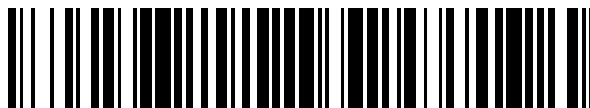


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 423 973**

21 Número de solicitud: 201200228

51 Int. Cl.:

F02C 6/16

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

23.02.2012

43 Fecha de publicación de la solicitud:

25.09.2013

Fecha de la concesión:

01.09.2014

45 Fecha de publicación de la concesión:

08.09.2014

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2013/000061

73 Titular/es:

PREXTOR SYSTEMS, S.L. (100.0%)

Avda. Blas Infante, 6

41011 SEVILLA (Sevilla) ES

72 Inventor/es:

RUIZ DEL OLMO, Fernando

54 Título: **Tecnología caes de ciclo combinado (CCC)**

57 Resumen:

Tecnología CAES de ciclo combinado (CCC).

Se trata de un sistema que almacena energía en base a la compresión de aire atmosférico y su confinamiento en tanques o cavernas, que combina el ciclo termodinámico seguido por el aire atmosférico (ciclo Brayton) con otro ciclo termodinámico que se hace seguir a un fluido auxiliar, que se encuentre encerrado en la caverna dentro de una membrana, y al que se hace seguir dos tramos de un ciclo Rankine, uno durante el proceso de compresión y entrada de aire a la caverna y el otro durante el proceso de salida de aire y turbinado, aprovechándose el calor residual de los propios gases de escape de la turbina de aire comprimido como fuente de calor del ciclo Rankine del fluido auxiliar, y pudiéndose utilizar los tanques o cavernas para realizar en ellos un calentamiento a volumen constante del aire comprimido y/o del fluido auxiliar.

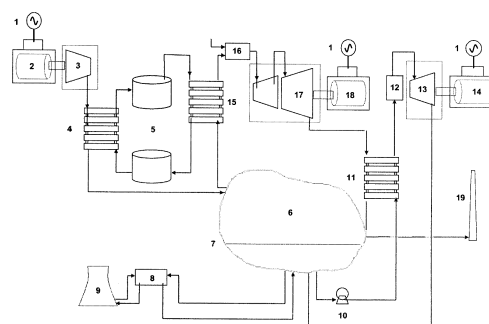


Figura 1

ES 2 423 973 B1

TECNOLOGÍA CAES DE CICLO COMBINADO (CCC)

DESCRIPCIÓN

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un sistema que ha sido especialmente concebido para almacenar energía mediante la compresión de aire atmosférico y su confinamiento en tanques ó cavernas, de tal modo que se consigan mejorar de forma significativa los rendimientos globales obtenidos con la tecnología actual y se reduzcan de forma importante los requerimientos de volumen de los tanques ó cavernas.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La tecnología CAES consiste en almacenar energía en base al almacenamiento de aire atmosférico comprimido. Cuando existe un excedente de energía en la red eléctrica, se hace trabajar un compresor, que comprime aire atmosférico hasta una determinada presión, consumiendo la energía excedente de la red eléctrica. El aire comprimido resultante es almacenado en una caverna natural, mina abandonada ó domo salino (no es posible utilizar un tanque a presión debido a las enormes dimensiones que debe tener y a las elevadas presiones que debe soportar si se pretenden almacenar cantidades importantes de energía).

Para dejar almacenada la energía hasta que suba la demanda, simplemente basta con dejar cerrada la caverna mediante una válvula de corte. Cuando finalmente la red eléctrica demanda más energía, se abre la válvula y se da salida al aire a presión, que se utiliza para accionar una turbina y generar energía eléctrica.

Construir plantas con esta tecnología puede resultar mucho más viable

5 económicamente que construir centrales de bombeo reversible, el sistema de almacenamiento de energía a gran escala más extendido que existe en la actualidad. Pero el gran problema de la tecnología CAES son los bajos rendimientos que se consiguen alcanzar, lo que se traduce en una escasa viabilidad de la explotación de las plantas. De hecho, aunque es una tecnología desarrollada hace más de treinta años, tan sólo existen dos plantas CAES operando en el mundo en la actualidad.

10 Además, las enormes exigencias en cuanto a volumen de las cavernas y presiones a soportar reducen drásticamente el abanico de ubicaciones posibles para este tipo de plantas, quedando restringido, tal como se ha explicado, a lugares donde existan cavernas naturales, minas abandonadas ó domos salinos.

15 Es complicado encontrar cavernas naturales ó minas abandonadas que se encuentren disponibles, de manera que las dos plantas CAES que operan en la actualidad han sido construídas utilizando domos salinos. Esto conlleva una serie de problemas adicionales como son la imposibilidad de aislar térmicamente las cavernas (la excavación se realiza por disolución de las sales a través de un pozo de unos 600 m de profundidad), ó los elevados niveles de contaminación que
20 presenta el aire al salir de la caverna.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

25 La solución a estos inconvenientes consiste en combinar el ciclo termodinámico seguido por el aire atmosférico (ciclo Brayton) con otro ciclo termodinámico que se hace seguir a un fluido auxiliar, que se encuentre encerrado en la misma caverna dentro de una membrana, y cuyo volumen se haga variar, permitiendo así la entrada y salida de aire atmosférico comprimido en la caverna.

30 Existen multitud de ciclos a los que puede ser sometido el fluido auxiliar que pueden ser viables y que supongan una variación importante del volumen del fluido auxiliar. Por ejemplo, se puede hacer seguir al fluido auxiliar dos tramos de un ciclo Rankine, uno durante el proceso de compresión y entrada de aire a la

caverna y el otro durante el proceso de salida de aire y turbinado, de tal manera que:

- 5 - los estados iniciales y finales de cada uno de los tramos se encuentren a la misma presión
- 10 - el estado inicial durante el proceso de compresión y entrada de aire a la caverna coincida con el estado final durante el proceso de vaciado y turbinado del aire, y sea un estado de muy baja densidad, esto es, vapor sobrecalentado, vapor saturado ó vapor húmedo con título alto
- 15 - el estado final durante el proceso de compresión y entrada de aire a la caverna coincida con el estado inicial durante el proceso de vaciado y turbinado del aire, y sea un estado de muy alta densidad, esto es, líquido subenfriado, líquido saturado ó vapor húmedo con título bajo
- 20 - durante los períodos en los que se produce la compresión y entrada / salida y turbinado del aire de la caverna el fluido auxiliar sale de la membrana, recorre su tramo de ciclo Rankine correspondiente, y vuelve a entrar en la membrana, en un proceso continuo que hace que el fluido auxiliar encerrado en la membrana tenga un volumen total decreciente / creciente, consiguiéndose así permitir la entrada de aire en la caverna / desplazar al aire para que salga de la caverna
- 25 - durante los períodos en los que el aire se deja almacenado en la caverna por un lado y en los que la caverna se queda vacía de aire por otro el fluido auxiliar se encuentra almacenado en la membrana en su estado final correspondiente al tramo de ciclo Rankine que recorrió anteriormente

30

Según lo expuesto, el ciclo Rankine seguido por el fluido auxiliar puede tener múltiples disposiciones. A modo de ejemplos, el foco frío del ciclo Rankine se puede situar bien a la temperatura a la que se almacena el fluido auxiliar, con lo que el tramo que recorrerá el fluido auxiliar durante el proceso de compresión y
35 entrada de aire en el tanque ó caverna es precisamente el paso por el

condensador, o bien a una temperatura menor, para conseguir optimizar el rendimiento energético, aunque a costa de tener que realizar tramos de turbinado en los momentos en los que sobra energía eléctrica en la red (es decir, durante el proceso de compresión y llenado de aire de la caverna).

5

Al coincidir las presiones de los estados iniciales y finales de ambos tramos del ciclo Rankine, e irse reduciendo gradualmente el volumen que ocupa el fluido auxiliar en la membrana durante el proceso de compresión y llenado de aire de la caverna y aumentando durante el proceso de salida de aire y turbinado, las operaciones de llenado y vaciado de la caverna de aire se realizan a presión constante, lo que conlleva una mejora de los rendimientos de las turbinas y los compresores por un lado y una drástica reducción de los requerimientos de volumen de las cavernas por otro lado.

15

Estas reducciones en los requerimientos de volumen de las cavernas se traducen en que va a resultar viable excavar las cavernas mediante voladura en roca dura, en lugar de tener que ir a excavaciones por disolución de sales en domos salinos. Este hecho, además de ampliar de una forma muy importante el abanico de ubicaciones posibles para las plantas CAES, va a permitir también por un lado que las plantas sean viables con potencias nominales mucho menores (la excavación por disolución de sales en domos salinos sólo resulta viable si se hace para grandes volúmenes), y por otro que las cavernas se puedan aislar térmicamente. Igualmente, incluso va a dejar de ser absolutamente impensable el utilizar tanques a presión en lugar de cavernas.

25

Así pues, va a ser posible realizar el almacenamiento del aire a temperaturas elevadas y utilizar agua ó fluidos orgánicos como fluido auxiliar, ya que, dado el proceso llevado a cabo en una planta CAES, mientras mayor sea la temperatura a la que se realice el almacenamiento del aire mayor será el rendimiento global del sistema. Además, esto permitirá utilizar focos fríos naturales para el condensador como el agua ó el aire atmosférico.

30

De este modo, el resultado es la combinación de un ciclo Brayton (el seguido por el aire) con un ciclo Rankine (el seguido por el fluido auxiliar). Esta disposición permite, además, la utilización del calor residual a la salida de la turbina del ciclo

35

Brayton para regasificar y calentar el fluido auxiliar y seguir su ciclo Rankine.

5 A todo este proceso, que constituye la base de la invención, lo hemos denominado "Tecnología CAES de Ciclo Combinado", o bien "Tecnología CCC", y, tal como se ha descrito, constituye un proceso con una eficiencia en todos los sentidos mucho mayor que la tecnología CAES convencional. Con la tecnología CCC se consiguen múltiples objetivos:

- 10 - optimizar los rendimientos energéticos de la planta
- optimizar los requerimientos de volumen de los tanques ó cavernas necesarios para almacenar el aire
- 15 - ampliar el rango de ubicaciones posibles para las plantas CAES
- posibilitar la operación a temperaturas elevadas
- trabajar con aire limpio de impurezas

20

La tecnología CCC abre las puertas a múltiples combinaciones posibles para conseguir optimizaciones más finas de los rendimientos energéticos. Por ejemplo, se puede utilizar el calor de los gases de salida de la turbina del aire comprimido como fuente de calor para otro ciclo Rankine adicional, que opere con el propio fluido auxiliar o bien con otros fluidos orgánicos.

25

Por otro lado, y dados los avances tecnológicos que han sido desarrollados en cuanto a materiales para aislamientos térmicos, es posible fabricar membranas adiabáticas, que, además de ser flexibles y de separar el aire comprimido del fluido auxiliar, consigan mantener una diferencia de temperaturas entre ambos. Esto permitirá almacenar el aire a temperaturas incluso mayores que las del fluido auxiliar, y, por lo tanto, podrá llegarse a pensar en comprimirlo en una sola etapa, sin refrigeraciones intermedias, y almacenarlo a la propia temperatura que adquiere tras su compresión. Este proceso requiere un mayor aporte energético,

30

35

pero ello no supone ningún inconveniente porque este aporte energético se ha de realizar en los momentos en los que sobra energía en la red eléctrica y se requiere que sea almacenada, es decir, que en realidad este proceso lo que va a significar es que nuevamente se van a conseguir reducir de forma muy importante los requerimientos de volumen de los tanques ó cavernas, ya que la energía almacenada por unidad de volumen será mayor.

La gran ventaja de este proceso es que a la hora de turbinar el aire no va a ser necesario volverlo a calentar, consiguiéndose un incremento espectacular del rendimiento energético del sistema.

El hecho de realizar la compresión y el turbinado en una etapa permite además poder utilizar la misma máquina para realizar ambas funciones, al igual que en las centrales de bombeo reversible.

Pero es que, además de todas las ventajas que han sido expuestas, la tecnología CCC cuenta con otras ventajas adicionales, que la hacen superar en cuanto al proceso de generación eléctrica en ella contenido a muchos otros procesos de generación eléctrica en general:

- debido a que están dimensionados para soportar las presiones de trabajo, permite utilizar los tanques ó cavernas para realizar en ellos un calentamiento adicional del aire comprimido y/o del fluido auxiliar a volumen constante, es decir, utilizar los tanques ó cavernas como calderas, pero con la gran ventaja frente a las calderas convencionales de que resisten las presiones de trabajo y tienen el volumen suficiente como para poder realizar el calentamiento a volumen constante en ellas, incrementándose de esta forma el rendimiento energético de una forma espectacular
- es perfectamente hibridable con las energías renovables e incluso con la energía nuclear

Existen otras disposiciones interesantes para la tecnología CCC:

- realizar el proceso a la inversa, almacenando el aire comprimido en el interior de la membrana, quedando el fluido auxiliar en el exterior de la membrana, con lo que pueden conseguirse ventajas desde el punto de vista mecánico, debido a las diferentes densidades del aire y el fluido auxiliar, y de éste mismo en sus diferentes estados
- utilizar un tanque ó caverna auxiliar para almacenar el fluido auxiliar cuando se encuentra en estado líquido, estando el fluido auxiliar encerrado también en dicho tanque ó caverna auxiliar en una membrana, y existiendo en el exterior de la misma aire en las condiciones en las que se almacena en el tanque ó caverna principal, de tal modo que se traspasa a la misma durante el llenado del tanque ó caverna auxiliar y se traspasa en sentido opuesto durante el vaciado, consiguiéndose de esta manera mantener también constante la presión del tanque ó caverna auxiliar en todo momento, y permitiéndose un calentamiento a volumen constante diferenciado del aire y del fluido auxiliar durante el período en que el aire está almacenado en la caverna, esto es, durante el período previo a su extracción y turbinado
- en el caso anterior de trabajar con un tanque ó caverna auxiliar, se pueden realizar los almacenamientos del fluido auxiliar en dos estados a presiones diferentes del ciclo Rankine que se le hace seguir, aprovechando la existencia de dos tanques ó cavernas, pudiéndose por ejemplo hacer coincidir el tramo a recorrer por el fluido auxiliar durante la compresión y entrada de aire al tanque ó caverna con el paso por el condensador más el bombeo, consumiendo de esta forma la energía en la bomba en los períodos en los que existe un excedente de energía eléctrica en la red
- utilizar el calor desprendido en el condensador del ciclo Rankine como fuente de calor para otro ciclo Rankine adicional, que opere con el propio fluido auxiliar a otras presiones o bien con agua u otros fluidos orgánicos

- 5 - utilizar el calor desprendido en el condensador del ciclo Rankine como fuente de calor para otro ciclo Rankine adicional, que opere con el propio fluido auxiliar a otras presiones o bien con agua u otros fluidos orgánicos, y cuyo fluido sea almacenado en un nuevo tanque ó caverna auxiliar aislado térmicamente para ser turbinado durante los momentos de fuerte demanda en la red eléctrica
- 10 - almacenar el calor desprendido en el condensador del ciclo Rankine y/o el desprendido en las refrigeraciones intermedias de los compresores mediante un sistema de almacenamiento térmico para poder ser utilizado posteriormente como fuente de calor precalentar el aire que sale de la caverna de forma previa al turbinado, regasificar el fluido auxiliar y/o para otro ciclo Rankine adicional, que opere con el propio fluido auxiliar a otras presiones o bien con agua u
- 15 otros fluidos orgánicos durante los momentos de fuerte demanda en la red eléctrica

20 **DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

25 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se aportan dos figuras en las que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

30 La figura 1.- Muestra un esquema del proceso de una de las disposiciones posibles de una planta de tecnología CCC con almacenamiento del aire en las mismas condiciones de presión y temperatura en las que se almacena el agua, y con un sistema de almacenamiento térmico del calor generado durante la compresión del aire atmosférico

La figura 2.- Muestra un esquema del proceso de una de las

disposiciones posibles de una planta de tecnología CCC con membranas adiabáticas y almacenamiento del aire a temperatura superior de la que se almacena el agua

5

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

10 A continuación van a ser expuestos dos modos de realización preferente de la invención, pues ambas disposiciones pueden tener una importante proyección en el mercado:

MODO 1: Funcionamiento con equilibrio de temperaturas

15 En la Figura 1 se representa, con carácter ilustrativo y no limitativo, un modo de realización preferente de la invención, que consiste en almacenar la energía de la red eléctrica (1) mediante una planta de tecnología CCC, en la que, durante los periodos en los que existe un excedente de energía eléctrica en la red que se desea almacenar, se acciona el motor eléctrico (2) que hace girar al compresor
20 (3), que capta aire atmosférico y lo comprime adiabáticamente en una etapa hasta una presión en torno a 40 bar y a la temperatura resultante, en torno a los 550 °C.

Este aire comprimido se hace circular por un intercambiador de calor (4), donde cede calor a un sistema de almacenamiento de calor (5), por ejemplo
25 mediante dos tanques de almacenamiento de sales fundidas a diferentes temperaturas, quedando a la salida en unas condiciones de 250 °C de temperatura y una presión igual a la presión de vapor del agua correspondiente a dicha temperatura (en torno a 39,75 bar).

30 La compresión del aire podría haber sido realizada igualmente en varias etapas, con refrigeraciones intermedias y traspasos de calor al sistema de almacenamiento de calor (5).

Posteriormente el aire comprimido es circulado hasta una caverna artificial (6),

que ha sido excavada mediante la voladura de roca dura, y cuyas paredes se encuentran aisladas térmicamente por el interior. La caverna artificial se encontraba llena inicialmente de agua en estado de vapor saturado en las mismas condiciones de presión y temperatura que las que tiene el aire comprimido (250 °C y en torno a 39,75 bar).

En la entrada de aire a la caverna artificial existe una membrana impermeable (7), flexible y capaz de resistir temperaturas de trabajo de 250 °C, como por ejemplo de teflón flexible. Esta membrana se encuentra inicialmente completamente plegada y dejando todo el espacio al agua en estado de vapor saturado que rellena la caverna artificial por completo, tal como se ha explicado.

Conforme va entrando el aire en la membrana, ésta va desplazando al agua en estado de vapor saturado, que va saliendo de la caverna artificial y va siendo circulada hacia el condensador (8), donde es licuada a presión y temperatura constantes, hasta convertirse en líquido saturado en las mismas condiciones de presión y temperatura. El condensador (8) puede ser refrigerado por una torre de refrigeración (9), como aparece en la Figura 1, o bien, dada la elevada temperatura a la que trabaja, el calor desprendido en el mismo puede ser almacenado en el sistema de almacenamiento de calor (5) o utilizado como fuente de calor para un ciclo Rankine auxiliar que opere con agua a bajas temperaturas ó con un fluido orgánico.

El agua en estado líquido saturado es reconducida nuevamente hacia la caverna artificial, compartiendo espacio con el agua en estado vapor saturado restante, pero ocupando mucho menor espacio que cuando se encontraba en estado de vapor saturado, y permitiendo de esta forma que la membrana se vaya llenando del aire a 250 °C y en torno a 39,75 bar proveniente de los compresores.

El proceso continúa hasta que la membrana se llena completamente de aire y el agua en estado de vapor saturado se ha transformado completamente a líquido saturado, o bien hasta que exista una demanda en la red eléctrica que haga preferible dejar de almacenar la energía. En este momento se procede a cerrar las válvulas de entrada y salida de la caverna artificial, y se dejan el aire y el agua almacenados en la caverna, con la planta CCC totalmente parada, sin consumir ni

generar energía eléctrica.

La planta se mantiene inactiva hasta que la demanda de energía eléctrica en la red sea de tal magnitud que se requiera su puesta en marcha para generar energía eléctrica. Entonces se comienza a extraer el agua en estado líquido saturado de la caverna, impulsándola en la bomba (10) hacia un intercambiador de calor (11) y una caldera posterior (12) donde el agua es regasificada y calentada hasta convertirla en estado vapor en unas condiciones elevadas de presión y temperatura, para hacerla pasar entonces por una turbina de vapor (13), que acciona un alternador (14) que genera energía eléctrica y la devuelve a la red eléctrica (1).

El agua se encuentra de nuevo a la salida de la turbina de vapor en estado vapor saturado a unos 39,75 bar y 250 °C, siendo reconducida nuevamente hacia la caverna.

Al entrar nuevamente en la caverna, el agua en estado vapor saturado ocupa mucho más volumen que antes, y va desplazando al aire que se encuentra encerrado en la membrana, que va saliendo de la caverna artificial y siendo calentado en un intercambiador de calor (15), que toma el calor del sistema de almacenamiento de calor (5), y posteriormente en una caldera (16), para ser finalmente turbinado en la turbina (17), que podría ser la misma máquina que el compresor (3) funcionando en sentido inverso, y que acciona el alternador (18), produciendo energía eléctrica e inyectándola en la red eléctrica (1).

Los gases de escape de la turbina (17), que poseen una energía térmica importante, son utilizados en primer lugar para regasificar el fluido auxiliar y calentarlo a través del intercambiador de calor (11), y posteriormente para enviarlos a la chimenea de salida (19), para almacenarlos en el sistema de almacenamiento térmico (5) ó para hacer de foco caliente en un ciclo Rankine auxiliar que opere con agua a bajas temperaturas ó con un fluido orgánico.

Este proceso continúa hasta que se produzca una caída en la demanda de la red eléctrica que justifique la parada ó hasta que la caverna artificial se vacíe completamente de aire y se encuentre completamente llena de agua en estado

vapor saturado.

5 A partir de aquí, nuevamente se procede a cerrar las válvulas de entrada y salida de la caverna artificial y la planta se mantiene inactiva hasta que se produzca un excedente de energía eléctrica en la red que haga necesario almacenarla, comenzándose a realizar de nuevo el ciclo completo descrito, y repitiéndose todo este proceso indefinidamente.

10 Aquí se ha supuesto, a modo de ejemplo, el trabajo con lámina de teflón flexible a 250 °C y a una presión en torno a 39,75 bar, que es la presión de vapor del agua a esa temperatura. Pero perfectamente se pueden utilizar otros materiales, como las láminas de acero flexibles, que son capaces de operar a temperaturas mucho mayores, siendo también impermeables al aire y al vapor de agua y siendo también flexibles. Así pues, es perfectamente posible reproducir
15 otros modos de realización preferente de la invención siguiendo un proceso similar pero operando a mayores temperaturas y a la presión de vapor correspondiente del agua a dichas temperaturas.

20 Tal como ha sido explicado en el apartado "Descripción de la Invención", a mayores presión y temperatura de trabajo mayores serán los rendimientos globales obtenidos, y estas condiciones máximas de presión y temperatura vendrán determinadas por la resistencia de los tanques ó cavernas, por los materiales empleados y por los aislamientos térmicos disponibles en cada momento.

25

MODO 2: Funcionamiento con membranas adiabáticas

30 En la Figura 2 se representa, con carácter ilustrativo y no limitativo, otro modo de realización preferente de la invención, que consiste en almacenar la energía de la red eléctrica (1) mediante una planta de tecnología CCC, en la que, durante los períodos en los que existe un excedente de energía eléctrica en la red que se desea almacenar, se acciona el motor eléctrico (2) que hace girar al compresor (3), que capta aire atmosférico y lo comprime adiabáticamente en una etapa hasta
35 una presión en torno a 60 bar y a la temperatura resultante, en torno a los 650 °C.

El aire comprimido es circulado hasta una caverna artificial (6), que ha sido excavada mediante la voladura de roca dura, y cuyas paredes se encuentran aisladas térmicamente por el interior. La caverna artificial se encontraba llena
5 inicialmente de agua en estado de vapor saturado a 60 bar y a la temperatura correspondiente para que dicha presión sea la presión de vapor del agua, es decir, en torno a unos 275 °C.

En la entrada de aire a la caverna artificial existe una membrana impermeable
10 (7), flexible, aislante térmicamente y capaz de resistir temperaturas de trabajo de al menos 650 °C por el lado del aire y 275 °C por el lado del agua, fabricada por ejemplo a modo de sándwich con una manta cerámica en el interior y sendas láminas de acero flexibles en el exterior. Esta membrana se encuentra inicialmente completamente plegada y dejando todo el espacio al agua en estado
15 de vapor saturado que rellena la caverna artificial por completo, tal como se ha explicado.

Conforme va entrando el aire en la membrana, ésta va desplazando al agua en estado de vapor saturado, que va saliendo de la caverna artificial y va siendo
20 circulada hacia el condensador (8), donde es licuada a presión y temperatura constantes, hasta convertirse en líquido saturado a 60 bar y 275 °C. El condensador (8) puede ser refrigerado por una torre de refrigeración (9), como aparece en la Figura 2, o bien, dada la elevada temperatura a la que trabaja, el calor desprendido en el mismo puede ser almacenado en un sistema de
25 almacenamiento de calor o utilizado como fuente de calor para un ciclo Rankine auxiliar que opere con agua a bajas temperaturas ó con un fluido orgánico.

El agua en estado líquido saturado es reconducida nuevamente hacia la caverna artificial, compartiendo espacio con el agua en estado vapor saturado
30 restante, pero ocupando mucho menor espacio que cuando se encontraba en estado de vapor saturado, y permitiendo de esta forma que la membrana se vaya llenando del aire a 60 bar y 650 °C proveniente del compresor (3).

El proceso continúa hasta que la membrana se llena completamente de aire y

el agua en estado de vapor saturado se ha transformado completamente a líquido saturado, o bien hasta que exista una demanda en la red eléctrica que haga preferible dejar de almacenar la energía. En este momento se procede a cerrar las válvulas de entrada y salida de la caverna artificial, y se dejan el aire y el agua almacenados en la caverna, con la planta CCC totalmente parada, sin consumir ni generar energía eléctrica.

La planta se mantiene inactiva hasta que la demanda de energía eléctrica en la red sea de tal magnitud que se requiera su puesta en marcha para generar energía eléctrica. Entonces se comienza a extraer el agua en estado líquido saturado de la caverna, impulsándola en la bomba (10) hacia un intercambiador de calor (11) y una caldera posterior (12) donde el agua es regasificada y calentada hasta convertirla en estado vapor en unas condiciones elevadas de presión y temperatura, para hacerla pasar entonces por una turbina de vapor (13), que acciona un alternador (14) que genera energía eléctrica y la devuelve a la red eléctrica (1).

El agua se encuentra de nuevo a la salida de la turbina de vapor en estado vapor saturado a unos 60 bar y 275 °C, siendo reconducida nuevamente hacia la caverna.

Al entrar nuevamente en la caverna, el agua en estado vapor saturado ocupa mucho más volumen que antes, y va desplazando al aire que se encuentra encerrado en la membrana, que va saliendo de la caverna artificial y siendo calentado en la caldera (16) y turbinado en la turbina (17), que bien podría ser el compresor (3) funcionando en sentido inverso, y accionando el alternador (18) y produciendo energía eléctrica que se inyecta en la red eléctrica (1).

Los gases de escape de la turbina (17), que poseen una energía térmica importante, son utilizados en primer lugar para regasificar el fluido auxiliar y calentarlo a través del intercambiador de calor (11), y posteriormente para enviarlos a la chimenea de salida (19), para almacenarlos en un sistema de almacenamiento térmico ó para hacer de foco caliente en un ciclo Rankine auxiliar que opere con agua a bajas temperaturas ó con un fluido orgánico.

Este proceso continúa hasta que se produzca una caída en la demanda de la red eléctrica que justifique la parada ó hasta que la caverna artificial se vacíe completamente de aire y se encuentre completamente llena de agua en estado vapor saturado.

5

A partir de aquí, nuevamente se procede a cerrar las válvulas de entrada y salida de la caverna artificial y la planta se mantiene inactiva hasta que se produzca un excedente de energía eléctrica en la red que haga necesario almacenarla, comenzándose a realizar de nuevo el ciclo completo descrito, y repitiéndose todo este proceso indefinidamente.

10

Los valores indicados de presiones y temperaturas en ambos modos de realización preferente de la invención que han sido expuestos son aproximados y meramente orientativos, pues han sido calculados de forma aproximada, suponiendo procesos ideales y sin tener en cuenta pérdidas.

15

Los valores de trabajo en las plantas reales dependerán de los procesos reales y de las condiciones de operación que resulten admisibles en función de la resistencia de los tanques ó cavernas y de los aislamientos térmicos disponibles.

20

En ambos modos de realización se ha supuesto que se trabaja con agua en estados vapor y líquido saturado, aunque se pueden diseñar los sistemas para trabajar en zonas de vapor húmedo, vapor sobrecalentado ó líquido subenfriado.

REIVINDICACIONES

- 5 *1ª.- La tecnología CAES (es decir, tecnología para almacenar energía en base al almacenamiento de aire atmosférico comprimido en una caverna) de ciclo combinado, caracterizada por combinar el ciclo termodinámico seguido por el aire atmosférico (ciclo Brayton) con otro ciclo termodinámico que se hace seguir a un fluido auxiliar, que se encuentre encerrado en la misma caverna dentro de una membrana, y cuyo volumen se haga variar, permitiendo así la entrada y salida de*
- 10 *aire atmosférico comprimido en la caverna*
- 15 *2ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicación 1, caracterizada por que en la misma se haga seguir al fluido auxiliar dos tramos de un ciclo Rankine, uno durante el proceso de compresión y entrada de aire a la caverna y el otro durante el proceso de salida de aire y turbinado, de tal manera que:*
- *los estados iniciales y finales de cada uno de los tramos se encuentren a la misma presión*
 - 20 - *el estado inicial durante el proceso de compresión y entrada de aire a la caverna coincida con el estado final durante el proceso de vaciado y turbinado del aire, y sea un estado de muy baja densidad, esto es, vapor sobrecalentado, vapor saturado ó vapor húmedo con título alto*
 - 25 - *el estado final durante el proceso de compresión y entrada de aire a la caverna coincida con el estado inicial durante el proceso de vaciado y turbinado del aire, y sea un estado de muy alta densidad, esto es, líquido subenfriado, líquido saturado ó vapor húmedo con título bajo*
 - 30 - *durante los períodos en los que se produce la compresión y entrada / salida y turbinado del aire de la caverna el fluido auxiliar sale de la membrana, recorre su tramo de ciclo Rankine correspondiente, y vuelve a entrar en la membrana, en un proceso continuo que hace que el fluido auxiliar encerrado en la membrana tenga un volumen total*

decreciente / creciente, consiguiéndose así permitir la entrada de aire en el tanque ó caverna / desplazar al aire para que salga del tanque ó caverna

- 5 - *durante los períodos en los que el aire se deja almacenado en el tanque ó caverna por un lado y en los que la caverna se queda vacía de aire por otro el fluido auxiliar se encuentra almacenado en la membrana en su estado final correspondiente al tramo de ciclo Rankine que recorrió anteriormente*

10

3ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada porque en ella el foco frío del ciclo Rankine se sitúa a la temperatura a la que se almacena el fluido auxiliar

15

4ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada porque en ella el foco frío del ciclo Rankine se sitúa a una temperatura menor de la temperatura a la que se almacena el fluido auxiliar

20

5ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada por disponer aislamientos térmicos en el interior del tanque ó caverna, de tal modo que el almacenamiento del aire y del fluido auxiliar puede ser realizado a temperaturas elevadas

25

6ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada por utilizar el calor de los gases de salida de la turbina del aire comprimido como fuente de calor para regasificar y calentar el fluido auxiliar y hacerlo seguir su ciclo Rankine

30

7ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada por utilizar el calor de los gases de salida de la turbina del aire comprimido como fuente de calor para otro ciclo Rankine adicional, que opere con el propio fluido auxiliar o bien con otros fluidos orgánicos

35

8ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada por disponer de membranas adiabáticas, que además de

ser flexibles y separar el aire comprimido del fluido auxiliar consiguen mantener una diferencia de temperaturas entre ambos

5 9ª.- *La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicación 8, caracterizada por disponer de membranas adiabáticas fabricadas a modo de sándwich, con una manta de material aislante térmico en el interior y sendas láminas de material impermeable, flexible y resistente a las temperaturas de operación en el exterior*

10 10ª.- *La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones 8 y 9, caracterizada por realizar la compresión del aire en una sólo etapa, sin refrigeraciones intermedias, y almacenarlo a la propia temperatura que adquiere tras su compresión*

15 11ª.- *La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicación 9, caracterizada por utilizar la misma máquina como compresor y como turbina del aire, cambiando el sentido de giro del rotor*

20 12ª.- *La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada por realizar un calentamiento del aire comprimido y/o del fluido auxiliar a volumen constante dentro de los tanques ó cavernas, es decir, utilizar los tanques ó cavernas como calderas*

25 13ª.- *La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada por almacenar el aire comprimido en el interior de la membrana, quedando el fluido auxiliar en el exterior de la membrana*

30 14ª.- *La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada por utilizar un tanque ó caverna auxiliar para almacenar el fluido auxiliar cuando se encuentra en estado líquido, estando el fluido auxiliar encerrado también en dicho tanque ó caverna auxiliar en una membrana, y existiendo en el exterior de la misma aire en las condiciones en las que se almacena en el tanque ó caverna principal, de tal modo que se traspasa a la misma durante el llenado del tanque ó caverna auxiliar y se traspasa en sentido opuesto durante el vaciado, consiguiéndose de esta manera mantener también*

35

constante la presión del tanque ó caverna auxiliar en todo momento, y permitiéndose un calentamiento a volumen constante diferenciado del aire y del fluido auxiliar durante el período en que el aire está almacenado en la caverna, esto es, durante el período previo a su extracción y turbinado

5

15ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicación 14, caracterizada por realizar los almacenamientos del fluido auxiliar en dos estados a presiones diferentes del ciclo Rankine que se le hace seguir, aprovechando la existencia de dos tanques ó cavernas

10

16ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada por utilizar el calor desprendido en el condensador como fuente de calor para otro ciclo Rankine adicional, que opere con el propio fluido auxiliar o bien con otros fluidos orgánicos

15

17ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicación 16, caracterizada por almacenar el fluido del ciclo Rankine adicional en un nuevo tanque ó caverna auxiliar aislado térmicamente para ser turbinado durante los momentos de fuerte demanda en la red eléctrica

20

18ª.- La tecnología CAES de ciclo combinado, según reivindicaciones anteriores, caracterizada por almacenar el calor desprendido en el condensador del ciclo Rankine y/o el desprendido en las refrigeraciones intermedias de los compresores y/o el residual del aire tras ser turbinado y aprovechado para otros usos mediante un sistema de almacenamiento térmico para poder ser utilizado posteriormente como fuente de calor precalentar el aire que sale de la caverna de forma previa al turbinado, regasificar el fluido auxiliar y/o para otro ciclo Rankine adicional, que opere con el propio fluido auxiliar a otras presiones o bien con agua u otros fluidos orgánicos durante los momentos de fuerte demanda en la red eléctrica

25

30

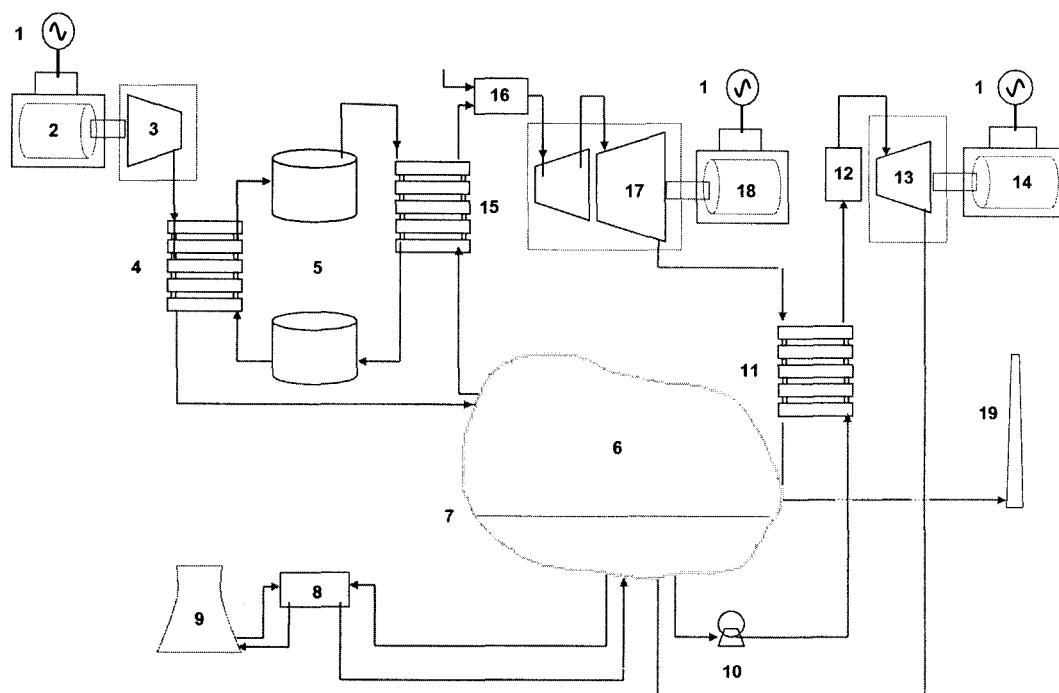


Figura 1

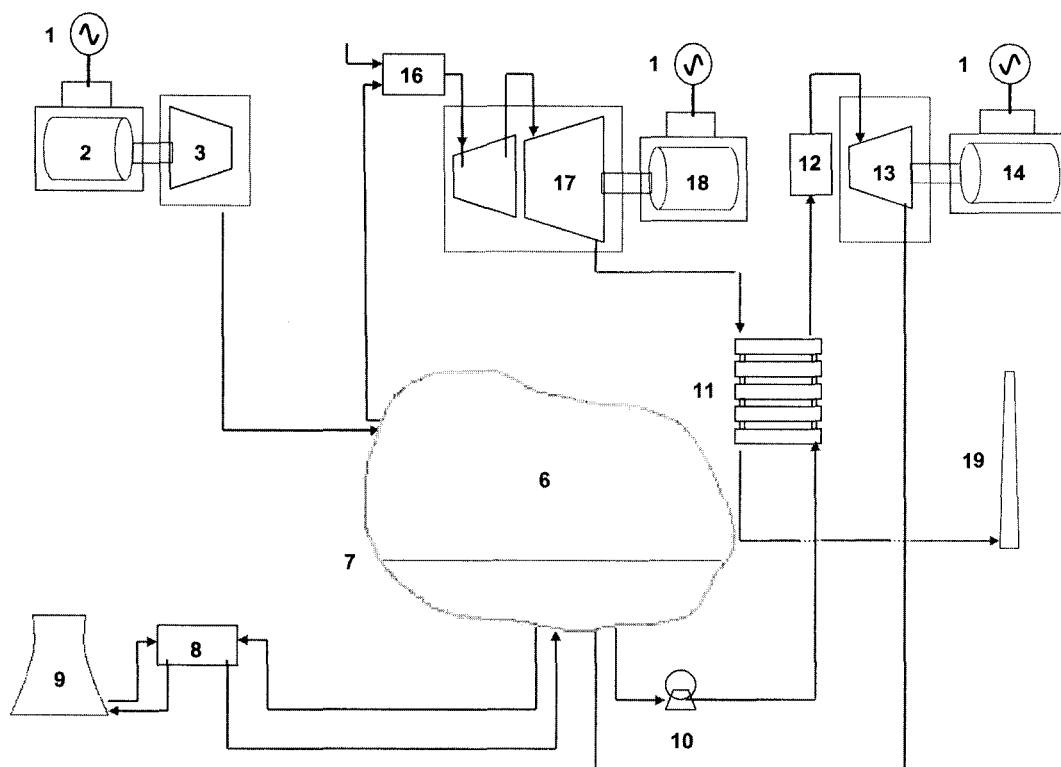


Figura 2