiadores de calor para poder regular correspondientemente la temperatura del aire comprimido. La primera conducción de calor presenta, por ejemplo, una derivación hacia el dispositivo de evaporación, para poder alimentar también directamente una mayor proporción de energía térmica al tercer intercambiador de calor.

[0027] La finalidad del diseño del intercambiador de calor es un equilibrio térmico eficaz en el sistema. De esta manera resulta posible un transporte sencillo de la energía térmica entre los distintos componentes del sistema a través de la primera conducción de calor, la segunda conducción de calor y el fluido. También es posible prever varios dispositivos de evaporación, varios primeros, segundos y terceros intercambiadores de calor, así como conducciones de calor que los conecten, es decir, varios circuitos de fluido. Sin embargo, esto es objeto de un dimensionamiento y una optimización deseados del sistema según la invención.

[0028] Para que el proceso de alimentación de calor y, por tanto, la evaporación del aire líquido en aire comprimido pueda tener lugar de forma continua, en el componente de descarga del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica está previsto un tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido.

[0029] El objetivo mencionado anteriormente también se logra mediante un procedimiento para el funcionamiento de un sistema que comprende un dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica y un dispositivo para la instalación de electrólisis que se encuentra en funcionamiento permanente. A este respecto, el procedimiento puede aplicarse preferiblemente al sistema que se acaba de describir. De acuerdo con el procedimiento, se aprovecha la energía térmica del calor de escape del dispositivo para la electrólisis permanente para alimentarla a

un dispositivo de evaporación de un componente de descarga del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica para la conversión de aire comprimido licuado en gaseoso y en energía eléctrica.

[0030] Preferiblemente, se usa a este respecto la energía térmica del calor de escape de un electrolizador del dispositivo para la electrólisis permanente.

[0031] De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso de la invención, puede aprovecharse adicionalmente la energía térmica de un compresor para comprimir el aire alimentado a un componente de carga del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica para alimentarla al dispositivo de evaporación del componente de descarga del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica para la conversión de aire comprimido licuado en gaseoso.

[0032] De acuerdo con otra forma de realización de la invención, la energía térmica se alimenta al dispositivo de evaporación del componente de descarga del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica a través de un fluido, en particular en combinación con un primer intercambiador de calor que está conectado a una conducción de calor que alimenta y disipa el fluido. A este respecto, el fluido se puede alimentar al dispositivo de evaporación a una temperatura de 40 °C a 90 °C.

[0033] Preferiblemente, la energía térmica se alimenta permanentemente al dispositivo de evaporación del componente de descarga, y en el dispositivo de evaporación el aire licuado se convierte continuamente en aire gaseoso y se alimenta a un depósito intermedio de aire comprimido.

[0034] Para compensar en particular los picos de carga en la red eléctrica, si es necesario, el aire comprimido gaseoso procedente del depósito intermedio de aire comprimido se alimenta a un dispositivo de expansión con una turbina y un generador. La electricidad generada por el generador se inyecta a una red eléctrica existente para su regulación con el fin de equilibrar el consumo y la producción.

[0035] Preferiblemente, el fluido de la primera conducción de calor se puede enfriar antes de entrar en el primer intercambiador de calor para optimizar la eficiencia del dispositivo para la electrólisis permanente de agua.

[0036] Preferiblemente, el fluido de la segunda conducción de calor también puede enfriarse antes de entrar en el segundo intercambiador de calor.

[0037] Es especialmente ventajoso que para el dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica y/o el dispositivo para la electrólisis permanente de agua se utilice energía procedente de energías renovables.

[0038] La invención se caracteriza por que la eficiencia del sistema aumenta mediante la transferencia optimizada de energía térmica entre el dispositivo para la electrólisis continua de agua y el componente de descarga del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica. La absorción de energía térmica se puede lograr con la producción continua de H₂ y O₂ las 24 horas. La licuefacción del aire se produce cuando brilla el sol y sopla el viento. La evaporación del aire líquido para recuperación de energía está prevista para horas nocturnas y/o las horas punta de carga.

[0039] Ventajas, características y posibilidades de aplicación adicionales de la presente invención se desprenden de la siguiente descripción en relación con los ejemplos de realización representados en los dibujos.

[0040] En la descripción, en las reivindicaciones y en el dibujo se usan los términos usados en la lista de referencias expuesta más adelante y las referencias asociadas. En el dibujo, significa:

la Fig. 1 una vista esquemática de un sistema según un ejemplo de realización de la invención;

la Fig. 2 otra vista esquemática detallada, que comprende dos dispositivos de evaporación en baño de agua conectados en serie y un refrigerador de aire/agua a continuación de los mismos de un componente de descarga en cooperación con dos circuitos de fluido del sistema según la invención, y

la Fig. 3 otra vista esquemática de la estructura modular del sistema según la invención.

[0041] En la figura 1 está representado un sistema 10 de acuerdo con una forma de realización de la invención. El sistema 10 comprende un dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica 12 y un dispositivo para la electrólisis permanente de agua 14.

[0042] El dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica 12 está equipado esencialmente con tres componentes principales, a saber, un componente de carga 16, un componente de almacenamiento en forma de un depósito de aire líquido 18 y un componente de descarga 20.

[0043] Un motor eléctrico 24 del componente de carga 16 recibe electricidad de una red eléctrica 22, que está conectada a un compresor 26 y lo acciona según sea necesario. Aguas arriba del compresor 26 está conectado un filtro de succión de aire 28, a través del cual, entre otras cosas, se alimenta aire ambiente al compresor 26 durante el funcionamiento del componente de carga 16.

[0044] El aire comprimido por el compresor 26 se alimenta a través de una conducción de aire 30 a un secador 34 a través de un segundo intercambiador de calor 32 del componente de carga 16. Con ayuda del segundo intercambiador de calor 32 del componente de carga 16 se extrae energía térmica del aire comprimido calentado por la compresión. Para ello, el segundo intercambiador de calor 32 del componente de carga 16 está conectado a una segunda conducción de calor 36 de un segundo circuito de fluido 38 para la disipación de energía térmica. Esto se comentará más adelante.

[0045] En el secador 34 se purifica de forma conocida el aire comprimido de vapor de agua, hidrocarburos y dióxido de carbono.

[0046] A continuación, el aire comprimido se alimenta a un condensador de aire 40, que comprende un intercambiador de calor 42, una válvula reguladora 44, una turbina de expansión 46 con un generador de frenada 48 conectado a ella para generar electricidad, una válvula de expansión 50 y un tanque de compensación 52. El aire comprimido y seco se alimenta primero al intercambiador de calor 42 en el condensador de aire 40. Un primer flujo parcial de aire comprimido se deriva al intercambiador de calor 42 y se conduce a través de la válvula reguladora 44 hasta la turbina de expansión 46, en la que el aire comprimido se expande hasta la presión ambiente y acciona así la turbina de expansión 46. La turbina de expansión 46 acciona a su vez el generador de frenada 48, que genera electricidad y la alimenta a la red eléctrica 22 o a los consumidores del sistema 10, por ejemplo el compresor 26, a través de una central de conmutación eléctrica 54 con inversor, transformador, etc.

[0047] El aire ahora muy enfriado se alimenta ahora desde la turbina de expansión 46 al intercambiador de calor 42 extrayendo una considerable cantidad de energía térmica del segundo flujo parcial y enfriándolo así significativamente. El primer flujo parcial calentado de esta manera se devuelve al filtro de succión de aire 28 a través del secador 34 y luego se devuelve al compresor 26.

[0048] El segundo flujo parcial se enfría en el intercambiador de calor 42 hasta justo antes del punto de licuefacción y, a continuación, se pasa a través de una válvula de expansión 50, donde el aire cae por debajo del punto de licuefacción y llega al tanque de compensación 52. Luego, el aire líquido se introduce en el depósito de aire 18 a aproximadamente -190 °C a presión ambiente a través del tanque de compensación 52 y otra válvula reguladora 56. El aire líquido se almacena en el depósito de aire 18 hasta que sea necesaria una demanda de energía para compensar cargas pico.

[0049] Para extraer la energía, se extrae aire líquido del depósito de aire 18 mediante una bomba 58, que es impulsada por un motor 60. A través de la conducción de aire 30 se conduce el aire líquido en primer lugar a un dispositivo de evaporación en forma de un dispositivo de evaporación en baño de agua 62, a continuación como aire comprimido a un tercer intercambiador de calor 64 y finalmente como aire comprimido a un tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido 66. En el dispositivo de evaporación en baño de agua 62, se alimenta energía térmica al dispositivo de evaporación en baño de agua 62 a través de una primera conducción de calor 68 y la segunda conducción de calor 38, de modo que el aire líquido se convierte en aire comprimido y tiene entonces una presión de aprox. 40 bar. En el tercer intercambiador de calor 64, el aire comprimido se calienta hasta temperatura ambiente o más y a continuación se almacena en el tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido 66. El proceso de extraer el aire líquido del depósito de aire 18 y alimentar aire comprimido puede tener lugar de forma continua.

[0050] Para poder ajustar fácilmente la temperatura del aire comprimido alimentado al tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido 66, también está prevista una conducción de derivación 70, en la que está instalada una válvula de derivación 72. La conducción de derivación 70 está conectada a la parte de la conducción de aire 30 que conecta el dispositivo de evaporación en baño de agua 62 con el tercer intercambiador de calor 64. Además, la conducción de derivación 70 está conectada a la parte de la conducción de aire 30 que conecta el tercer intercambiador de calor 64 con el tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido 66. De esta manera, se puede mezclar aire comprimido más frío procedente del dispositivo de evaporación en baño de agua 62 con aire comprimido más caliente procedente del tercer intercambiador de calor 64 y así se puede ajustar la temperatura del aire comprimido que se introduce en el tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido 66 de una manera predeterminada.

[0051] El aire comprimido alimentado a través de la conducción de aire 30 se almacena continuamente en el tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido 66 hasta que, por ejemplo, se necesite energía para compensar las cargas pico en la red eléctrica 22. Para ello, el tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido 66 está conectado a una turbina principal 76 con generador de energía eléctrica 78 conectado a través de una válvula de aire comprimido 74 y otra parte de la conducción de aire 30. En la turbina principal 76, el aire comprimido se expande desde aproximadamente 40 bar hasta la presión ambiente y acciona así la turbina principal 76 con el generador de energía eléctrica 78 conectado a ella para generar electricidad. La electricidad generada se alimenta a la red eléctrica 22 para su regulación.

[0052] El dispositivo para la electrólisis permanente de agua 14 consta de varios electrolizadores PEM 80, que están conectados a la red eléctrica 22 y obtienen a través de esta la energía eléctrica para la electrólisis permanente de agua para la producción de H_2 y O_2 . El PEM 80 produce continuamente hidrógeno y oxígeno durante las 24 horas del día durante al menos 7000 - 8000 horas al año. El oxígeno se alimenta a un tanque de almacenamiento de oxígeno 88 y el hidrógeno a un tanque de almacenamiento de hidrógeno 86 y, si es necesario, se procesa o envía adicionalmente de una manera conocida. La energía térmica generada durante la producción de oxígeno y la energía térmica generada durante la producción de hidrógeno se disipa a través de circuitos de fluido 90, 92 y se disipa a través de un intercambiador de calor 94, que está asociado al circuito de fluido 90 para la producción de oxígeno, y a través de un intercambiador de calor 96, que está asociado al circuito de fluido 92 para la producción de hidrógeno.

[0053] La primera conducción de calor 68 conecta entre sí los dos primeros intercambiadores de calor 94 y 96 y absorbe la energía térmica de los circuitos de fluido 90 y 92 a través del fluido que fluye en la conducción de calor 68.

[0054] La conducción de calor 68 forma un primer circuito de fluido 98. En este sentido, la conducción de calor 68 discurre desde los dos primeros intercambiadores de calor 94, 96 hasta el dispositivo de evaporación en baño de agua 62, para liberar allí la energía térmica almacenada en el fluido de la conducción de calor 68 a un baño de agua, para calentar de nuevo a través del mismo el aire licuado de la conducción de aire 30 y llevarlo a evaporación.

[0055] Además, la conducción de calor 68 discurre desde el dispositivo de evaporación en baño de agua 62 hasta el tercer intercambiador de calor 64 y de vuelta hasta los dos primeros intercambiadores de calor 94 y 96. De este modo se cierra el primer circuito de fluido 98 formado por la primera conducción de calor 68.

[0056] Además, está prevista una conducción de derivación 100 con una válvula de derivación 102 del primer circuito de fluido 98, que cortocircuita la primera conducción de calor 68 evitando el tercer intercambiador de calor 64. La energía térmica que ha de alimentarse al aire comprimido en la conducción de aire 30 por el fluido de la primera conducción de calor 68 a través del tercer intercambiador de calor 64 se puede ajustar de manera sencilla.

[0057] Además está prevista una conducción de compensación 104 con una válvula de compensación 106, que conecta la parte de la primera conducción de calor 68 después del tercer intercambiador de calor 64 con la parte de la segunda conducción de calor antes del segundo intercambiador de calor 32. De este modo se transferirá fluido de la primera conducción de calor 68 del primer circuito de fluido 98 a la segunda conducción de calor 36 del segundo circuito de fluido 38 y así se introducirá energía térmica del primer circuito de fluido 98 en el segundo circuito de fluido 38. Esto sirve para regular la temperatura de recirculación de la segunda conducción de calor 36 cuando el componente de carga 16 está en funcionamiento.

[0058] En la figura 2, esencialmente el primer circuito de fluido 98 y el segundo circuito de fluido 38 se muestran en una vista esquemática. Los componentes individuales presentan los módulos del sistema 10 descrito con referencia a la figura 1. Sin embargo, por razones de claridad, estos se han omitido en la figura 2.

[0059] La primera conducción de calor 68 discurre desde los primeros intercambiadores de calor 94, 96 del dispositivo para la electrólisis permanente de hidrógeno 14 hasta dos dispositivos de evaporación en baño de agua 62a, 62b conectados en serie y luego hasta el tercer intercambiador de calor 64 en forma de un refrigerador de aire/agua y, finalmente, de vuelta a los primeros intercambiadores de calor 94, 96. Por motivos de claridad no se muestran en este caso la conducción de derivación 100 con la válvula de derivación 102, ni tampoco la conducción de compensación 104 con la válvula de compensación 106.

[0060] La segunda conducción de calor 36 discurre desde el segundo intercambiador de calor 32 en el compresor 26 hasta el primer dispositivo de evaporación en baño de agua 62a, a continuación hasta el segundo dispositivo de evaporación en baño de agua 62b, luego hasta el tercer intercambiador de calor 64 y de vuelta al segundo intercambiador de calor 32.

[0061] También está representado el depósito de aire 18 con la conducción de aire 30. Esta discurre desde el depósito de aire 18 a través de los dos dispositivos de evaporación en baño de agua 62a, 62b a través del tercer intercambiador de calor 64 hasta el tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido 66.

[0062] En el tercer intercambiador de calor 64 está previsto un ventilador para enfriar el fluido de la primera conducción de calor 68 antes de entrar en el primer intercambiador de calor 94, 96 y el fluido de la segunda conducción de calor 36 antes de entrar en el segundo intercambiador de calor 32.

[0063] De esto se desprende claramente que el calor de escape del dispositivo para la electrólisis permanente de hidrógeno 14 y el calor de escape del compresor 26 se aprovechan para alimentarlo continuamente en forma de energía térmica al componente de descarga 20 a través de los dispositivos de evaporación en baño de agua 62a, 62b y el tercer intercambiador de calor 64 en un funcionamiento las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

[0064] La estructura básica del sistema 10 descrito con referencia a las figuras 1 y 2 se muestra esquemáticamente

en la figura 3. Este sistema 10 muestra dos dispositivos de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica 12 dispuestos en paralelo entre sí.

[0065] Además, la figura 3 muestra cuatro electrolizadores 80, cada uno con 24 dispositivos para la electrólisis permanente de agua 14, que son modulares y pueden ampliarse si es necesario. Estos electrolizadores 80 para la producción permanente de hidrógeno y oxígeno cooperan con los intercambiadores de calor 94 y 96.

[0066] El dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica 12 comprende el componente de carga 16, el depósito de aire 18 y el componente de descarga 20 con el dispositivo de evaporación en baño de agua 62, con el tercer intercambiador de calor 64, con el tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido 66 y con la turbina principal 76 con el generador de energía eléctrica 78. Todo esto se muestra esquemáticamente para ilustrar el diseño modular. Además, el dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica 12, así como el dispositivo para la electrólisis permanente de hidrógeno 14, también comprenden todas las características descritas con referencia a la figura 1.

[0067] Un electrolizador 80 produce en la actualidad 8160 kg de hidrógeno al día con una demanda de energética de 17,5 MW. A este respecto, libera 4 MWh de calor a través de los intercambiadores de calor 94, 96 al dispositivo de evaporación en baño de agua 62 a través del primer circuito de fluido 98 a través del fluido que fluye en la primera conducción de calor 68.

[0068] El dispositivo de evaporación en baño de agua 62 comprende, por ejemplo, 400 m³ de baño de agua, que requiere 18,6 MWh para calentarse desde 10 °C hasta 50 °C. A través de la bomba 58 y el dispositivo de evaporación en baño de agua 62 calentado por aire asociado se introducen 40 m³/h de aire líquido en el dispositivo de evaporación en baño de agua 62, mientras que a este respecto se alimentan 28.000 Nm³/h de aire comprimido desde el dispositivo de evaporación en baño de agua 62 al tercer intercambiador de calor 64. En este sentido, la diferencia de temperatura entre el aire líquido introducido y el aire comprimido evacuado es de 100 °C y, por tanto, el aporte de energía a través del dispositivo de evaporación en baño de agua es de aproximadamente 9,5 MWh.

[0069] El depósito de aire líquido 18 comprende, por ejemplo, un volumen de 1.200 m³, lo que corresponde a aproximadamente 165 MWh de energía almacenada. El compresor 26 recibe del motor 24 una energía de aproximadamente 20 MW para comprimir el aire succionado. A través del segundo intercambiador de calor 32 se disipa una energía térmica que se libera al dispositivo de evaporación en baño de agua 62 a través del segundo circuito de fluido 38 a través del fluido que fluye en la segunda conducción de calor 36.

[0070] A través de la turbina 76 con un generador 48 conectado durante el funcionamiento del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica 12 puede generarse energía, que se alimenta a la red eléctrica 22.

[0071] Debido a la diversidad de compresores, reductores y generadores, las especificaciones detalladas solo pueden establecerse o ajustarse en la fase de diseño.

Lista de referencias

[0072]

- 10 sistema
- 12 dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica
- 14 dispositivo para la electrólisis permanente de agua
- 16 componente de carga
- 18 depósito de aire líquido
- 20 componente de descarga
- 22 red eléctrica
- 24 motor eléctrico
- 26 compresor
- 28 filtro de succión de aire
- 30 conducción de aire
- 32 segundo intercambiador de calor, que está dispuesto en el componente de carga 16
- 34 secador
- 36 conducción de calor, segunda conducción de calor
- 38 circuito de fluido, segundo circuito de fluido
- 40 condensador de aire
- 42 intercambiador de calor
- 44 válvula reguladora
- 46 turbina de expansión
- 48 generador de frenada
- 50 válvula de descarga

52	tanque de compensación
54	central de conmutación eléctrica
56	válvula reguladora adicional delante del depósito de aire 18
58	bomba
60	motor de la bomba 58
62	dispositivo de evaporación en baño de agua
64	tercer intercambiador de calor
66	tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido
68	primera conducción de calor
70	conducción de derivación
72	válvula de derivación
74	válvula de aire comprimido
76	turbina principal
78	generador de energía eléctrica
80	electrolizador
86	tanque de almacenamiento de oxígeno
88	tanque de almacenamiento de hidrógeno
90	circuito de fluido - oxígeno
92	circuito de fluido - hidrógeno
94	intercambiador de calor - oxígeno
96	intercambiador de calor - hidrógeno
98	primer circuito de fluido
100	conducción de derivación
102	válvula de derivación
104	conducción de compensación
106	válvula de compensación

REIVINDICACIONES

1. Sistema (10) con

5 a. un dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica (12) con

i. un componente de carga (16) que comprende un compresor (26) para comprimir el aire alimentado y un condensador (40) situado a continuación para licuar el aire,

10 ii. un componente de almacenamiento que comprende un depósito de aire (18) para almacenar el aire licuado, y

iii. un componente de descarga (20) que comprende un dispositivo de evaporación (62) para convertir el aire líquido en aire comprimido gaseoso, así como un dispositivo de expansión para expandir el aire comprimido con una turbina (76) y con un generador (78) a continuación de la turbina (76), en donde al componente de

15 **caracterizado por** descarga (20) se alimenta energía térmica a través de una primera conducción de calor (68),

b. un dispositivo para la electrólisis permanente de agua (14) con al menos un primer intercambiador de calor (94, 96), a través del cual la energía térmica generada durante la electrólisis es absorbida por un fluido que fluye a través del primer intercambiador de calor (94, 96), en donde el primer intercambiador de calor (94, 96) está conectado a la primera conducción de calor (68) de tal manera que la energía térmica generada durante la electrólisis se disipa a través del fluido a través del primer intercambiador de calor (94, 96) y, a través de la primera conducción de calor (68), se alimenta energía térmica al dispositivo de evaporación (62), en donde el fluido tiene una temperatura de 40 °C a 90 °C en el dispositivo de evaporación (62).

25 2. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado por que** están previstos dos primeros intercambiadores de calor (94, 96), estando asociado un primer intercambiador de calor (94) a la producción de oxígeno y otro primer intercambiador de calor (96) a la producción de hidrógeno en el dispositivo para la electrólisis permanente de agua (14).

30 3. Sistema según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el dispositivo para la electrólisis permanente de agua (14) está diseñado como electrolizador de membrana de intercambio de protones o como electrolizador alcalino.

4. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el compresor (26) del componente de carga (16) coopera con al menos un segundo intercambiador de calor (32), cuyo fluido que fluye a través del segundo intercambiador de calor (32) absorbe y disipa la energía térmica generada al comprimir el aire.

5. Sistema según la reivindicación 4, **caracterizado por que** el segundo intercambiador de calor (32) está conectado al dispositivo de evaporación (62) a través de una segunda conducción de calor (36) para alimentar la energía térmica generada durante la compresión al dispositivo de evaporación (62).

6. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** aguas abajo del dispositivo de evaporación (62) está conectado al menos un tercer intercambiador de calor (64), a través del cual se alimenta adicionalmente energía térmica al aire comprimido procedente del dispositivo de evaporación (62) y se ajusta la temperatura requerida del aire comprimido.

7. Sistema según la reivindicación 6, **caracterizado por que** el dispositivo de evaporación (62) está conectado al tercer intercambiador de calor (64) a través de la primera conducción de calor (68) y/o la segunda conducción de calor (36) y aprovecha la energía térmica residual del fluido que sale del dispositivo de evaporación (62) para ajustar la temperatura del aire comprimido a través del tercer intercambiador de calor (64).

8. Sistema según una de las reivindicaciones 6 o 7, **caracterizado por que** el tercer intercambiador de calor (64) está conectado al primer intercambiador de calor (94, 96) a través de la primera conducción de calor (68) y forma un primer circuito de fluido (98).

9. Sistema según las reivindicaciones 4 y 6, **caracterizado por que** el tercer intercambiador de calor (64) está conectado al segundo intercambiador de calor (32) a través de la segunda conducción de calor (36) y forma un segundo circuito de fluido (38).

10. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** está previsto un tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido (66) en el componente de descarga (20) del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica (12).

11. Sistema según la reivindicación 10, **caracterizado por que** el tercer intercambiador de calor (64) está conectado aguas arriba del tanque de almacenamiento intermedio de aire comprimido (66).

12. Procedimiento para el funcionamiento de un sistema (10) que comprende un dispositivo de almacenamiento de

energía en aire líquido y central eléctrica (12) y un dispositivo para la electrólisis permanente de agua (14), según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se aprovecha la energía térmica del calor de escape del dispositivo para la electrólisis permanente de agua (14) para alimentarla a un dispositivo de evaporación (62) de un componente de descarga (20) del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica (12) para la conversión del aire comprimido licuado en gaseoso.

13. Procedimiento según la reivindicación 12, **caracterizado por que** la energía térmica del calor de escape de un electrolizador (80) es utilizada por el dispositivo para la electrólisis permanente de agua (14).

14. Procedimiento según la reivindicación 12 o 13, **caracterizado por que** se aprovecha, además, la energía térmica de un compresor (26) para comprimir el aire alimentado a un componente de carga (16) del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica (12) para alimentarla al dispositivo de evaporación (62) del componente de descarga (20) del dispositivo de almacenamiento de energía en aire líquido y central eléctrica (12) para la conversión del aire comprimido licuado en gaseoso.

15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 12 a 14, **caracterizado por que** la energía térmica se alimenta permanentemente al dispositivo de evaporación (62) del componente de descarga (20) a través de la primera conducción de calor (68) y, si es necesario, el aire licuado se convierte en gaseoso en el dispositivo de evaporación (62) y se alimenta a un depósito intermedio de aire comprimido (66).

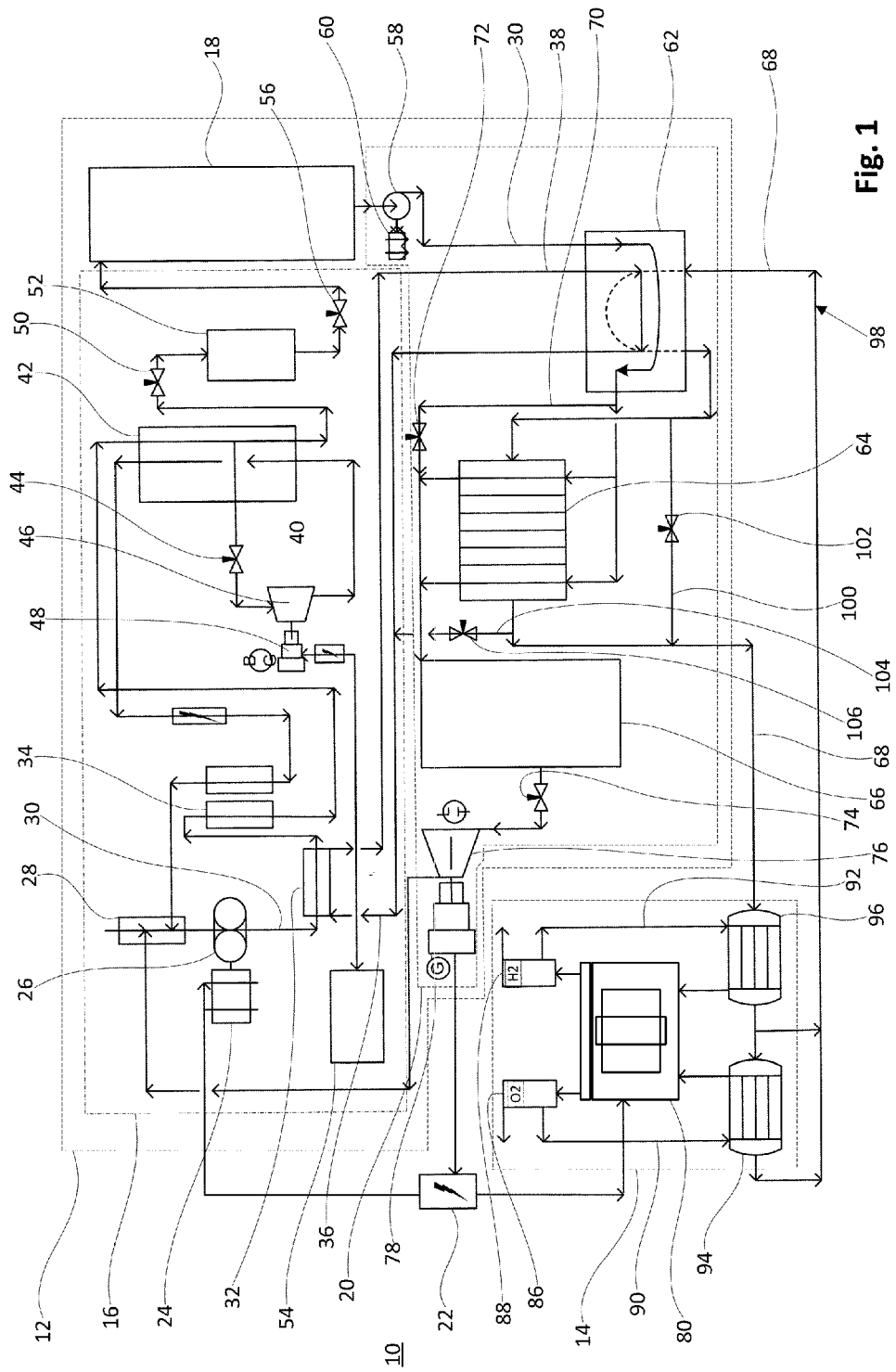


Fig. 1

