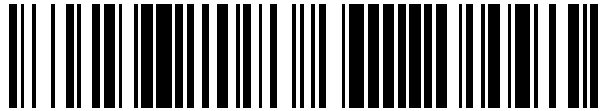


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 572 657**

51 Int. Cl.:

**F03G 7/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2010 E 10827783 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.03.2016 EP 2500565**

54 Título: **Sistema de almacenamiento de energía con aire supercrítico**

30 Prioridad:

**09.11.2009 CN 200910237029**  
**18.11.2009 CN 200910225252**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.06.2016**

73 Titular/es:

**INSTITUTE OF ENGINEERING THERMOPHYSICS,  
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES (100.0%)  
11 Beisihuanxi Road Haidian District  
Beijing 100190, CN**

72 Inventor/es:

**CHEN, HAISHENG;  
TAN, CHUNQING;  
LIU, JIA;  
XU, YUJIE y  
YANG, ZHENG**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 572 657 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 de almacenamiento de energía con aire supercrítico

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere en general al almacenamiento de energía y, en particular, a un sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico.

**Antecedentes**

10 Se necesitan urgentemente sistemas de almacenamiento de energía eléctrica (AEE) por la industria de generación de electricidad convencional. A diferencia de otros mercados de materias primas prósperos, las industrias de generación de electricidad convencional tienen poco o ningún componente de almacenamiento. Los sistemas de transmisión y distribución de electricidad son operados para el transporte simple sobre la marcha desde centrales de producción grandes y remotas hasta los consumidores. Esto significa que la electricidad debe siempre ser consumida precisamente cuando es producida. Sin embargo, la demanda de electricidad varía considerablemente de manera repentina, diaria y estacional y la máxima demanda puede durar sólo unas pocas horas cada año. Esto conduce a centrales ineficientes, sobredimensionadas y caras. El AEE permite que la producción de energía sea desacoplada de su suministro, autogenerada o comprada. Teniendo una capacidad de almacenamiento de electricidad a gran escala disponible en cualquier momento, los planificadores de los sistemas necesitarían construir sólo capacidad de generación suficiente para satisfacer la demanda eléctrica media más bien que las demandas pico. Esto es particularmente más importante para sistemas de generación con grandes instalaciones, por ejemplo centrales nucleares, las cuales deben operar cerca de la capacidad total por razones económicas. Por lo tanto, el AEE puede proporcionar beneficios sustanciales que incluyen adaptación a la carga, generación en horas de máximo consumo y reserva en espera. También, proporcionando capacidad de reserva disponible y una carga repartida, el AEE puede incrementar la eficiencia neta de fuentes térmicas de generación de energía al tiempo que se reducen las emisiones nocivas.

25 De manera más importante, los sistemas de AEE son críticamente importantes para los sistemas de suministro de energías renovables intermitentes, tales como sistemas solar fotovoltaico, turbinas eólicas y de energía de las olas. La penetración de las fuentes renovables puede desplazar cantidades significativas de energía producida por las grandes centrales convencionales. No obstante, la intermitencia y no controlabilidad son características inherentes a los sistemas de generación de electricidad basados en las energías renovables, los cuales hacen el suministro de energía inestable, incluso inutilizable. Tales desventajas se han convertido en barreras u obstáculos para la utilización extensiva de las fuentes de energías renovables, la industria de la electricidad verde. Un AEE adecuado podría, obviamente, proporcionar una solución esencial para lidiar con la intermitencia de las fuentes renovables y la impredecibilidad de su potencia generada puesto que los excedentes podrían ser almacenados durante los períodos en los que la generación intermitente excede la demanda y, luego, ser usados para cubrir períodos en los que la carga es mayor que la generación.

35 Además, se considera al AEE como una tecnología imperativa para el sistema de recursos de energía distribuido (DER) en el futuro próximo. A diferencia del sistema de producción de energía convencional que tiene unidades grandes centralizadas, los DERs son usualmente instalados en el nivel de distribución, cerca de los lugares de utilización, y generan energía típicamente en un rango pequeño de unos pocos kW hasta unos pocos MW. El DER se considera una alternativa sostenible, eficiente, fiable y respetuosa con el medio ambiente, al sistema de energía convencional. El sistema de recursos de energía está experimentando el cambio a ser una mezcla de subsistemas centralizados y distribuidos con una penetración cada vez más elevada de sistemas DER debido a la menor capacidad y posibilidad más elevada de fallo de línea que el sistema de producción de energía convencional. El AEE se identifica como una solución clave para compensar la flexibilidad de energía producida y proporcionar suministro de energía ininterrumpible en caso de caída de tensión instantánea de tales redes de energía distribuida.

45 Actualmente, la tecnología de almacenamiento de energía eléctrica incluye hidrobombeo, almacenamiento de energía en aire comprimido, baterías secundarias, sistema de almacenamiento de energía por superconducción magnética, volantes de inercia, condensadores, etc. Sin embargo, sólo el bombeo de agua y el almacenamiento de energía en aire comprimido han sido utilizados comercialmente en la actualidad a gran escala, teniendo en consideración la capacidad, duración del almacenamiento de la energía, la densidad de energía, la eficiencia carga-descarga, vida útil, costes de operación y efectos medioambientales.

55 El método de hidrobombeo bombea agua desde un depósito a nivel inferior hasta un depósito a nivel superior convirtiendo energía eléctrica en energía potencial durante el período fuera de pico y, más tarde, el agua almacenada en el nivel elevado es liberada a través de una turbina hidráulica para generar energía eléctrica durante períodos de demanda eléctrica alta. El hidrobombeo es el sistema de almacenamiento de energía eléctrica más ampliamente usado con ventajas de una técnica madura, elevada eficiencia (70%), gran capacidad y un período de almacenamiento de energía ilimitado. No obstante, el hidrobombeo tiene muchas restricciones por requerir condiciones geográficas especiales para construir dos depósitos y presas, su largo período de construcción, inversión inicial enorme y, lo que es más importante, da lugar a problemas ecológicos y de inmigración que resultan de la elevación de agua que inunda vegetación, incluso ciudades, propia de la construcción del depósito.

El almacenamiento de energía en aire comprimido tradicional se basa en la tecnología de turbinas de gas. El aire es comprimido en un recipiente de almacenamiento de aire con la energía eléctrica convirtiéndose en energía potencial durante períodos de baja demanda de energía (fuera de pico) y, más tarde, se libera el aire a alta presión, se calienta mediante una cámara de combustión y se expande a través de una turbina para producir electricidad. El sistema almacenamiento de energía en aire comprimido tiene varias ventajas: capacidad de almacenamiento de energía elevada, período de almacenamiento de energía largo, eficiencia elevada (50%-70%) y coste de la unidad comparativamente bajo. El sistema de almacenamiento de energía en aire comprimido tradicional, el cual no puede usarse solo, tiene que ser combinado sólo con una central de producción de energía con turbina de gas, más bien que con otros tipos, tales como central térmica de carbón, central nuclear, central eólica o central solar. Como resultado, no es apropiado para la estrategia energética de China, la cual aboga por centrales térmicas de carbón más bien que centrales térmicas de gasóleo o gas. Además, el sistema de almacenamiento de energía en aire comprimido depende todavía de combustibles fósiles, los cuales no sólo contaminan el ambiente con emisiones de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y dióxido de carbono, sino que afronta la presión del agotamiento de los combustibles fósiles y el precio creciente de los combustibles de origen fósil. El problema más importante es que un recipiente de almacenamiento de aire a gran escala construido para su baja densidad de energía requiere una condición geográfica estricta, tal como cuevas en la roca, minas de sal y minas abandonadas, que limitan el rango de aplicación de los sistemas de almacenamiento de energía en aire comprimido. En la técnica anterior, tal como en la solicitud de patente internacional publicada como WO2005/056994, se divulga que una planta de almacenamiento de aire puede ser integrada con una central con turbina de vapor por medio de intercambiadores de calor. Aunque las eficiencias de ambas plantas del documento WO2005/056994 puede ser mejorada, el aire comprimido es almacenado aún en estado gaseoso con baja densidad de energía y, de este modo, la planta de almacenamiento opera aún de una manera limitada.

En los últimos años, se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre Almacenamiento de energía en aire comprimido (CAES), tal como almacenamiento de energía en aire comprimido en recipiente de superficie (SVCAES), almacenamiento de energía en aire comprimido adiabático avanzado (AACAES) y almacenamiento de aire comprimido con humidificación (CASH), para eliminar la dependencia del CAES de los combustibles fósiles, uno de los mayores problemas del CAES. Sin embargo, la densidad de energía del CAES se hace menor debido al no uso de combustible fósil. Es necesario encontrar un método para superar la densidad de energía baja y la dificultad de la implantación del CAES y suscitar un uso ampliamente efectivo del CAES.

El documento de patente internacional WO 2007/096656 se considera como la técnica anterior más cercana a la materia objeto de la reivindicación 1.

### Resumen de la invención

La presente invención se ha hecho para superar o aliviar al menos un aspecto de los problemas o desventajas anteriores.

El propósito de esta invención es proporcionar un sistema de almacenamiento de energía eléctrica que usa aire supercrítico. Teniendo en consideración las características particulares del aire supercrítico, la presente invención se ha hecho para resolver el problema principal del sistema CAES y el sistema de almacenamiento de energía novedoso es adecuado para diferentes tipos de centrales de generación de energía.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de almacenamiento de energía eléctrica que usa aire supercrítico, que comprende: una unidad de compresor, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío, una válvula estranguladora, un tanque criogénico, una válvula, una bomba criogénica, una unidad de expansor, un generador, una unidad de accionamiento y una pluralidad de tuberías; en el que

la unidad de compresor incluye, al menos, un compresor de baja presión y, al menos, un compresor de alta presión, estando los compresores conectados en serie o integrados en un compresor multietapa, estando conectada una entrada de cada uno de los compresores de baja presión a un conducto de aspiración de aire;

la unidad de expansor incluye, al menos, un expansor de baja presión y, al menos, un expansor de alta presión, estando conectados los expansores en serie o integrados en un expansor multietapa, estando conectada una salida de los expansores de baja presión a un conducto de salida de aire;

un árbol de accionamiento de la unidad de accionamiento está acoplado a un árbol arrastrado de la unidad de compresor y un árbol arrastrado del generador está acoplado a un árbol de accionamiento de la unidad de expansor;

los compresores de baja presión y los compresores de alta presión están conectados al dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor por vía de las tuberías y respectivamente;

el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor, el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío y el tanque criogénico están conectados mediante tuberías en secuencia;

la válvula estranguladora está provista en la tubería;

la válvula y la al menos una bomba criogénica están dispuestas en la tubería con la válvula aguas arriba de la bomba criogénica en la dirección del flujo del fluido de aire;

el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor está conectado a los expansores de baja presión y a los expansores de alta presión mediante las tuberías, respectivamente;

- 5 se provee una tubería de evacuación para descargar escoria en la parte inferior del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío.

El proceso completo se describe como sigue:

10 Cuando se está almacenando energía, la unidad de compresor que consta de los compresores de baja presión y los compresores de alta presión, accionados por la unidad de accionamiento, comprime el aire hasta un estado supercrítico. Al mismo tiempo, el calor de compresión es almacenado en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2); el aire supercrítico entra en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío en donde es enfriado hasta una temperatura suficientemente baja, entonces pasa a través de una válvula estranguladora para producir una corriente de vapor húmedo, en la cual hay aire líquido en una gran mayoría y entonces es almacenado en el tanque criogénico. Cuando se está recuperando energía, el aire líquido es bombeado hasta el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío en donde es calentado a una presión constante y se convierte en un fluido supercrítico. Al mismo tiempo, se recupera energía fría, entonces el aire supercrítico que viene desde el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío pasa a través del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor para incrementar más la temperatura y entonces se expande a través de una unidad de expansor que consta de expansores de baja presión y alta presión, para accionar un generador eléctrico.

20 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, la unidad de accionamiento es un motor o una turbina eólica; la electricidad usada para accionar el motor es producida mediante uno o más de las instalaciones de generación siguientes: central de combustible fósil, central nuclear y centrales eólicas, solares, hidroeléctricas, mareomotrices.

25 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, la fase de almacenamiento de operación ocurre durante periodos de demanda energética baja, suministro de energía renovable excesivo y producción de energía renovable de baja calidad; y la fase de recuperación de operación ocurre durante periodos de demanda energética elevada, accidente eléctrico y amplias fluctuaciones de salida de energía renovable.

30 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor incluye una tubería de transferencia conectada con una fuente de calor externa.

35 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, los procesos de compresión y enfriamiento comprenden, además, limpieza y purificación del aire para extraer impurezas sólidas y gaseosas del aire; las unidades de limpieza y purificación, las cuales no se muestran solas, están integradas en la unidad de compresor y el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío.

De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, si la cantidad de dióxido de carbono, vapor de agua y argón que es necesario extraer del aire es muy pequeña, las unidades de limpieza y purificación pueden ser un filtro.

40 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, la relación de compresión global de la unidad de compresor está entre 38 y 340; cuando la unidad de compresor consta de múltiples compresores, los compresores están montados sobre un único árbol en serie o sobre varios árboles en paralelo; cuando los compresores están conectados en paralelo, los árboles de accionamiento y los árboles arrastrados están conectados mediante una conexión desmontable; el aire comprimido descargado de cada etapa de la unidad de compresor fluye a través del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor.

45 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, la relación de expansión global de la unidad de expansor está entre 38 y 340, y la presión de descarga del expansor de la etapa final está cerca de la presión atmosférica; cuando la unidad de expansor consta de múltiples expansores, los expansores están montados sobre un único árbol en serie o sobre varios árboles en paralelo; cuando los expansores están conectados en paralelo, los árboles de accionamiento y los árboles arrastrados están conectados mediante una conexión desmontable; el aire de aspiración a cada etapa de la unidad de expansor fluye a través del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor para intercambio de calor.

De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, los tipos de compresores de la unidad de compresor pueden ser: alternativo, axial, centrífugo, tornillo o mezclados.

55 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, los tipos de expansores de la unidad de expansor pueden ser: alternativo, axial, centrípeto, tornillo o mezclados.

De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, cuando la unidad de compresor o la unidad de expansor constan de una pluralidad de compresores o una pluralidad de expansores, respectivamente, éstos están montados sobre un único o varios árboles.

- 5 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, un caudal de aire de aspiración de la unidad de compresor es mayor que el del aire de trabajo, en donde el exceso de caudal de aire es menos del 10% del caudal del aire de trabajo.

De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, el sistema comprende, además: otro dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor, el cual se combina con unos colectores solares mediante tuberías para formar un circuito de conversión de energía térmica.

- 10 Tuberías conectan el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor, los expansores de baja presión y los expansores de alta presión para formar un circuito de trabajo.

El proceso puede describirse como sigue:

- 15 Aire supercrítico del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor pasa en primer lugar a través del otro dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor y se calienta a alta temperatura, y entonces fluye a través de la tubería y se expende a través del expansor de alta presión para producir trabajo. Y de nuevo, aire que viene desde el expansor de alta presión se calienta pasando a través de la tubería, el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor, el otro dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor y la tubería en secuencia y, entonces, se expande a través del expansor de baja presión para entregar trabajo.

- 20 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, el calor almacenado en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor está en una o más formas de calor sensible, calor latente o energía química.

Los medios de almacenamiento de calor incluyen agua, parafina, biocombustible, sales hidratadas cristalinas inorgánicas, sal fundida, metales y sus aleaciones, ácidos grasos orgánicos, piedra, roca u hormigón, los cuales se almacenan en recipientes de almacenamiento bien aislados.

- 25 El dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor absorbe y almacena calor de compresión cuando se almacena la energía y usa el calor para elevar la temperatura del aire de aspiración de cada etapa de la unidad de expansor cuando la energía se recupera.

Calor residual se añade al dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor por vía de la tubería de transferencia en cualquier momento durante la recuperación o liberación de energía.

- 30 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, el aire supercrítico es enfriado hasta una temperatura entre 81 K y 150 K a través del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío en el cual el almacenamiento de energía fría está en una o dos formas de calor sensible y calor de cambio de fase sólido-líquido.

- 35 El medio de almacenamiento de frío sensible puede comprender uno o más seleccionados de entre los siguientes: bolas de hielo selladas, arena, grava, tiras de aluminio u otros metales; el medio de almacenamiento de frío de cambio de fase sólido-líquido puede incluir uno o más seleccionados de entre los siguientes: amoníaco, amoníaco acuoso, soluciones de sales en agua, alcanos, olefinas y sus compuestos, alcoholes y sus soluciones en agua, con sus temperaturas de transición de fase sólido-líquido que están en el rango de 81 K a 273 K, en donde el medio de almacenamiento de frío está almacenado en recipientes de almacenamiento bien aislados.

- 40 En el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío, el aire supercrítico o aire líquido intercambia calor directa o indirectamente con el medio de almacenamiento de frío.

El aire supercrítico es enfriado en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío cuando se almacena energía, y la energía fría producida en el proceso de gasificación del aire líquido a alta presión es almacenada en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío cuando la energía se recupera.

- 45 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, cuando el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío no proporciona suficiente energía fría, se añade el turbo-expansor o la válvula estranguladora para producir frío adicional; después de pasar a través de la válvula estranguladora, el aire enfriado es convertido desde un estado fluido a un estado de vapor húmedo en el que el aire líquido saturado es el componente principal y el vapor saturado restante es conducido de vuelta al dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío con el propósito de proporcionar compensación de energía fría.

- 50 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, el tanque criogénico es un tanque Dewar o un tanque de almacenamiento criogénico en el que se almacena aire líquido a presión atmosférica o a una presión de almacenamiento prefijada.

De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, la bomba criogénica puede ser: alternativa, centrífuga o mezcladas, en la cual el aire líquido es bombeado hasta una presión en el rango de 3,8 MPa a 34 MPa; la bomba criogénica puede incluir una pluralidad de bombas y éstas están dispuestas bien en serie o en paralelo.

- 5 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, cuando los productos de la separación del aire se producen, se instala un equipo de separación de aire y destilación, con una tubería (29) en su lado inferior, entre el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío y el tanque criogénico y éstos están conectados mediante tuberías (32, 33).

El proceso del sistema se describe como sigue:

- 10 El flujo de aire enfriado desde el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío fluye hasta el equipo de separación de aire y destilación para producir productos de aire, los productos gaseosos resultantes son extraídos a través de la tubería (29), y los líquidos refinados productos son entregados a través de la tubería y entonces almacenados en tanques criogénicos.

- 15 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, cuando el aire descargado del expansor de baja presión se usa para aire acondicionado y refrigeración, la temperatura de entrada y la relación de expansión del expansor de baja presión son controladas para regular la temperatura del aire B del lado de salida.

De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, cuando se almacena energía, la tasa de almacenamiento se controla regulando el caudal másico de aire de aspiración.

- 20 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, el paso de regular el caudal másico de aire de aspiración incluye al menos uno de los siguientes: variar la carga del compresor, arrancar y parar algunos compresores y regular la relación de compresión.

De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, cuando se recupera energía, la tasa de generación se controla regulando el caudal de líquido.

- 25 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, se almacena calor residual o calor solar en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor y se usa para calentar el aire supercrítico de aspiración de cada etapa de la unidad de expansor. La energía del calor residual o calor solar puede ser usada directamente para elevar la temperatura del aire supercrítico antes de cada etapa de la unidad de expansor.

- 30 De acuerdo con el sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico mencionado arriba, el calor residual viene de una central de producción, una industria cementera, una industria siderúrgica o una industria química. El calor residual es almacenado en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor y la energía de calor solar es almacenada en el otro dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor.

- 35 Hay varias ventajas de esta invención, que incluyen densidad de energía elevada, eficiencia elevada, ninguna necesidad de grandes recipientes de almacenamiento ni de condiciones geográficas especiales, adecuación para todas las clases de centrales de generación, respetuosa con el medio ambiente, capacidad de reciclar calor residual de baja a media temperatura y larga vida útil.

#### **Breve descripción de los dibujos**

- 40 La figura 1 es una vista esquemática de una primera realización del sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico;

La figura 2 es una vista esquemática de una segunda realización del sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico;

La figura 3 es una vista esquemática de una tercera realización del sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico;

- 45 La figura 4 es una vista esquemática de una cuarta realización del sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico;

#### **Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención**

- 50 El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de acuerdo con esta invención hace funcionar los compresores mediante el uso de electricidad a bajo coste en períodos fuera de pico para presurizar aire hasta el estado supercrítico (al mismo tiempo, se recupera calor de la compresión), y entonces enfría el aire supercrítico mediante la energía fría almacenada en un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor, y finalmente licua el aire supercrítico (almacenamiento de energía). Durante los períodos de pico, el aire líquido es bombeado

- 5 hasta el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor en donde el aire de trabajo es calentado a presión constante y se convierte en un fluido supercrítico (al mismo tiempo, se recicla y almacena energía fría), después de absorber el calor de compresión almacenado, el aire supercrítico se expande a través de una turbina para generar energía eléctrica (recuperación de energía). Debe notarse que el calor residual de plantas puede ser reciclado para aumentar la eficiencia del sistema. Debido a las características particulares del aire supercrítico, este sistema tiene las siguientes ventajas:
- 10 Densidad de energía elevada: el aire supercrítico y el aire líquido tienen una densidad de energía mucho más elevada que el aire gaseoso (por ejemplo, la densidad del aire líquido es alrededor de 800 veces más elevada que la del aire gaseoso a la presión normal). Bajo las mismas condiciones, la densidad de energía del sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico es un orden de magnitud mayor que el del CAES y dos órdenes de magnitud mayor que el sistema de almacenamiento de energía por hidrobombeo.
- 15 No se necesita un recipiente de almacenamiento grande: debido a la elevada densidad de energía, el volumen del tanque de aire es mucho menor que el del CAES convencional. Así, la inversión puede ser recortada y el período de construcción acortado. En particular, el presente sistema no depende de condiciones geográficas, lo cual supera la principal desventaja del CAES convencional.
- 20 Eficiencia elevada: debido a uso de los necesarios dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor y dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío, la eficiencia del sistema se estima en 65-70%, la cual es más elevada que la del CAES convencional.
- Flexibilidad de la duración del almacenamiento: actualmente, el tanque de almacenamiento en vacío a baja temperatura industrial convencional, frasco de Dewar, puede conservar permanentemente aire líquido a gran escala y su tasa de pérdidas diarias es menor de 0,005.
- Fácil aplicación con toda clase de centrales de producción: el sistema de almacenamiento de energía sólo intercambia electricidad con las centrales de producción mediante el uso del gas supercrítico y no interrumpe sus procesos internos de centrales de producción.
- 25 Respetuosa con el medio ambiente: el presente sistema de almacenamiento de energía no implica la combustión de combustibles fósiles, por lo tanto, no produce ninguna emisión nociva. Además, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y dióxido de carbono y otras sustancias nocivas pueden ser extraídos fácilmente durante el proceso de enfriamiento del aire supercrítico, contribuyendo de este modo a mejorar la calidad de la atmósfera.
- 30 Recuperación de calor residual: el presente sistema de almacenamiento de energía podría ser combinado con otras plantas industriales, tales como las plantas cementeras, plantas siderúrgicas y metalúrgicas y plantas químicas, para recuperar calor o almacenar energía de manera eficiente.
- 35 La figura 1 muestra una primera realización del sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico. El sistema incluye un compresor de baja presión 1, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2, un compresor de alta presión 3, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4, una válvula estranguladora 5, un tanque criogénico 6, una válvula 7, una bomba criogénica 8, una expansor de alta presión 9, un expansor de baja presión 10, un generador 11, una unidad de accionamiento 12 y aire A. El sistema puede comprender, además, una pluralidad de tuberías, tales como las denotadas por 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30 y 31.
- 40 En este ejemplo, la unidad de accionamiento 12 está conectada con los compresores 1 y 3 mediante un árbol de transmisión común y el generador 11 está conectado con los expansores 9 y 10 mediante un árbol de transmisión común. El compresor de baja presión 1 y el compresor de alta presión 3 están conectados al dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2 mediante las tuberías 13, 14 y 15, respectivamente. El aire A fluye al interior del sistema por una entrada del compresor de baja presión 1. El dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2, el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4 y el tanque criogénico 6 están conectados en secuencia mediante tuberías 16, 17, 18, 19, 30. En la tubería 30 se provee una válvula estranguladora 5 y en la tubería 31 se provee una bomba criogénica 8 y la válvula 7 que está situada aguas arriba de la bomba criogénica 8 a lo largo de la dirección del flujo de aire. El dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2 está conectado a un expansor de baja presión y un expansor de alta presión mediante las tuberías 20, 21 y 22, respectivamente. El gas evacuado desde el expansor de baja presión 10 es liberado a la atmósfera.
- 45 El dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2 incluye una tubería de transferencia 23 conectada con una fuente de calor externa. En la parte inferior del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4, se provee una tubería de evacuación 24 que permite que la escoria fluya hacia fuera.
- 50 Cuando se almacena energía, la electricidad de bajo coste en período fuera de pico se usa para alimentar al motor de accionamiento 12, el cual a su vez acciona la unidad de compresor. El aire A de atmósfera limpiado (no mostrado en la figura 1) en primer lugar es introducido y comprimido mediante el compresor de baja presión 1 y entonces fluye hasta el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2, por vía de la tubería 13, en el cual el aire

presurizado intercambia calor con el medio de almacenamiento térmico para almacenar el calor de compresión en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2. El aire enfriado es entonces conducido hasta el compresor de alta presión 3, por vía de la tubería 14, y comprimido en el mismo hasta el estado supercrítico, y entonces fluye hasta el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2, en el cual se almacena de nuevo el calor de compresión. El aire supercrítico enfriado hasta una cierta temperatura es dirigido a través de la tubería 16 y enfriado más hasta una temperatura baja en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4 mediante un medio de almacenamiento de frío. Finalmente, el aire a baja temperatura y alta presión que viene del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4 es estrangulado a través de la válvula estranguladora 5, en donde la gran mayoría de la corriente de aire se licua. Entonces el aire licuado se encausa y almacena en el tanque criogénico 6, en donde el resto de vapor saturado vuelve entonces al dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4 por vía de la tubería 17.

Cuando se recupera energía, la válvula 7 es abierta y el aire líquido del tanque criogénico 6 es bombeado hasta una cierta presión mediante la bomba criogénica 8. El fluido de trabajo fluye entonces hacia el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4 por vía de la tubería 18. En el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4, el aire líquido se gasifica intercambiando calor con el medio de almacenamiento de frío que hay en el mismo, y mientras tanto se almacena la energía fría. El aire supercrítico que fluye saliendo del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4 entra en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2, por vía de la tubería 19, y es calentado más en el mismo. El aire supercrítico calentado fluye entonces hacia el expansor de alta presión 9 y produce trabajo allí. El gas resultante del expansor de alta presión 9 pasa a través de la tubería 21, el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2 y la tubería 22 en secuencia y es calentado de nuevo. Entonces se expande en el expansor de baja presión 10 para entregar trabajo.

En general, los procesos de almacenamiento de energía y liberación de energía no operan simultáneamente. Durante el almacenamiento de energía, los compresores trabajan mientras los expansores y la bomba criogénica 8 están parados y la válvula 7 está cerrada, el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2 recupera y almacena calor de compresión para enfriar el aire. Al mismo tiempo, el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4 enfría el aire supercrítico hasta temperatura baja. De manera inversa, durante la liberación de energía, la válvula 7 es mantenida abierta y los expansores y la bomba criogénica 8 trabajan y el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4 recupera y almacena la energía fría del proceso de expansión mientras que los compresores están parados. Al mismo tiempo, el aire líquido a alta presión es calentado hasta un estado de temperatura supercrítica, el cual es calentado más mediante el calor de compresión recuperado en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2.

Además, puede introducirse calor externo en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2 por vía de la tubería 23. Las impurezas y contaminantes disociados en el proceso pueden ser descargados a través de tubería de evacuación 24 cuando el aire supercrítico es introducido en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4 y enfriado en el mismo.

La figura 2 muestra una segunda realización de la combinación del sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico con generación de energía eléctrica solar térmica de acuerdo con la presente solicitud. Esta realización es la misma que la primera realización, pero con la parte de conexión para los colectores solares. De acuerdo con la segunda realización, ésta incluye un compresor de baja presión 1, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2, un compresor de alta presión 3, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4, una válvula estranguladora 5, un tanque criogénico 6, una válvula 7, una bomba criogénica 8, una expansor de alta presión 9, un expansor de baja presión 10, un generador 11, un motor de accionamiento 12, otro dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor de alta temperatura 25 y aire A. Está provista, además, de tuberías 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 30 y 31.

El fluido a alta temperatura que viene desde el colector solar, fluye hacia el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor de alta temperatura 25 por vía de la tubería 26, libera su calor y luego fluye de vuelta al colector solar para completar un circuito. Mientras tanto, el aire supercrítico que viene del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2 es sobrecalentado hasta alta temperatura al fluir a través del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor de alta temperatura 25. Entonces, el aire sobrecalentado entra en el expansor de alta presión 9 por vía de la tubería 20 para producir trabajo. El aire de salida del expansor de alta presión 9 va a través de la tubería 21, el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2, el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor de alta temperatura 25 y la tubería 22 en secuencia para un intercambio de calor, entonces fluye hacia el expansor de baja presión 10 para entregar trabajo.

La figura 3 es una tercera realización mejorada con respecto a la figura 1, la cual es la misma que la primera realización, pero con el equipo de separación de aire y destilación adicional (en el cual está integrada la válvula 5). De acuerdo con la tercera realización, se incluye un compresor de baja presión 1, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2, un compresor de alta presión 3, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4, un tanque criogénico 6, una válvula 7, una bomba criogénica 8, una expansor de alta presión 9, un expansor de baja presión 10, un generador 11, un motor de accionamiento 12, un equipo de separación de aire 28, aire A y aire de salida B. Incluye tuberías 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 31, 32 y 33.



5 El fluido a baja temperatura fluye hasta el equipo de separación de aire 28 después de que ha sido enfriado hasta una cierta temperatura en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4. Los productos de la separación de aire, tales como oxígeno (O<sub>2</sub>), Argón (Ar), etc. son extraídos a través de la tubería 29, y el nitrógeno refinado es introducido en el tanque criogénico 6 por vía de la tubería 33. Además, la temperatura del aire B a la salida del expansor de baja presión 10 puede ser controlada regulando la temperatura de entrada y la relación de expansión del expansor de baja presión 10. Como resultado, el aire B puede ser usado para diferentes propósitos, tales como aire acondicionado y refrigeración.

10 La figura 4 muestra una cuarta realización mejorada de la combinación del sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico con una granja eólica de acuerdo con la presente solicitud, la cual es sustancialmente la misma que la primera realización, pero sin el motor de accionamiento. De acuerdo con la cuarta realización, ésta incluye un compresor de baja presión 1, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2, un compresor de alta presión 3, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío 4, una válvula estranguladora 5, un tanque criogénico 6, una válvula 7, una bomba criogénica 8, una expansor de alta presión 9, un expansor de baja presión 10, un generador 11, aire A, una electricidad de bajo coste en períodos fuera de pico C y un trabajo de compresión D. También incluye tuberías 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30 y 31.

20 En la cuarta realización, la energía eólica se usa directamente para accionar los compresores y no se necesita convertirla en electricidad. Las diferentes corrientes de aire comprimido son transferidas al dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2 por vía de tuberías respectivamente para almacenar calor de compresión en el mismo. Como la compresión ocurre en diferentes etapas y diferentes lugares, una porción del calor de compresión se disipa durante la transferencia del aire de trabajo. Una fuente de calor externa, tal como calor residual y calor recuperado, puede ser añadida al sistema de almacenamiento de energía por vía de la tubería 2 o calor adicional puede ser añadido al dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor 2 a través de calentamiento mediante uso de electricidad de períodos fuera de pico C.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico que comprende una unidad de compresión, un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2), un dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4), una válvula estranguladora (7), un tanque criogénico (6), una válvula estranguladora (5), al menos una bomba criogénica (8), una unidad de expansor (9, 10), un generador (11), una unidad de accionamiento (12) y una pluralidad de tuberías (13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30, 31),
- 5 la unidad de compresor (1, 3) incluye, al menos, un compresor de baja presión (1) y, al menos, un compresor de alta presión (3), estando los compresores conectados en serie o integrados en un compresor multietapa, estando conectada una entrada de cada uno de los compresores de baja presión a un conducto de aspiración de aire;
- 10 la unidad de expansor (9, 10) incluye, al menos, un expansor de baja presión (10) y, al menos, un expansor de alta presión (9), estando conectados los expansores en serie o integrados en un expansor multietapa, y estando conectada una salida del expansor de baja presión (10) a un conducto de salida de aire;
- 15 un árbol de accionamiento de la unidad de accionamiento está acoplado a un árbol arrastrado de la unidad de compresor y un árbol arrastrado del generador está acoplado a un árbol de accionamiento de la unidad de expansor; caracterizado por que
- los compresores de baja presión (1) y los compresores de alta presión (3) están conectados al dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2) por vía de las tuberías (13, 14, 15) respectivamente;
- el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2), el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4) y el tanque criogénico (6) están conectados por vía de tuberías (16, 17, 18, 19, 30) en secuencia;
- 20 se provee la válvula estranguladora (5) en la tubería (30) entre el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4) y el tanque criogénico (6);
- la válvula estranguladora (7) y la, al menos una, bomba criogénica (8) están situadas en la tubería (31) entre el tanque criogénico (6) y el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4) con la válvula estranguladora (7) estando dispuesta aguas arriba del tanque criogénico (6);
- 25 el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2) está conectado al expansor de baja presión (10) y al expansor de alta presión (9) mediante tuberías (20, 21, 22) respectivamente;
- se provee una tubería de evacuación (24) para descargar escoria en la parte inferior del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4), en el que:
- 30 durante el período de almacenamiento de energía, se usa electricidad para accionar la unidad de compresor y presurizar aire hasta un aire supercrítico y el calor de compresión es recuperado y almacenado en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2);
- el aire supercrítico es entonces introducido en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4) en donde es enfriado hasta una temperatura baja extrayendo el almacenamiento de frío del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4), y la corriente de aire enfriado se expande entonces por vía de la válvula estranguladora (5) en donde una gran mayoría de la corriente de aire se licua y almacena en el tanque criogénico (6);
- 35 durante el período de liberación de energía, se bombea aire líquido hasta el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4) en donde es calentado isobáricamente y se convierte en aire supercrítico, y al mismo tiempo, la energía fría contenida por el aire de trabajo es extraída y almacenada en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4);
- 40 el aire supercrítico es calentado más usando el calor de compresión almacenado en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2); y
- el aire calentado se expande a través de la unidad de expansor para accionar el generador eléctrico (11); en donde el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2) almacena el calor en forma(s) de uno o más de: calor sensible, calor latente y energía química;
- 45 los medios de almacenamiento de calor se seleccionan de uno o más de: agua, parafina, biocombustible, sales hidratadas cristalinas inorgánicas, sal fundida, metales y sus aleaciones, ácidos grasos orgánicos, piedra, roca y hormigón, los cuales se almacenan en recipientes de almacenamiento bien aislados; en el que
- 50 el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2) absorbe y almacena el calor de compresión durante el almacenamiento de energía y calienta el aire comprimido antes de que entre en cada etapa del expansor durante la liberación de energía;

- se suministra adicionalmente calor residual al dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2) por vía de la tubería (23) durante la liberación de energía; y en el que
- 5 el aire supercrítico es enfriado hasta una temperatura entre 81 K y 150 K a través del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4) en el cual se almacena frío en una o dos formas de calor sensible y calor de cambio de fase sólido-líquido;
- el medio de almacenamiento de frío sensible puede comprender uno o más materiales seleccionados de: bolas de hielo selladas, arena, grava, tiras de aluminio u otros metales;
- 10 el medio de almacenamiento de frío de cambio de fase sólido-líquido puede incluir uno o más materiales seleccionados de: amoníaco, amoníaco acuoso, soluciones de sales en agua, alcanos, olefinas y sus compuestos, alcoholes y sus soluciones en agua, con sus temperaturas de transición de fase sólido-líquido que están en el rango de 81 K a 273 K,
- el medio de almacenamiento de frío está almacenado en recipientes de almacenamiento bien aislados;
- en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4), el de trabajo que incluye el aire supercrítico o aire licuado intercambia calor directa o indirectamente con el medio de almacenamiento de frío;
- 15 el aire supercrítico es enfriado en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4) durante el almacenamiento de energía, mientras que la energía fría producida en el proceso de gasificación del aire líquido es almacenada en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4) durante la liberación de energía;
- 20 2. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de la reivindicación 1, caracterizado por que: la unidad de accionamiento (12) es una turbina eólica, o un motor eléctrico; el cual es accionado mediante la electricidad producida mediante uno o más de las instalaciones de generación siguientes: central de producción de combustible fósil, central nuclear y centrales de generación eólica, solar, hidroeléctrica, mareomotriz.
3. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de la reivindicación 1, caracterizado por que: el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2) incluye una tubería de transferencia (23) que comunica con otras fuentes de calor externas.
- 25 4. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de la reivindicación 1, caracterizado por que: en el que la relación de presión global de la unidad de compresor está entre 38 y 340;
- cuando la unidad de compresor consta de múltiples compresores, los compresores están montados sobre un único árbol en serie o sobre varios árboles en paralelo;
- 30 cuando los compresores están conectados en paralelo, los árboles de accionamiento y los árboles arrastrados están conectados mediante una conexión desmontable; el aire comprimido descargado de cada etapa de la unidad de compresor es enfriado en el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2).
5. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de la reivindicación 1, caracterizado por que: en el que la relación de expansión global de la unidad de expansor está entre 38 y 340, y la presión de descarga del expansor de la etapa final está cerca de la presión atmosférica;
- 35 cuando la unidad de expansor consta de múltiples expansores, los expansores están montados sobre un único árbol en serie o sobre varios árboles en paralelo; cuando los expansores están conectados en paralelo, los árboles de accionamiento y los árboles arrastrados están conectados mediante una conexión desmontable;
- el aire de entrada a cada etapa de la unidad de expansor es calentado a través del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2).
- 40 6. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 4, caracterizado por que: los tipos de compresores de la unidad de compresor son: alternativo, axial, centrífugo, tornillo o mezclados.
7. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 5, caracterizado por que: los tipos de expansores de la unidad de expansor son: alternativo, axial, centrípeto, tornillo o mezclados
- 45 8. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de la reivindicación 1, caracterizado por que: el sistema comprende, además: otro dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (25), el cual está conectado con unos colectores solares mediante tuberías (26, 27) para formar un circuito de generación de energía térmica; el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2), el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (25) adicional, el expansor de baja presión (10) y el expansor de alta presión (9) están
- 50

conectados mediante tuberías (20, 21, 22) en secuencia con el fin de formar un circuito de trabajo, en el que:

aire supercrítico que viene del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2) fluye en primer lugar a través del otro dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (25) y se calienta a alta temperatura, entonces es alimentado al expansor de alta presión (9) por vía de la tubería (20);

5 después de haber sido expandido en el expansor de alta presión (9) para producir trabajo, el aire de trabajo fluye a través de la tubería (21), el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (2), el otro dispositivo intercambiador y de almacenamiento de calor (25) y la tubería (22) en secuencia para calentamiento y, entonces, se expande en el expansor de baja presión (10) para producir trabajo.

9. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de la reivindicación 1, caracterizado por que:

10 se provee, además, un turbo-expansor de baja temperatura o una válvula estranguladora (5) para estrangular el aire presurizado para suministrar energía fría adicional cuando la energía fría no es suficiente; en donde el aire enfriado es convertido a un estado de vapor húmedo mediante estrangulamiento, en el cual el aire líquido saturado es el componente principal y el vapor saturado restante fluye de vuelta al dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4).

15 10. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de la reivindicación 1, caracterizado por que: la bomba criogénica (8) está configurada para ser: alternativa, centrífuga o mezcladas, en la cual el aire líquido es bombeado hasta una presión en el rango de 3,8 MPa a 34 MPa; cuando se usan múltiples bombas, éstas están dispuestas bien en serie o en paralelo.

11. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de la reivindicación 1, caracterizado por que:

20 una columna de separación de aire (28) con una tubería (29) en la parte inferior se provee entre el dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4) y el tanque criogénico (6) para producir productos de separación de aire, en el que:

25 la corriente de aire frío que viene del dispositivo intercambiador y de almacenamiento de frío (4) fluye hasta la columna de separación de aire (28) para producir productos de aire y los productos gaseosos resultantes son reciclados a través de la tubería (29) y el líquido refinado es entregado a través de la tubería (33) y entonces almacenado en el tanque criogénico (6).

30 12. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de la reivindicación 1 u 11, caracterizado por que: la temperatura de entrada y la relación de expansión del expansor de baja presión (10) son regulables para controlar la temperatura del aire a la salida de tal forma que el aire descargado del expansor de baja presión (10) puede usarse para aire acondicionado o refrigeración.

35 13. El sistema de almacenamiento de energía que usa aire supercrítico de la reivindicación 1, caracterizado por que: se almacena energía de calor residual o calor solar en los dispositivos intercambiadores y de almacenamiento de calor (2, 25) y se usa para calentar el aire de aspiración de cada etapa de la unidad de expansor, o se usa energía de calor residual o calor solar directamente para calentar el aire supercrítico antes de cada etapa de la unidad de expansor.

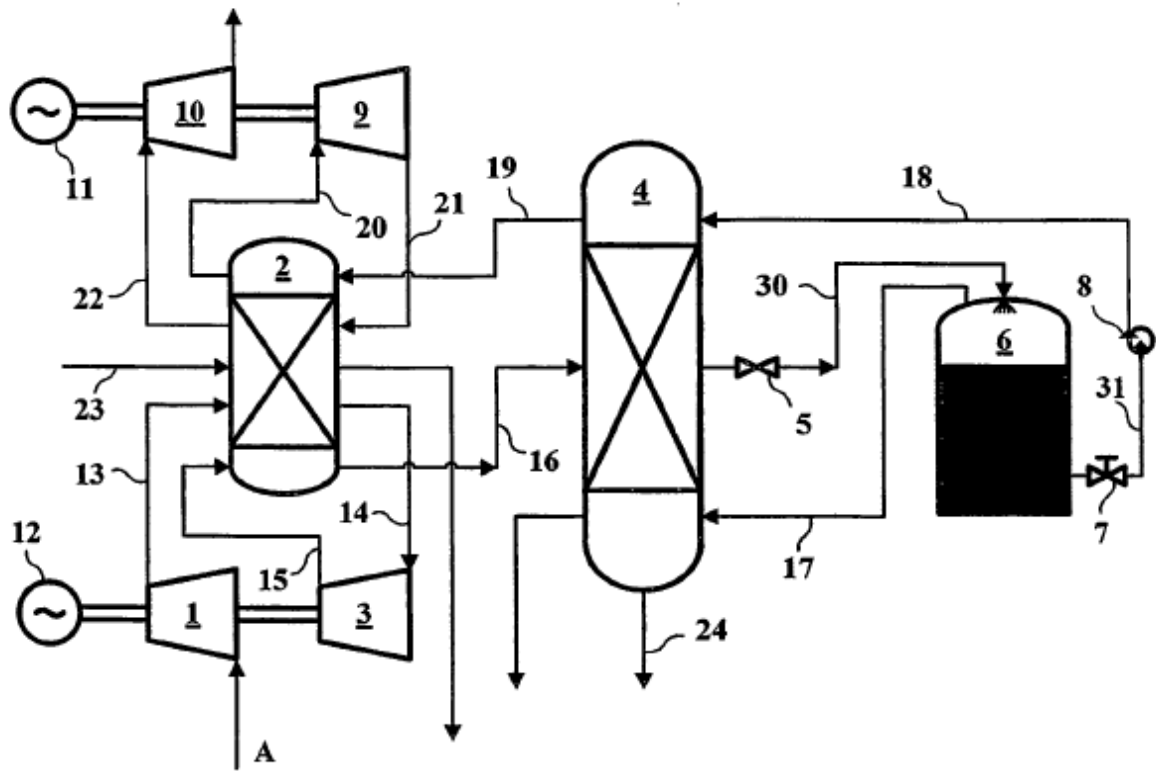


FIG. 1

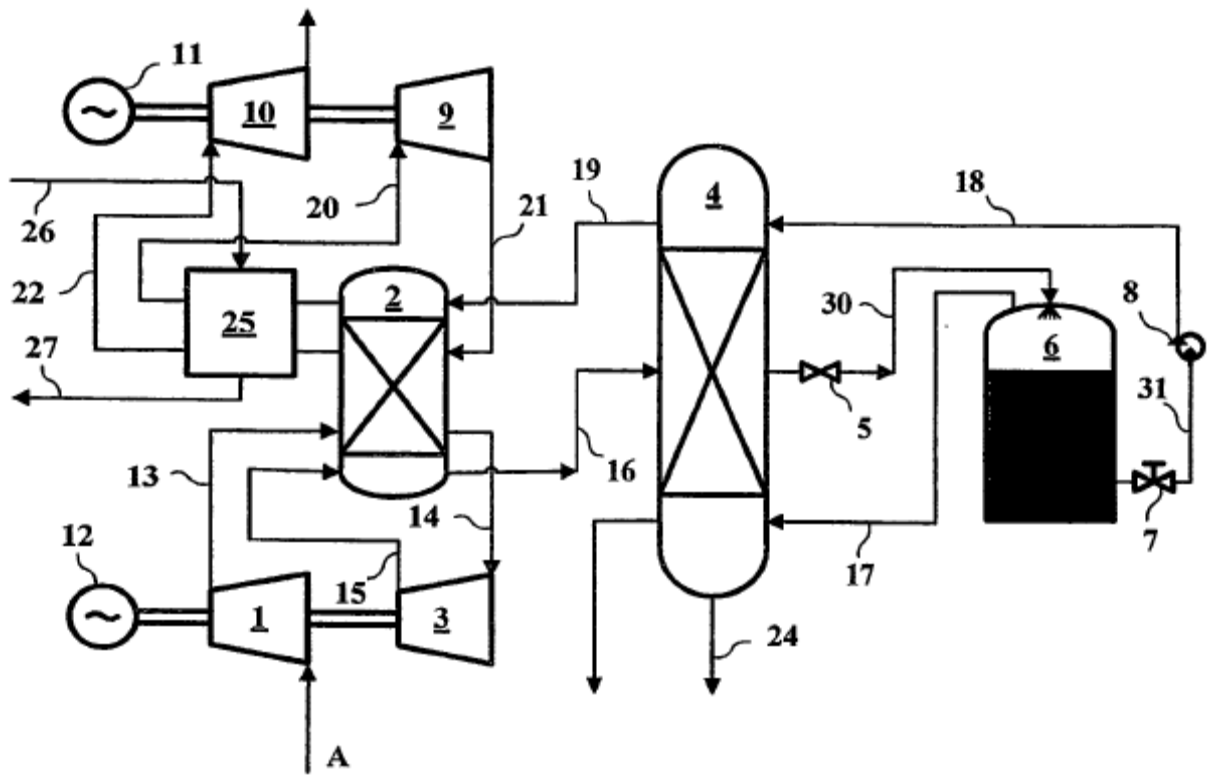


FIG. 2

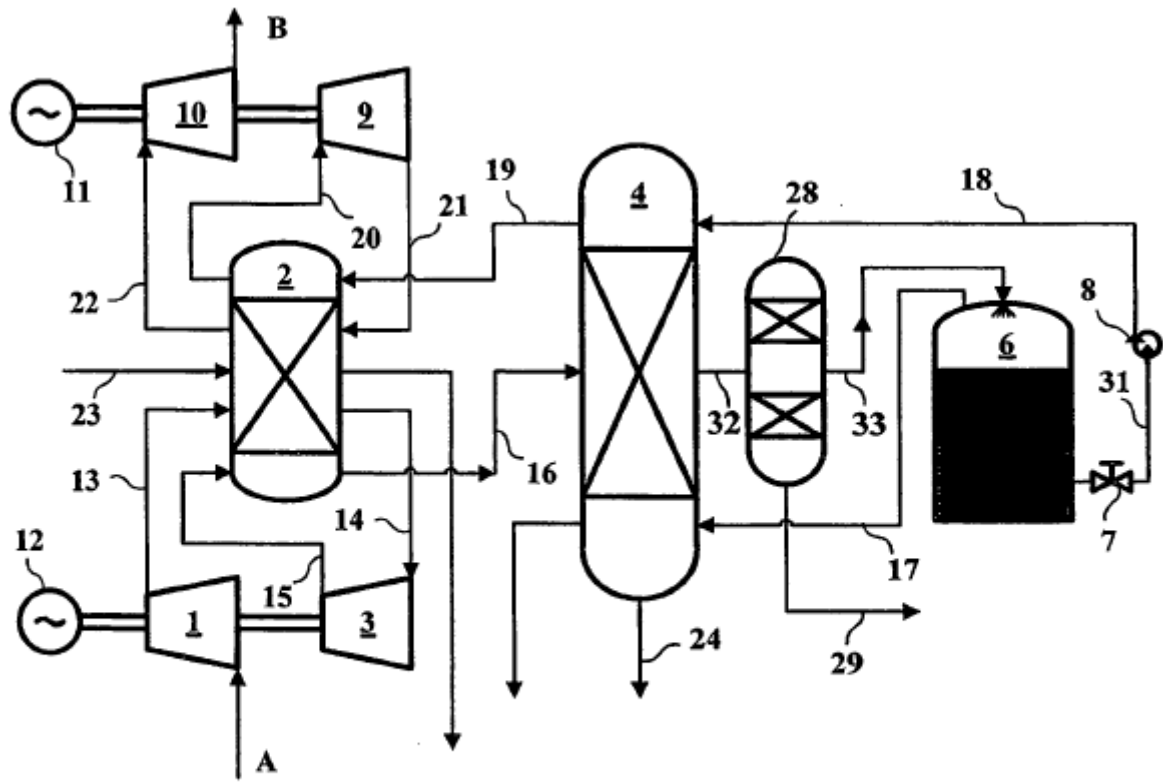


FIG. 3

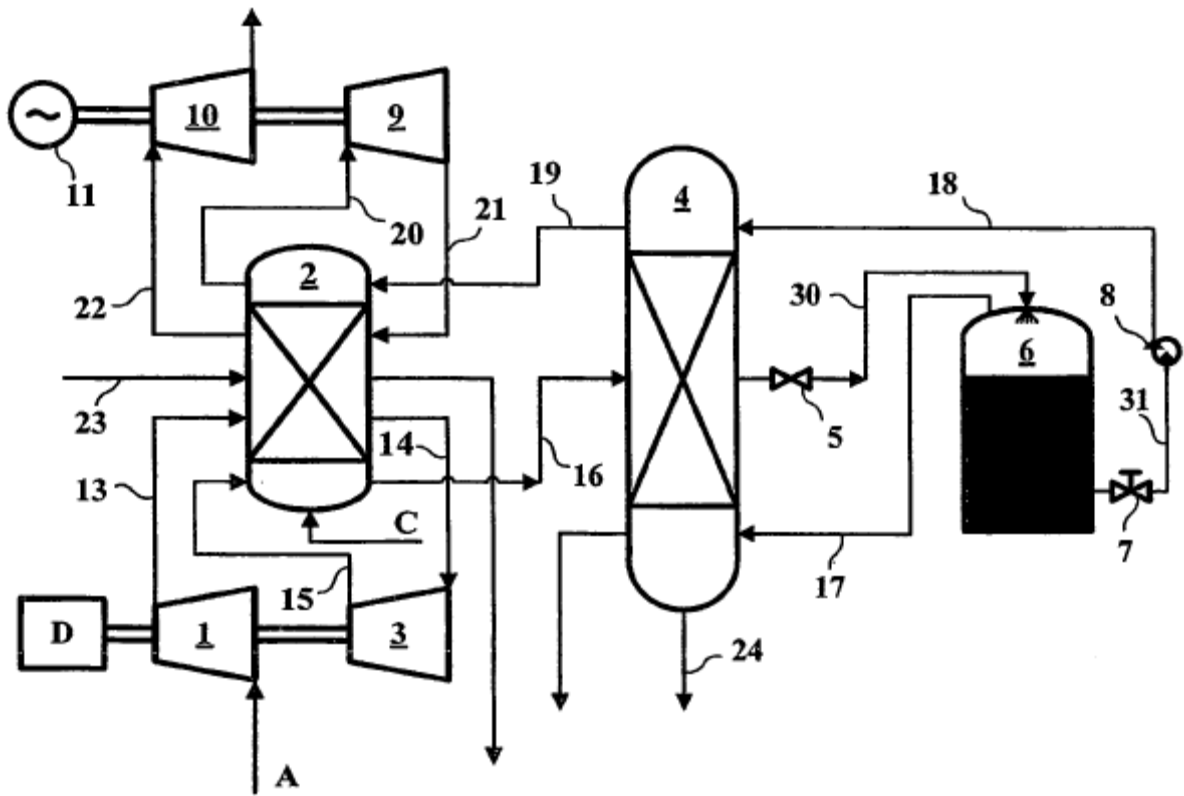


FIG. 4