

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 573**

51 Int. Cl.:

<b>F25J 1/00</b>	(2006.01)
<b>F01K 27/00</b>	(2006.01)
<b>F02C 3/22</b>	(2006.01)
<b>F01K 3/00</b>	(2006.01)
<b>F25J 1/02</b>	(2006.01)
<b>F01K 23/06</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2015 PCT/EP2015/000718**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.10.2015 WO15154863**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2015 E 15717091 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018 EP 3129613**

54 Título: **Proceso y planta para almacenar y recuperar energía**

30 Prioridad:

**11.04.2014 DE 102014005336**  
**03.06.2014 EP 14001925**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**21.11.2018**

73 Titular/es:

**mitsubishi hitachi power systems  
EUROPE GMBH (100.0%)  
Schifferstrasse 80  
47059 Duisburg, DE**

72 Inventor/es:

**ALEKSEEV, ALEXANDER;  
STILLER, CHRISTOPH;  
STÖVER, BRIAN y  
BERGINS, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**LLAGOSTERA SOTO, María Del Carmen**

ES 2 690 573 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**

Proceso y planta para almacenar y recuperar energía.

- 5 La presente invención se refiere a un proceso y una planta para almacenamiento y recuperación de energía, particularmente energía eléctrica.

Estado de la Técnica

- 10 Por ejemplo por los documentos DE 31 39 567 A1 y EP 1 989. 400 A1 se conoce la utilización de aire líquido o nitrógeno líquido, es decir productos de la licuefacción del aire profundamente enfriados utilizar en la regulación de la red y para la puesta a disposición de potencia de regulación en las redes eléctricas. EP 2. 397. 668 enseña el empleo de un regenerador para esta finalidad.

- 15 Para periodos de corriente barata o periodos de corriente sobrante se licúa por tanto aire en una planta de fraccionamiento de aire con un licuador integrado o en una planta específica de licuefacción, designada generalmente como unidad de acondicionamiento de aire, licuar total o parcialmente para dar un producto de licuefacción del aire de esta clase. El producto de licuefacción del aire se almacena en un sistema de tanques con tanques de baja temperatura. Este modo de operación se realiza en un periodo, que se designa aquí como periodo de almacenamiento  
20 de energía.

- En los periodos de carga punta se retira del sistema de tanques el producto de licuefacción del aire, se aumenta su presión por medio de una bomba y se calienta hasta aproximadamente la temperatura ambiente o mayor, y con ello se transforma en una forma gaseosa o estado supercrítico. Una corriente a presión obtenida de este modo se expande  
25 en una unidad de producción de energía en una turbina de expansión o varias turbinas de expansión con calentamiento intermedio hasta la presión ambiente. La potencia mecánica liberada con ello se transforma en energía eléctrica en uno o varios generadores de la unidad de producción de energía y se suministra a una red eléctrica. Este modo de operación se realiza en un periodo, que se designa en esta memoria como periodo de recuperación de energía.

- 30 El frío que se libera durante la transformación del producto de licuefacción del aire en el estado gaseoso o supercrítico durante el periodo de recuperación de energía puede almacenarse y emplearse durante el periodo de almacenamiento de energía para la puesta a disposición de frío para la obtención del producto de licuefacción del aire.

- Se conocen también centrales eléctricas de almacenamiento de aire presurizado, en las cuales el aire no se licúa sin embargo, sino que se comprime en un compresor y se almacena en una caverna subterránea. En tiempos de alta  
35 demanda de corriente, el aire presurizado se conduce desde la caverna a la cámara de combustión de una turbina de gas. Simultáneamente, se conduce a la turbina de gas por una tubería de gas un combustible, por ejemplo gas natural, y se quema en la misma por la atmósfera de aire presurizado formada. El gas residual producido se expande en la turbina de gas, con lo cual se obtiene energía.

- 40 La presente invención debe diferenciarse de procesos y dispositivos, en los cuales un fluido rico en oxígeno se introduce en una turbina de gas para el apoyo de reacciones de oxidación. Los procesos y dispositivos correspondientes trabajan fundamentalmente con productos de licuefacción del aire, que contienen (claramente) más de 40% molar de oxígeno.

La rentabilidad de los procesos y dispositivos correspondientes se ve influenciada fuertemente por la eficiencia total. La invención tiene por tanto como objetivo, mejorar a este respecto los procesos y dispositivos correspondientes.

5 Publicación de la Invención

Ante este panorama, la presente invención propone un proceso y una planta para almacenamiento y recuperación de energía, particularmente energía eléctrica, con las características de las reivindicaciones de patente independientes respectivas. Realizaciones preferidas son objeto respectivamente de las reivindicaciones de patente subordinadas y de la descripción subsiguiente.

Antes de la explicación de las ventajas que pueden alcanzarse en el marco de presente la invención se ilustran con más detalle sus fundamentos técnicos y algunos conceptos aplicados en esta Solicitud.

15 Bajo una "unidad de producción de energía" se entiende aquí una planta o una parte de planta que respectivamente se aplica para la obtención de energía eléctrica. Una unidad de producción de energía comprende en este contexto al menos una turbina de expansión, que está acoplada con al menos un generador eléctrico. Una máquina de expansión acoplada con al menos un generador eléctrico se designa también convencionalmente como "turbina generadora". En el marco de la presente Solicitud se entiende también bajo una turbina generadora un escalón de expansión de una  
20 unidad de turbinas de gas. La potencia mecánica que se libera en la expansión de un fluido en la al menos una turbina de expansión o turbina generadora puede transformarse en energía eléctrica en la unidad de producción de energía.

Una "turbina de expansión", que puede estar acoplada por un eje común con turbinas de expansión o convertidores de energía adicionales como moderadores de aceite, generadores o escalones de compresión, se aplica para la  
25 expansión de una corriente supercrítica, gaseosa o al menos parcialmente líquida. Particularmente pueden estar configuradas turbinas de expansión para empleo en la presente invención como turboexpansores. Si una o más turbinas de expansión configuradas como turboexpansores están acopladas sólo con uno o varios escalones de compresión, por ejemplo en forma de escalones de compresión radiales y eventualmente moderadas mecánicamente, éstas operan no obstante sin energía añadida externamente, por ejemplo por medio de un motor eléctrico, se utiliza  
30 para ellas generalmente también el concepto "turbina de refuerzo". Una turbina de refuerzo de esta clase comprime en este sentido al menos una corriente por la expansión de al menos otra corriente, no obstante sin energía aportada externamente, por ejemplo por medio de un motor eléctrico.

Bajo una "unidad de turbinas de gas" se entiende en el marco de la presente Solicitud una disposición de al menos  
35 una cámara de combustión y al menos una de estas turbinas de expansión conectadas aguas abajo (de la turbina de gas en sentido más estricto). En la última, se expanden gases calientes procedentes de la cámara de combustión con producción de trabajo. Una unidad de turbinas de gas presenta adicionalmente al menos un escalón de compresión propulsada por la turbina de expansión a través de un eje común, típicamente al menos un escalón de compresión axial. Una parte de la energía mecánica producida en la turbina de expansión se emplea habitualmente para la  
40 propulsión del al menos un escalón de compresión. Una parte adicional se transforma regularmente para la obtención de energía eléctrica en un generador. En cuanto a la turbina de expansión de la turbina de gas se trata en este caso

de una turbina generadora en el sentido expuesto anteriormente. Como modificación de una unidad de turbinas de gas, una "unidad de turbinas de combustión" comprende exclusivamente la cámara de combustión mencionada y una turbina de expansión cortada aguas abajo. Habitualmente no se prevé un compresor. Una "unidad de turbinas de gas sobrecalentado" que exhibe, en contraposición a una unidad de turbinas de gas en lugar de una cámara de combustión un calentador. Una unidad de turbinas de gas sobrecalentado puede estar configurada en una sola escalón con un calentador y una turbina de expansión. Alternativamente, pueden estar previstas también varias turbinas de expansión, preferiblemente con calentamiento intermedio. En todos los casos puede estar previsto especialmente aguas abajo de la "última" turbina de expansión un calentador adicional. La turbina de gas sobrecalentado está acoplada también preferiblemente con uno o varios generadores para la producción de energía eléctrica.

10 Bajo un "dispositivo de compresión" se entiende en esta memoria un aparato, que está dispuesto para la compresión de al menos una corriente gaseosa desde al menos una presión inicial, a la cual se conduce ésta desde el dispositivo de compresión, hasta al menos una presión final, a la cual se retira ésta del dispositivo de compresión. El dispositivo de compresión forma en este caso una unidad de construcción, que sin embargo puede presentar varios  
15 "compresores" o "escalones de compresión" individuales en forma de dispositivos conocidos de pistones, tornillos y/o ruedas de paletas o turbinas (es decir, escalones de compresión radiales o axiales). Particularmente, estas escalones de compresión se hacen funcionar por medio de una propulsión común, por ejemplo mediante un eje común o un motor eléctrico común. Varios compresores, por ejemplo compresores empleados en una unidad de acondicionamiento de aire empleada de acuerdo con la invención pueden formar juntos uno o varios dispositivos de  
20 compresión.

Una "unidad de acondicionamiento de aire" comprende en el uso idiomático empleado en esta memoria al menos un dispositivo de compresión y al menos un dispositivo de purificación por adsorción. Los dispositivos de purificación por adsorción son conocidos generalmente en el campo de fraccionamiento del aire. En los dispositivos de purificación  
25 por adsorción se hacen pasar una o varias corrientes de aire a través de uno o varios recipientes adsorbedores, que están llenos de un material de adsorción apropiado, por ejemplo tamiz molecular.

La presente invención comprende al menos la licuefacción del aire en un producto de licuefacción del aire. Los dispositivos empleados a este fin pueden agruparse también en este contexto bajo el concepto "unidad de acondicionamiento de aire". Entre ellos se entiende en el uso idiomático de la presente Solicitud una planta que está dispuesta para la obtención de al menos un producto de licuefacción del aire a partir de aire. Para una unidad de acondicionamiento de aire para utilización en la presente invención es suficiente, que por ésta pueda obtenerse un producto respectivo de licuefacción del aire enfriado a muy baja temperatura, que pueda utilizarse como líquido de almacenamiento y pueda llevarse a un sistema de tanques. Una "planta de fraccionamiento de aire" se alimenta con  
30 aire atmosférico y tiene un sistema de columnas de destilación para fraccionamiento de aire atmosférico en sus componentes físicos, particularmente en nitrógeno y oxígeno. A este fin, el aire se enfría primeramente hasta cerca de su punto de condensación y se conduce luego al sistema de columnas de destilación. En contraposición a ello, una "planta de licuefacción del aire" no comprende sistema alguno de columnas de destilación. Por otra parte, su construcción corresponde a la de una planta de fraccionamiento de aire con la puesta a disposición de un producto de licuefacción del aire. Evidentemente, en una planta de fraccionamiento de aire puede obtenerse también aire licuado como producto secundario.  
40

Un "producto de licuefacción del aire" es cualquier producto, que puede obtenerse al menos por compresión, enfriamiento y expansión subsiguiente del aire en forma de un líquido enfriado a muy baja temperatura. Particularmente, en el caso de un producto de licuefacción del aire puede tratarse de aire líquido, oxígeno líquido, 5 nitrógeno líquido y/o de un gas noble en estado líquido, como como argón líquido. Los conceptos "oxígeno líquido" o "nitrógeno líquido" designan también en este contexto respectivamente un líquido enfriado a muy baja temperatura, que contiene oxígeno o nitrógeno en una cantidad, que es superior a la del aire atmosférico. Debe tratarse también, no necesariamente, en este caso de líquidos puros con alto contenido de oxígeno o nitrógeno. Bajo nitrógeno líquido se entiende también tanto nitrógeno puro o esencialmente puro, como también una mezcla de gases del aire licuados, 10 cuyo contenido de nitrógeno es mayor que el correspondiente al aire atmosférico. Por ejemplo, éste tiene un contenido de nitrógeno de al menos 90, preferiblemente al menos 99% molar.

En el caso de la expresión un "producto de deslicuefacción", debe entenderse incluido más adelante un fluido formado por transformación de un líquido en estado gaseoso o supercrítico. Si un líquido a presión supercrítica "se vaporiza ", 15 el mismo no pasa a la fase gaseosa sino al estado supercrítico, no teniendo lugar un cambio de fase en sentido estricto. Esto se designa también como "pseudovaporización". A la presión subcrítica tiene lugar una transición de fase del estado líquido al gaseoso, es decir una "vaporización" convencional. Una deslicuefacción comprende por tanto en el marco de la presente Solicitud tanto una vaporización como también una pseudovaporización. En el caso de una "licuefacción" tanto los fluidos gaseosos como los fluidos supercríticos pasan al estado líquido.

20 Bajo un líquido "enfriado a muy baja temperatura", o un fluido correspondiente, producto de licuefacción del aire, corriente etc., se entiende un medio fluido, cuyo punto de ebullición es claramente inferior a la temperatura ambiente respectiva y alcanza por ejemplo 200 K o menos particularmente 220 K o menos. Ejemplos son aire líquido, oxígeno líquido, nitrógeno líquido etc.

25 Bajo una "unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo" se entiende en el marco de esta Solicitud un dispositivo que contiene un material sólido apropiado para almacenamiento de frío y exhibe medios de transporte de fluidos a través de este material. Unidades de almacenamiento de frío de lecho fijo conocidas, que en las plantas de fraccionamiento de aire convencionales se designan también como regeneradores y se utilizan en ellas también para la separación de 30 componentes no deseados como agua y/o dióxido de carbono, comprenden por ejemplo bloques de hormigón atravesados por canales (no habituales en las plantas de fraccionamiento de aire), rellenos (de piedra) y/o chapas de aluminio estriada y son recorridas por las corrientes a enfriar o calentar respectivamente en dirección contrapuesta unas respecto a otras fijada y en periodos diferentes. En el marco de esta Solicitud, los conceptos "almacenamiento de calor" y "almacenamiento de frío" se emplean como sinónimos. Una unidad de almacenamiento de frío comprende 35 uno o más almacenamientos de frío. Los medios de almacenamiento de calor utilizables en uno o más almacenamientos de frío dependen de la configuración del proceso.

Almacenamientos de frío de lecho fijo se describen en la bibliografía competente (véase por ejemplo I. Dinçer y M. A. Rosen, "Thermal Energy Storage - Systems and Applications", Chichester, John Wiley & Sons 2002). Como medios de almacenamiento son apropiados por ejemplo piedra, hormigón, ladrillo, cerámicas artificiales o hierro colado. Para  
 5 temperaturas de almacenamiento moderadamente bajas son apropiados adicionalmente tierra, grava, arena o gravilla. Otros medios de almacenamiento como aceites térmicos o masas de sales fundidas se conocen por ejemplo en el campo de la técnica solar. En los almacenamientos de frío correspondientes puede encontrarse particularmente ventajoso proporcionar en un recipiente aislado, lo que hace posible un almacenamiento de frío exento de pérdidas o prácticamente exento de pérdidas.

10 Una "unidad de intercambio de calor en contracorriente" está configurada con utilización de uno o varios intercambiadores de calor en contracorriente, por ejemplo de uno o varios intercambiadores de calor de placas. En contraposición a una unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo, el enfriamiento en una unidad de intercambio de calor en contracorriente no tiene lugar por desprendimiento de o adsorción de calor de un lecho fijo, sino indirectamente  
 15 en o de un portador de calor o frío conducido en contracorriente. Como intercambiador de calor en una unidad de intercambio de calor en contracorriente para utilización en la presente invención son apropiados todos los intercambiadores de calor conocidos, por ejemplo intercambiadores de calor de placas, intercambiadores de calor de haces tubulares y análogos. Una unidad de intercambio de calor en contracorriente sirve para transmisión indirecta de calor entre al menos dos corrientes conducidas en contracorriente una respecto a otra, por ejemplo una corriente de  
 20 aire presurizado caliente y una o varias corrientes frías o un producto de licuefacción del aire enfriado a muy baja temperatura y una o varias corrientes calientes. Una unidad de intercambio de calor en contracorriente puede estar formada por un solo o varios bloques de intercambio de calor conectados en paralelo y/o en serie, por ejemplo por uno o más bloques intercambiadores de calor de placas. En este caso, a continuación de la expresión un "intercambiador de calor", puede entenderse a este respecto tanto un intercambiador de calor en contracorriente como  
 25 un intercambiador de calor de otro tipo.

Bajo un "calentador" se entiende en el marco de esta Solicitud un sistema para intercambio de calor indirecto entre un fluido caliente y un fluido gaseoso a calentar. Por medio de un calentador de esta clase puede transmitirse calor residual, calor perdido, calor de proceso, calor solar, etc. al fluido gaseoso a calentar y utilizarse para la producción  
 30 de energía en una turbina de gas sobrecalentado.

Procesos y dispositivos para el fraccionamiento del aire a baja temperatura y los procesos y dispositivos que pueden utilizarse en ellos y también en el marco de la presente invención se describen también por ejemplo en Häring, H. -W. (Hrsg. ), "Industrial Gases Processing", Weinheim, Wiley-VCH 2008 (especialmente el capítulo 2. 2. 5, "Cryogenic  
 35 Rectification") y Kerry, F. G. , "Industrial Gas Handbook Gas Separation and Purification", Boca Raton, CRC Press 2006 (especialmente el capítulo 3, "Air Separation Technology") .

La presente Solicitud utiliza para la caracterización de presiones y temperaturas los conceptos "nivel de presión" y "nivel de temperatura", donde para la expresión debe entenderse que las presiones y temperaturas en una planta respectiva no tienen que  
 40 utilizarse en forma de valores exactos de presión o temperatura para interpretar el concepto de inventiva. Sin embargo, las presiones y temperaturas de este tipo fluctúan típicamente en intervalos determinados, que por ejemplo oscilan  $\pm$  1%, 5%, 10%, 20% o hasta 50% respecto a un valor medio. Los niveles de presión y niveles de temperatura respectivos pueden oscilar en intervalos disjuntos o en intervalos superpuestos unos a otros. Particularmente, los niveles de presión incluyen por ejemplo las pérdidas de presión

inevitables o pérdidas de presión que pueden esperarse, debido por ejemplo a efectos de enfriamiento brusco o pérdidas en las tuberías. Esto es válido también para los niveles de temperatura. En el caso de los niveles de presión expresados aquí en bares se trata de presiones absolutas en bar.

5 Ventajas de la Invención

La presente invención presenta un proceso para almacenamiento y recuperación de energía, en el cual en un periodo de almacenamiento de energía se forma un producto de licuefacción del aire y en un periodo de recuperación de energía con utilización de al menos una parte del producto de licuefacción del aire se forma una corriente presurizada y se expande con producción de trabajo.

Como ya se ha mencionado, en el marco de esta Solicitud se entiende bajo un producto de licuefacción del aire cualquier producto que puede obtenerse por compresión y enfriamiento a muy baja temperatura del aire en estado líquido. La presente invención se describe a continuación particularmente con referencia a aire licuado como producto de licuefacción del aire, pero es apropiada también para otros productos de licuefacción del aire, particularmente productos de licuefacción del aire que contienen oxígeno. En contraposición a los procesos y dispositivos mencionados al principio, en los cuales se introduce un fluido rico en oxígeno para el apoyo de reacciones de oxidación en una turbina de gas, en este caso se emplea sin embargo ventajosamente un producto de licuefacción del aire que contiene oxígeno que tiene (manifiestamente) menos de 40, 35 ó 30% molar de oxígeno, por ejemplo con el contenido de oxígeno del aire natural. Por tanto, no es necesaria una separación por destilación de un producto de licuefacción del aire.

Los conceptos "periodo de almacenamiento de energía" y "periodo de recuperación de energía" se han mencionado ya al principio. Por ellos se entienden particularmente periodos, que no se superponen unos a otros. Esto significa que las medidas descritas a continuación para el periodo de almacenamiento de energía típicamente no se llevan a cabo durante el periodo de recuperación de energía, y viceversa. Sin embargo, puede preverse también, por ejemplo en un periodo adicional llevar a cabo al menos una parte de las medidas descritas para el periodo de almacenamiento de energía simultáneamente con las medidas descritas para el periodo de recuperación de energía, por ejemplo para asegurar una mayor continuidad en la operación de una planta correspondiente. Por ejemplo, también puede transportarse una corriente presurizada en un periodo de almacenamiento de energía a una unidad de producción de energía y expandirse en ésta con producción de trabajo, por ejemplo a fin de poder operar en los dispositivos de expansión empleados en ella sin parada. El periodo de almacenamiento de energía y el periodo de recuperación de energía corresponden en cada caso a un modo de operación o modo de proceso de una planta correspondiente o de un proceso correspondiente.

La presente invención comprende, para la formación del producto de licuefacción del aire, comprimir aire en una unidad de acondicionamiento de aire como mínimo por al menos un dispositivo de compresión que opera en condiciones isotérmicas y por al menos un dispositivo de purificación por adsorción purificarlo por adsorción a un nivel de presión superatmosférica. A continuación, el aire presurizado y purificado por adsorción, procedente de un nivel de temperatura comprendido en un intervalo de 0 a 50°C, en el cual el mismo sale de la unidad de acondicionamiento del aire o un dispositivo de compresión que opera isotérmicamente previsto en ella, se licúa en un primera fracción en una unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo y en un segunda fracción en una unidad de intercambio de calor en contracorriente hasta un nivel de presión de licuefacción en un intervalo de 40 a 100 bar. El aire licuado se expande

a continuación para la formación del producto de licuefacción del aire en al menos una unidad de producción de frío, donde particularmente la primera y la segunda fracción anteriores pueden reunirse de nuevo una con otra.

5 En el marco de la presente invención, para la formación de la corriente presurizada a partir de al menos una parte del producto de licuefacción a un nivel de presión de deslicuefacción, que se diferencia en no más de 5 bar, particularmente en no más de 4 bar, 3 bar, 2 bar o 1 bar del nivel de presión de licuefacción, se obtiene en la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo un producto de deslicuefacción. El nivel de presión de licuefacción y el nivel de presión de deslicuefacción pueden corresponder también uno a otro. A partir de al menos una parte del producto de deslicuefacción se forma luego para la formación de la corriente presurizada una corriente fluida y se conduce a  
10 través de al menos un dispositivo de combustión, en el cual se quema un combustible.

Un aspecto esencial de la presente invención es el caso de la formación de la corriente presurizada la conducción de una corriente fluida respectiva a través de al menos un dispositivo de combustión, por ejemplo al menos una cámara de combustión. En el dispositivo de combustión se quema un combustible en la atmósfera formada por la corriente  
15 fluida. La corriente presurizada formada en este caso está constituida por tanto por los componentes de la corriente fluida no transformados en la combustión del combustible (por ejemplo nitrógeno) y productos de la combustión correspondientes (por ejemplo dióxido de carbono). Como se ha mencionado, la presente invención es particularmente apropiada para utilización con productos de licuefacción del aire, que contienen oxígeno. Por tanto, para la combustión en el dispositivo de combustión no debe añadirse cantidad alguna adicional de oxígeno, por ejemplo suministrado  
20 externamente. Como combustible son apropiados particularmente hidrocarburos y mezclas de hidrocarburos líquidos o gaseosos, por ejemplo gas natural y/o metano.

Por el suministro de un combustible y la combustión de éste puede formarse una corriente presurizada que se encuentra a un nivel de presión mucho más alto que en el caso de los procesos convencionales. El proceso  
25 correspondiente a la invención permite por tanto no sólo la recuperación de la energía (excepto pérdidas de eficiencia) almacenada en la formación del producto de licuefacción del aire, sino la obtención de energía adicional por la combustión del combustible. Se ha comprobado que un proceso de esta clase es claramente más eficiente en costes que los procesos de la técnica anterior, como se describen por ejemplo en EP 2 397 669A2 y en US 2012/0216520A1, dado que a partir de la misma cantidad de aire puede obtenerse una potencia eléctrica  
30 considerablemente mayor (casi el doble).

En el marco de la presente invención se prevé, como se ha mencionado, operar el almacenamiento de frío de lecho fijo en el modo de almacenamiento de energía y el modo de recuperación de energía a niveles de presión iguales o análogos (el nivel de presión de licuefacción y el nivel de presión de deslicuefacción) en el intervalo de 40 a 100 bar.  
35 De este modo se evitan oscilaciones de presión en el almacenamiento de lecho fijo y se aumenta la estabilidad mecánica del mismo, o se reducen esencialmente las exigencias en cuanto a su solidez mecánica. En este contexto, para la formación del producto de licuefacción del aire, el aire se comprime en la al menos una unidad de acondicionamiento de aire a un nivel de presión correspondiente, que puede estar comprendido en el intervalo de presión sub- o supercrítica. En la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo y la unidad intercambio de calor en  
40 contracorriente puede por tanto transferirse una corriente de aire a alta presión desde el estado supercrítico (sin cambio de fase clásico) o el estado subcrítico al estado líquido. Ambas transiciones se reúnen aquí bajo el concepto "licuefacción". Esto mismo es válido también para la formación ya descrita del producto de deslicuefacción por el término "deslicuefacción".

En el marco de la presente invención se prevé adicionalmente, como se ha mencionado, llevar la primera fracción y la segunda fracción del aire presurizado y purificado por adsorción a la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo y la unidad de intercambio de calor en contracorriente a un nivel de temperatura de 0 a 50°C. La alimentación se realiza por tanto ventajosamente a la temperatura ambiente, lo que hace posible una operación particularmente ventajosa de la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo.

Esto es posible particularmente, porque en el marco de la presente invención, como se ha mencionado, se utiliza en una unidad de acondicionamiento del aire con al menos un dispositivo de compresión que opera isotérmicamente. Un dispositivo de compresión que funciona isotérmicamente, que puede comprender uno o varios escalones de compresión o compresores en el sentido ilustrado anteriormente, se caracteriza porque, una corriente presurizada llevada al mismo y una corriente retirada del mismo exhiben esencialmente un mismo nivel de temperatura, en contraposición a los dispositivos que operan adiabáticamente, en los cuales el producto de compresión tiene una temperatura claramente más alta que la corriente alimentada a la unidad de compresión. Una unidad de compresión que opera isotérmicamente tiene por ejemplo refrigerantes intermedios y post-refrigerantes.

En el marco de la presente invención se emplea adicionalmente, como ya se ha mencionado, una unidad de acondicionamiento del aire con al menos un dispositivo de purificación por adsorción que opera a un nivel de presión superatmosférica. La unidad de acondicionamiento de aire empleada en el marco de la presente invención comprime, como se ha mencionado, el aire conducido a ella en varias escalones de compresión. El dispositivo de purificación por adsorción puede introducirse en o suministrarse a cada una de estas escalones de compresión. Por ejemplo, un dispositivo de purificación puede construirse a un nivel de presión final, que es suministrado por la unidad de acondicionamiento del aire, particularmente pequeño dado que, debido a la compresión, tienen que purificarse masas de aire pequeñas. Un dispositivo de purificación por adsorción puede, en el marco de la presente invención, comprender uno o varios recipientes de purificación por adsorción, como se ilustra más detalladamente en el marco de la descripción de las figuras.

Dado que en el marco de la presente invención el aire licuado en el periodo de almacenamiento de energía en la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo y la unidad de intercambio de calor en contracorriente se expande en una unidad de producción de frío, se hace posible el suministro de frío adicional, que contrarresta por ejemplo las pérdidas de frío en una planta correspondiente, por ejemplo en un tanque de almacenamiento para la retirada del producto de licuefacción del aire. Un producto de vaporización formado durante la expansión puede utilizarse además como gas de regeneración, como se ilustra más adelante.

Para la recuperación de la energía, en el proceso correspondiente a la invención, la corriente fluida conducida ventajosamente por el al menos un dispositivo de combustión como la corriente presurizada mencionada se expande en al menos una turbina generadora. Bajo una turbina generadora se entiende aquí, como se ha mencionado, cualquier máquina de expansión acoplada con un generador. El empleo de una turbina generadora permite una recuperación flexible de energía en forma de corriente eléctrica. Básicamente, la invención puede comprender también sin embargo para recuperación de la energía otras medidas, por ejemplo la operación de un alimentador cargado hidráulicamente por medio de una máquina de expansión o una bomba unida a ella.

Es particularmente ventajoso que la al menos una turbina generadora utilice al menos una unidad de turbina de expansión de al menos una unidad de turbinas de gas. Una unidad de turbinas de gas comprende, como se ha descrito, un escalón de compresión y un escalón de expansión, que están unidos uno a otro a través de un eje común y a un

5 generador. El escalón de expansión de una unidad de turbinas de gas forma de este modo una turbina generadora en el sentido expuesto anteriormente. Una unidad de turbinas de gas hace posible una recuperación particularmente eficaz de energía eléctrica, dado que en este caso es posible un aumento de presión particularmente ventajoso en una cámara de combustión después de una compresión ya descrita anteriormente realizada durante la escalón de compresión. Alternativa o adicionalmente, pueden emplearse también una o varias unidades de combustión y/o de turbinas de gas sobrecalentado.

10 El proceso correspondiente a la invención comprende ventajosamente, calentar, expandir y/o comprimir la corriente fluida antes de la conducción a través de la cámara de combustión al menos una (o varias) veces. Por ejemplo, la corriente fluida formada por al menos una parte del producto de deslicuefacción del aire puede conducirse primeramente a través de un intercambiador de calor, calentarse en el mismo, expandirse luego en una turbina generadora y alimentarse después a la cámara de combustión o a un escalón de compresión de una turbina generadora. De este modo, puede utilizarse eficazmente el contenido de energía correspondiente (eventualmente latente) de una corriente respectiva.

15 Ventajosamente, el al menos un dispositivo de purificación por adsorción conduce en una fase de regeneración un gas de regeneración, que está formado por una parte del aire presurizado anteriormente en la unidad de acondicionamiento de aire y purificado por adsorción. Un gas de regeneración correspondiente se calienta ventajosamente antes de su empleo, como se explica otra vez más adelante. Cuando está presente solamente un recipiente de purificación, puede tener lugar luego una fase de regeneración de un dispositivo de purificación por adsorción, cuando no tiene que producirse potencia de purificación alguna por el dispositivo de purificación, por ejemplo en un periodo de recuperación de energía. Si existen varios recipientes de purificación que pueden operar alternativamente, éstos pueden ser regenerados independientemente del periodo presente respectivamente.

20 El gas de regeneración puede formarse, o bien durante el periodo de almacenamiento de energía a partir de al menos una parte de un producto de vaporización formado durante la expansión del aire licuado o durante el periodo de recuperación de energía a partir de al menos una parte del producto de deslicuefacción.

30 Ventajosamente, un producto de vaporización formado en la expansión del aire licuado es transportado a través de la unidad de intercambio de calor en contracorriente y se calienta en ella. El producto de vaporización sirve en este caso para enfriamiento de la segunda fracción transportada a través de la unidad de intercambio de calor en contracorriente del aire presurizado en la unidad de acondicionamiento de aire y purificado por adsorción. El frío correspondiente puede ser utilizado por tanto ventajosamente. El fluido correspondiente puede ser utilizado también como gas de regeneración.

35 Ventajosamente, en el marco del proceso correspondiente a la invención se conduce al menos un portador de frío a través de la unidad de intercambio de calor en contracorriente, que se suministra por medio de un circuito de frío externo y/o por expansión de una parte del aire presurizado previamente en la unidad de acondicionamiento de aire y purificado por adsorción. En el último caso, puede comprimirse por ejemplo por medio de la unidad de acondicionamiento de aire y purificarse por adsorción una cantidad mayor de aire que la necesaria para la formación del producto de licuefacción del aire y su almacenamiento. El aire "excedente" respectivo puede enfriarse eventualmente en la unidad de intercambio de calor en contracorriente a una temperatura intermedia y expandirse posteriormente con producción de frío y transportarse desde el extremo frío al extremo caliente a través de la unidad de intercambio de calor en contracorriente. De este modo, el consumo de frío necesario puede cubrirse sin dispositivos

adicionales. El empleo de un circuito de frío externo hace posible por otra parte un suministro de frío totalmente independiente.

5 Una planta, que está dispuesta para almacenamiento y recuperación de energía por formación de un producto de licuefacción del aire en un periodo de almacenamiento de energía y obtención y expansión con producción de trabajo de una corriente presurizada formada con utilización de una parte del producto de licuefacción del aire en un periodo de recuperación de energía, es asimismo objeto de la presente invención.

10 La planta está provista de medios, que están dispuestos para ello, para formación del producto de licuefacción del aire en una unidad de acondicionamiento de aire por medio de al menos un dispositivo de compresión que opera isotérmicamente para comprimir y purificar por adsorción mediante al menos un dispositivo de purificación adsorbente a un nivel de presión superatmosférica, licuar el aire presurizado y purificado por adsorción que emerge un nivel de temperatura comprendido en un intervalo de 0 a 50°C en una primera fracción en una unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo y en una segunda fracción en una unidad de intercambio de calor en contracorriente a un nivel de presión de licuefacción en un intervalo de 40 a 100 bar, y expandir a continuación el aire licuado en al menos una  
15 unidad de producción de frío.

Además de esto, se proveen los medios para la formación de la corriente presurizada a partir de al menos una parte del producto de licuefacción a un nivel de presión de deslicuefacción, que se desvía no más de 4 bar, 3 bar, 2 bar o 1  
20 bar, del nivel de presión de licuefacción, para obtener un producto de deslicuefacción en la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo y para formar a partir de al menos una parte del producto de deslicuefacción una corriente fluida y conducirla a través de al menos un dispositivo de combustión, en el cual se quema un combustible

Una planta de este tipo está provista ventajosamente de todos los medios, que están capacitados para la realización  
25 del proceso ilustrado detalladamente con anterioridad. Una planta de este tipo se aprovecha por tanto de las ventajas de un proceso respectivo, al cual se hace referencia expresamente.

La invención se ilustra con mayor detalle con referencia a los dibujos incluidos, que muestran formas de realización preferidas de la invención.  
30

#### Breve descripción de los dibujos

35 Las figuras 1A y 1B muestran una planta de acuerdo con una forma de realización de la invención en un periodo de almacenamiento de energía y un periodo de recuperación de energía.

Las figuras 2A a 2F muestran una unidad de acondicionamiento de aire y una unidad de producción de energía de acuerdo con formas de realización de la invención.

40 Las figuras 3A y 3B muestran dispositivos de frío para unidades de acondicionamiento de aire de acuerdo con formas de realización de la invención.

La figura 4 muestra un dispositivo de purificación del aire para una unidad de acondicionamiento de aire de acuerdo con una forma de realización de la invención.

La figura 5 muestra un dispositivo de compresión con un dispositivo de precalentamiento del gas de regeneración para una unidad de acondicionamiento de aire de acuerdo con una forma de realización de la invención.

5 Las figuras 6A y 6B muestran un dispositivo de purificación del aire en el periodo de almacenamiento de energía y el periodo de recuperación de energía para una unidad de acondicionamiento de aire de acuerdo con formas de realización específicas de la invención.

10 La figura 7 muestra un dispositivo de precalentamiento del gas de regeneración para una unidad de acondicionamiento del aire de acuerdo con una forma de realización específica de la invención.

Las figuras 8A a 8C muestran plantas de acuerdo con formas de realización de la invención e ilustran detalles de una unidad correspondiente de intercambio de calor en contracorriente.

#### 15 Formas de Realización de la Invención

En las figuras, los elementos, aparatos, dispositivos y corrientes fluidas fundamentalmente correspondientes unos a otros se ilustran con números de referencia idénticos y no se explicarán de nuevo en todos los casos en aras de la claridad.

20 En las figuras se representa una multiplicidad de válvulas, que están parcialmente abiertas y parcialmente bloqueadas. Las válvulas de bloqueo se muestran cruzadas en las figuras. Mediante válvulas de fluido interrumpidas por válvulas de bloqueo y dispositivos desactivados correspondientemente se ilustran principalmente líneas discontinuas. Las corrientes interrumpidas por bloqueo de las válvulas conectadas, y los dispositivos desactivados correspondientes se  
25 ilustran principalmente por líneas de trazos. Las corrientes gaseosas o que se encuentran en estado supercrítico se representan con flechas triangulares blancas (no llenas), y las corrientes líquidas con flechas triangulares negras (llenas).

30 En las figuras 1A y 1B se representa una planta de acuerdo con una realización especialmente preferida de la invención en un periodo de almacenamiento de energía (figura 1A) y un periodo de recuperación de energía (figura 1B) y se designa en conjunto con 100.

35 La planta 100 comprende como componentes fundamentales una unidad de acondicionamiento del aire 10, una unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo 20, una unidad de intercambio de calor en contracorriente 30, una unidad de producción de frío 40, una unidad de almacenamiento líquido 50 y una unidad de producción de energía 60.

Aquí y en lo que sigue, algunos o la totalidad de los componentes representados pueden estar presentes en cualquier número y se alimentan por ejemplo en paralelo con corrientes parciales correspondientes.

40 En el periodo de almacenamiento de energía ilustrado en la figura 1A, se conduce a la planta 100 una corriente de aire a (AIR, aire de entrada) y en la unidad de acondicionamiento de aire 10 se comprime y se purifica concienzudamente. Una corriente b correspondiente, comprimida y purificada concienzudamente, especialmente exenta de agua y dióxido de carbono se encuentra a un nivel de presión de por ejemplo 40 a 100 bar y se designa también en lo que sigue como corriente de aire de alta presión b.

La corriente de aire de alta presión b se divide en el periodo de almacenamiento de energía ilustrado en la figura 1A de la planta 100 en una primera corriente parcial c y una segunda corriente parcial d. Por supuesto, en las plantas respectivas también la división de una corriente de aire de alta presión correspondiente b puede preverse en más de  
5 dos corrientes parciales.

El aire de las corrientes c y d (HPAIR) se conduce a la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo 20 por una parte y a la unidad de intercambio de calor en contracorriente 30 por otra parte al nivel de presión ya mencionado de la corriente de aire de alta presión b y se licúa en cada caso en la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo 20 o la  
10 unidad de intercambio de calor en contracorriente 30. El aire de las corrientes licuadas correspondientes e y f (HPLAIR) se reúne en una corriente total g. El nivel de presión de las corrientes e, f y g corresponde esencialmente, es decir, excepto las pérdidas por conducción y enfriamiento brusco, al nivel de presión de la corriente de aire de alta presión b.

15 El aire licuado de la corriente g es decir un producto de la licuefacción del aire, se expande en la unidad de producción de frío 40, que puede comprender por ejemplo una turbina generadora 41. El aire expandido puede conducirse por ejemplo a un recipiente separador 42, en cuya parte inferior se separa una fase líquida y en cuya parte superior está presente una fase gaseosa.

20 La fase líquida del recipiente separador 42 puede retirarse como corriente h (LAIR) y enviarse a la unidad del almacenamiento de líquido 50, que puede comprender por ejemplo uno o varios tanques de almacenamiento aislados. El nivel de presión de la corriente h se encuentra por ejemplo a 1 hasta 16 bar. La fase gaseosa de la parte superior del recipiente separador 42 retirada como corriente i (Flash) puede conducirse en contracorriente con la corriente f a través de la unidad de intercambio de calor en contracorriente 30 y utilizarse a continuación en forma de la corriente k  
25 (LPAIR, reggas) en la unidad de acondicionamiento del aire 10 como gas de regeneración. El nivel de presión de la corriente k se encuentra por ejemplo a la presión atmosférica hasta aprox. 2 bar. Aguas abajo se encuentra una corriente respectiva l típicamente a la presión atmosférica (amb) y puede devolverse al ambiente.

Durante el periodo de almacenamiento de energía ilustrado en la figura 1A, el frío almacenado en la unidad de  
30 almacenamiento de frío de lecho fijo 20 se utiliza para la licuefacción del aire de la corriente parcial c. Adicionalmente, se proporciona la unidad de intercambio de calor en contracorriente 30, en la cual puede licuarse aire adicional, a saber aire de la corriente parcial d, en contracorriente con, por ejemplo, una corriente fría i, que puede obtenerse del aire expandido, vaporizado de la corriente g. La utilización de la unidad de intercambio de calor en contracorriente 30 permite una operación más flexible de la planta 100 que lo que ocurriría en el caso de utilización sólo de la unidad de  
35 almacenamiento de frío de lecho fijo 20.

Por la unidad de intercambio de calor en contracorriente 30 se hace pasar adicionalmente una corriente j, que es proporcionada asimismo por medio de la unidad de acondicionamiento del aire 10 y que se encuentra a un nivel de presión de, por ejemplo, 5 a 20 bar. Esta corriente j se designa también en lo que sigue como corriente de aire de  
40 media presión (MPAIR).

En el periodo de recuperación de energía ilustrado en la figura 1B, se retira de la unidad de almacenamiento de líquido 50 aire licuado (LAIR) almacenado anteriormente en la unidad de almacenamiento de energía, es decir el producto de licuefacción del aire, y se eleva su presión por medio de una bomba 51. Una corriente m obtenida de este modo

(HPLAIR) se conduce a través de la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo 20 y se vaporiza en ella o se transforma del estado líquido al estado supercrítico ("se deslicúa"). Se forma así un producto de deslicuefacción, a partir del cual, como se representa aquí completamente, o sólo en parte, se forma una corriente líquida. La corriente m se encuentra este caso a un nivel de presión comparable al de la corriente de aire de alta presión b ilustrada ya anteriormente. También en el caso de la corriente n obtenida por la vaporización o la transformación del estado líquido al supercrítico en la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo 20 se trata por tanto de una corriente de aire de alta presión.

A partir de la corriente de aire de alta presión n se forma en el periodo de recuperación de energía ilustrado en la figura 1B en la unidad de producción de energía 60 una corriente líquida, que se calienta con utilización de combustible (fuel) aportado en una corriente o a la unidad de producción de energía 60 y se expande con producción de energía eléctrica. De este modo se forma a partir de la corriente líquida, que puede estar también por su parte ya presurizada, una corriente presurizada a presión más alta. Como se ilustra también más adelante, la expansión y el calentamiento de una corriente respectiva pueden realizarse de manera diferente. Una corriente p expandida convenientemente se encuentra por ejemplo a la presión atmosférica (amb) y puede conducirse por ejemplo a una purificación del gas residual.

Las unidades de acondicionamiento del aire 10 y unidades de producción de energía 60 ilustradas en las figuras 2A a 2F están previstas para el empleo en plantas 100 de acuerdo con formas de realización diferentes de la invención, por ejemplo en la planta 100 ilustrada en las figuras 1A y 1B.

De acuerdo con la forma de realización representada en la figura 2A, la corriente a ya explicada se aspira y se comprime a través de un filtro 11 por medio de un dispositivo de compresión 12, por ejemplo por medio de un compresor axial de varios escalones. Después del enfriamiento en un dispositivo de post-enfriamiento 13, por ejemplo en un refrigerante 13 que opera con agua fría, la corriente a comprimida y posteriormente enfriada se conduce a un dispositivo de frío 14 y a continuación a un dispositivo de purificación del aire 15. Ejemplos de dispositivos de frío 14 y dispositivos de purificación del aire 15 correspondientes se ilustran en las figuras 3 A, 3B y 4 subsiguientes con mayor detalle.

Aguas abajo del dispositivo de purificación del aire 15 se retira una corriente parcial de aire de la corriente a a una presión intermedia como la corriente j ya explicada. El aire no retirado como corriente de aire de media presión j de la corriente a se comprime de nuevo en un dispositivo de compresión 16 adicional. El dispositivo de compresión 16 puede estar configurado también como compresor axial de varios escalones.

En el marco de la presente invención, el dispositivo de compresión 12 y el dispositivo de compresión 16 pueden estar alimentados particularmente con aire a la misma temperatura. Particularmente, los dispositivos de compresión 12 y/o 16 pueden operar isotérmicamente. Aguas abajo del dispositivo de compresión 16 está dispuesto un dispositivo de post-enfriamiento adicional 17. El aire presurizado en el dispositivo de compresión 16 y enfriado en el dispositivo de post-enfriamiento 17 se proporciona como la corriente de aire de alta presión b ya explicada.

Para la operación o la regeneración del dispositivo de purificación del aire 15 puede conducirse éste a la corriente de regeneración k ya explicada y retirarse de ésta la corriente l explicada asimismo.

Como ya se ha explicado con referencia a las figuras 1A y 1B, la corriente de aire de alta presión b y la corriente de aire de media presión j son proporcionados por la unidad de acondicionamiento del aire 10 típicamente sólo en el periodo de almacenamiento de energía. En este periodo de almacenamiento de energía, la unidad de producción de energía 60 no está en operación. Por el contrario, en el periodo de recuperación de energía está en operación típicamente sólo la unidad de producción de energía 60 y no, por el contrario, la unidad de acondicionamiento de aire 10. Las figuras 2A a 2F muestran por tanto en una representación el periodo de almacenamiento de energía y el periodo de recuperación de energía.

En el periodo de recuperación de energía se conduce a la unidad de producción de energía 60 la corriente n de aire de alta presión, y se calienta en un sistema recuperador 61, que puede estar formado por ejemplo por varios intercambiadores de calor. La corriente de aire de alta presión n calentada se expande en una turbina generadora 62 con producción de energía eléctrica y a continuación se envía nuevamente a través del sistema recuperador 61 y se calienta en éste.

Un calentamiento adicional de la corriente de aire de alta presión expandida n se realiza por medio de combustible de la corriente o, que puede quemarse en un dispositivo de combustión 63, por ejemplo una cámara de combustión. La corriente calentada correspondiente se conduce a una turbina generadora adicional 64 y se expande en ésta con producción de energía eléctrica. Una parte del calor de la corriente expandida de la turbina generadora 64 se transfiere en el sistema recuperador 61 a las corrientes ya mencionadas conducidas a través de éste. Aguas abajo del sistema recuperador 61 se purifica la corriente expandida en la turbina generadora 64 adicional como corriente p, como se ha mencionado, por ejemplo en una purificación del gas residual.

La variante ilustrada en la figura 2B se diferencia esencialmente en este caso en el diseño de la unidad de acondicionamiento de aire 10. Particularmente, en este caso, el dispositivo de enfriamiento 14 y el dispositivo de purificación del aire 15 están dispuestos aguas abajo del dispositivo de compresión 16 y del dispositivo de post-enfriamiento correspondiente 17, es decir en un intervalo de presión más alta. Esto es posible, porque en este caso no se forma corriente alguna de media presión j, que tiene que ser purificada también. El dispositivo de enfriamiento 14 y el dispositivo de purificación del aire 15 se encuentran a una presión respectiva más alta. Esto hace posible, como se ha mencionado, hacer el dispositivo de purificación del aire 15 más pequeño.

La variante ilustrada en la figura 2C corresponde, por lo que se refiere la unidad de acondicionamiento de aire 10, esencialmente a la variante ilustrada en la figura 2A. En la unidad de producción de energía 60 se ilustra sin embargo una unidad de turbinas de gas 65, cuyos escalones de compresión y expansión puede estar acoplados a un eje común con un generador, y que sin embargo no se designan individualmente. En la variante ilustrada en la figura 2C, la corriente de aire de alta presión n se conduce asimismo a un sistema recuperador 61 y se expande en una turbina generadora 62. La corriente expandida correspondiente, designada aquí con q, se conduce al escalón de compresión de la unidad de turbinas de gas 65, se calienta luego con combustible de la corriente o en un dispositivo de combustión 63 intercalado y se expande después en un escalón de expansión de la unidad de turbinas de gas 65. El calor producido en la unidad de turbinas de gas 65 o del dispositivo de combustión 63 se transfiere al menos en parte al sistema recuperador 61 en la corriente de aire de alta presión n.

La variante ilustrada en la figura 2D corresponde esencialmente a una combinación de la unidad de acondicionamiento de aire 10 representada en la figura 2B con la unidad de producción de energía 60 representada en la figura 2C. Para más detalles, se remite para ello a las figuras 2B y 2C ilustradas anteriormente.

La variante ilustrada en la figura 2E se diferencia de la variante ilustrada en la figura 2B esencialmente en la utilización de la corriente de gas de regeneración k. Esta corriente de gas de regeneración k no se proporciona en la variante ilustrada en la figura 2E como corriente de aire de baja presión sino como corriente de aire de alta presión. La misma puede formarse por ejemplo a partir de una parte de la corriente de aire de alta presión n, es decir durante el periodo de recuperación de energía. En este caso, la corriente de gas de regeneración k se hace pasar primeramente por el dispositivo de purificación del aire 15 (que en el periodo de recuperación de energía no está en operación de purificación y por tanto puede regenerarse) y a continuación se reúne con la corriente de aire de alta presión n. Se ha demostrado que los componentes contenidos en la corriente l aguas abajo del dispositivo de purificación del aire 15 como agua y dióxido de carbono, debido a las temperaturas existentes en la unidad de producción de energía 60, no son problemáticos. La variante ilustrada en la figura 2E tiene la ventaja de que se pierde menos aire presurizado.

La variante ilustrada en la figura 2F comprende asimismo la utilización que se desvía de la corriente de gas de regeneración k ya ilustrada que se ha representado ya en la figura 2E. Como se muestra en la figura 2F, esto es apropiado de igual manera para la utilización con una unidad de energía 60, una unidad de turbinas de gas 65, no sólo con la expansión que se muestra en la figura 2E de la corriente n de acuerdo con la figura 2A o la figura 2B.

En la figura 3A se representa en detalle un dispositivo de enfriamiento 14 para el empleo en una unidad de acondicionamiento de aire 10, como se ilustra por ejemplo en las figuras 2A a 2F representadas anteriormente. El dispositivo de enfriamiento 14 puede estar dispuesto aguas abajo del dispositivo de post-enfriamiento 13 (compárense las figuras 2A y 2C) o aguas abajo del dispositivo de post-enfriamiento 17 (compárense las figuras 2B, 2D, 2E y 2F). Una corriente correspondiente, designada aquí con r, se alimenta a una zona inferior de un refrigerante de contacto directo 141. La corriente r corresponden en este caso a la corriente a comprimida correspondiente (compárense las figuras 2A a 2F). En una zona superior del refrigerante de contacto directo 141 se introduce una corriente de agua (H<sub>2</sub>O), que es transportada por medio de una bomba 142 a través de un dispositivo de enfriamiento 143 (opcional). El agua puede retirarse de una zona inferior del refrigerante de contacto directo 141. De la cabeza del refrigerante de contacto directo 141 se retira una corriente s enfriada correspondientemente, que puede conducirse a continuación por ejemplo a un dispositivo de purificación del aire 15 (compárense las figuras 2A a 2F).

En discrepancia con lo anterior, de acuerdo con la variante del dispositivo de enfriamiento 141 ilustrada en la figura 3B no se prevé un refrigerante de contacto directo 141 sino un intercambiador de calor 144. También este intercambiador de calor 144 puede hacerse funcionar con una corriente de agua, que por medio de una bomba 142 se hace pasar a través de un dispositivo de enfriamiento 143 (opcional).

En la figura 4 se ilustra en detalle un dispositivo de purificación del aire 15, que es particularmente apropiado para el empleo en una unidad de acondicionamiento de aire 10, como se muestra en las figuras 2A a 2D. Una corriente enfriada s procedente por ejemplo de un dispositivo de enfriamiento 14 (compárense las figuras 2A a 2D y las figuras 3A y 3B) puede hacerse pasar en este caso en funcionamiento alternativo por dos recipientes adsorbedores 151, que contienen por ejemplo un tamiz molecular. La corriente s corresponde en este caso a la corriente a comprimida y enfriada respectiva (compárense las figuras 2A a 2D). En los recipientes adsorbedores 151 se separan particularmente agua y dióxido de carbono de la corriente s. Una corriente t obtenida respectivamente que por ejemplo en el caso de las formas de realización ilustradas en las figuras 2B y 2D puede corresponder a la corriente b se conduce al dispositivo dispuesto en cada caso aguas abajo de éste, por ejemplo al dispositivo de compresión más próximo (compárense las

figuras 2A y 2C) o a la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo 20 o a la unidad de intercambio de calor en contracorriente 30 (compárense las figuras 2B y 2D).

5 El recipiente adsorbedor 151 no empleado en cada caso para la purificación de la corriente s puede regenerarse por medio de la corriente de gas de regeneración k ya explicada. La corriente k puede conducirse en este caso primeramente a un dispositivo opcional de precalentamiento del gas de regeneración 152, que se ilustra en un ejemplo en la figura 5 siguiente. En un dispositivo de sobrecalentamiento del gas del regenerador post-conectado 153, que puede hacerse funcionar por ejemplo eléctricamente y/o con vapor sobrecalentado, la corriente de gas de regeneración k se calienta adicionalmente y se conduce a través del recipiente adsorbedor 151 a regenerar respectivamente. Aguas  
10 abajo del recipiente adsorbedor 151 a regenerar se encuentra una corriente l correspondiente. Esto mismo es válido, cuando no es necesario gas de regeneración alguno en el momento representado, porque en este caso una corriente l correspondiente se conduce directamente desde el dispositivo de purificación del aire 15 (véase la corriente l en la parte superior de la figura 4).

15 En la figura 5 se ilustra particularmente el funcionamiento de un dispositivo de recalentamiento de gas de regenerador de acuerdo con una forma de realización de la invención. El dispositivo de calentamiento de gas de regeneración 152 puede ser por ejemplo uno de los dispositivos de post-enfriamiento 13 ó 17 sustituidos o añadidos y con ello dispuestos aguas abajo de un dispositivo de compresión del aire 12 ó 16. Una corriente de aire calentada debido a un dispositivo correspondiente puede ser conducida a través de un intercambiador intercambiador de calor 152 a del dispositivo de precalentamiento del gas de regenerador 152 o hecha pasar por éste y con ello transferir calor a una corriente de gas de regenerador k.  
20

En las figuras 6A y 6B se muestran dispositivos de purificación del aire 15, que son apropiados particularmente para para las formas de realización de la presente invención ilustradas en las figuras 2 y 2F o los dispositivos de acondicionamiento del aire representados en éstas. En las figuras 6A y 6B se ilustran el periodo de almacenamiento de energía (figura 6 A) y el periodo de recuperación de energía (figura 6 B), donde en el periodo de almacenamiento de energía se realiza una purificación concienzuda de una corriente s. Dado que en el periodo de recuperación de energía no se añade a una planta correspondiente 100 cantidad alguna de aire en forma de la corriente a y como el dispositivo de acondicionamiento del aire 10 no estar operación, está disponible o recipiente adsorbedor correspondiente 151 en momentos de este tipo para la regeneración. La forma de realización ilustrada en las figuras 6 6 6B presenta por tanto la ventaja particular de que tiene que estar provisto solamente un recipiente adsorbedor 151 correspondiente y no 2 que de acuerdo con la figura 4 se hacen funcionar en operación alternativa. Esto exige, como se muestra en la ciudad 12 2F, la puesta a disposición de una corriente de gas de regeneración respectiva k durante el periodo de recuperación de energía.  
30

35 También en este caso puede precalentarse una corriente de gas de regeneración k en un dispositivo de precalentamiento del gas de regenerador opcional 152, que se ilustra detalladamente en la figura 7, y calentarse en un dispositivo de calentamiento del gas de regeneración 153.

40 En el periodo de recuperación de energía ilustrado en la figura 6B se conduce por tanto gas de regeneración calentado correspondiente a 3 del recipiente adsorbedor 151, y en el periodo de almacenamiento de energía está disponible este recipiente de gas de regenerador 151 para la purificación concienzuda de la corriente s.

5 En las figuras 7 se ilustra, como se ha mencionado, un dispositivo de precalentamiento del gas de regeneración 152, que es especialmente apropiado para el empleo en el dispositivo de purificación del aire 15 representado en las figuras 6A y 6B. La corriente de gas de regeneración k se conduce en este caso a través del sistema recuperador 61 ya ilustrado en las figuras 2 heridosF en contracorriente con la corriente n explicada (l adicionalmente a la corriente de media presión j).

10 Aparte las figuras 8 a 8C ilustran plantas de acuerdo con formas de realización preferidas de la invención respectivamente en el periodo de almacenamiento de energía. Las plantas corresponden en este caso con relación a la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo 20, la unidad de producción de frío 40, la unidad de almacenamiento de líquidos 50 y la unidad de producción de energía 60 esencialmente a las formas de realización explicadas anteriormente, diferenciándose sin embargo particularmente en lo que respecta a la unidad intercambio de calor en contracorriente 30, que se explica por esta razón más adelante.

15 De acuerdo con la forma de realización ilustrada en la figura 8 A, la unidad intercambio de calor en contracorriente 50 puede por ejemplo hacerse operar por medio de una corriente u, que se hace pasar desde el extremo frío al extremo caliente a través de uno o varios intercambiadores de calor 31 de la unidad de intercambio de calor en contracorriente 30.

20 Para la puesta a disposición de la corriente u puede implementarse por ejemplo un proceso de licuefacción-32, que se hace avanzar por medio de compresores apropiados, es decir puestos a disposición además de la unidad de acondicionamiento de aire 10.

25 En la forma de realización que se que se muestra en la figura 8 B, que corresponde a la forma de realización representada en las figuras 1A y 1 B, puede conducirse por otra parte a la unidad de intercambio de calor en contracorriente 10 una corriente de media presión j y alimentarse al extremo caliente del intercambiador de calor 31. La corriente j puede retirarse del intercambiador de calor 31 a una temperatura intermedia y expandirse en una turbina generadora 33. Una corriente parcial adicional de la corriente de aire de alta presión b o su corriente parcial d puede retirarse asimismo a una temperatura intermedia del intercambiador de calor 131 y expandirse en una turbina generadora adicional 34. Las corrientes mencionadas pueden reunirse y hacerse pasar juntas a través de la turbina generadora 33. El frío que se libera por la expansión se utiliza para la licuefacción de la corriente c (véanse las figuras 1A y 1B), mientras que las corrientes respectivas se conducen en frío al intercambiador de calor 31 junto con la corriente i ya explicada.

35 En una variante representada en figura 8 C, la corriente i del intercambiador de calor 31 se conduce a la unidad intercambio de calor en contracorriente 30 en frío, se retira a una temperatura intermedia, se reúne con la corriente de media presión j, que asimismo se ha llevado a una temperatura intermedia por el paso través del intercambiador de calor 31, y se expande a continuación en la turbina generadora 33. Previamente puede reunirse una corriente respectiva de aire con una corriente parcial de la corriente c, como se ha representado ya en la figura 8 B.

40 Las formas de realización ilustradas en las figuras 8B y 8C son particularmente apropiadas para la utilización de corrientes i que se encuentran a niveles de presión diferentes.

**REIVINDICACIONES**

1. Proceso para almacenamiento y recuperación de energía en el cual, en un periodo de almacenamiento de energía, se forma un producto de licuefacción del aire (LAIR) y, en un periodo de recuperación de energía, se forma una corriente presurizada y expandida con recepción de trabajo utilizando al menos parte del producto de licuefacción del aire (LAIR), comprendiendo el método:
- 5 para la formación del producto de licuefacción del aire (LAIR),  
 comprimir aire (AIR) en una unidad de acondicionamiento de aire (10), al menos por medio de al menos un dispositivo de compresión que opera isotérmicamente (12, 16), y purificar  
 10 por adsorción el aire por medio de al menos un dispositivo de purificación por adsorción (15) a un nivel de presión superatmosférica,  
 licuar el aire presurizado y purificado por adsorción (HPAIR) partiendo de un nivel de temperatura comprendido en un intervalo de 0 a 50°C en una primera fracción en una  
 15 unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo (20) y en una segunda fracción en una unidad de intercambio de calor en contracorriente (30) a un nivel de presión de licuefacción comprendido en un intervalo de 40 a 100 bar, y  
 expandir subsiguientemente el aire licuado (HPLAIR) en una unidad de producción de frío (40),  
 y, para la formación de la corriente presurizada,  
 20 producir un producto de vaporización (HPAIR) a partir de al menos parte del producto de licuefacción (LAIR) a un nivel de presión de vaporización que se desvía en no más de 5 bar del nivel de presión de licuefacción, en la unidad de almacenamiento de frío de lecho fijo (20), y  
 formar una corriente de fluido a partir de al menos parte del producto de vaporización (HPAIR) y conducirla a través de al menos un dispositivo de combustión (63) en el cual se  
 25 quema un combustible,  
 en donde el Proceso comprende alimentar al al menos un dispositivo de purificación por adsorción (15) un gas de regeneración que se forma a partir de una parte del aire (HPAIR) que se ha comprimido y purificado por adsorción previamente en la unidad de acondicionamiento de aire (10).  
 30
2. Proceso conforme a la reivindicación 1, que comprende expandir la corriente fluida conocida a través del al menos un dispositivo de combustión (63) en al menos una turbina generadora (64) como la corriente presurizada.
- 35 3. Proceso conforme a la reivindicación 2, que comprende utilizar al menos una turbina de expansión de al menos una unidad de turbinas de gas (65) como la al menos una turbina generadora.
4. Proceso conforme a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende calentar, expandir y/o comprimir la corriente fluida al menos una vez antes de conducirla al dispositivo de combustión (63).  
 40
5. Proceso conforme a una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende formar esas de regeneración durante el periodo de almacenamiento de energía a partir de al menos parte de un producto de evaporación formado durante la expansión del aire licuado (HPLAIR).



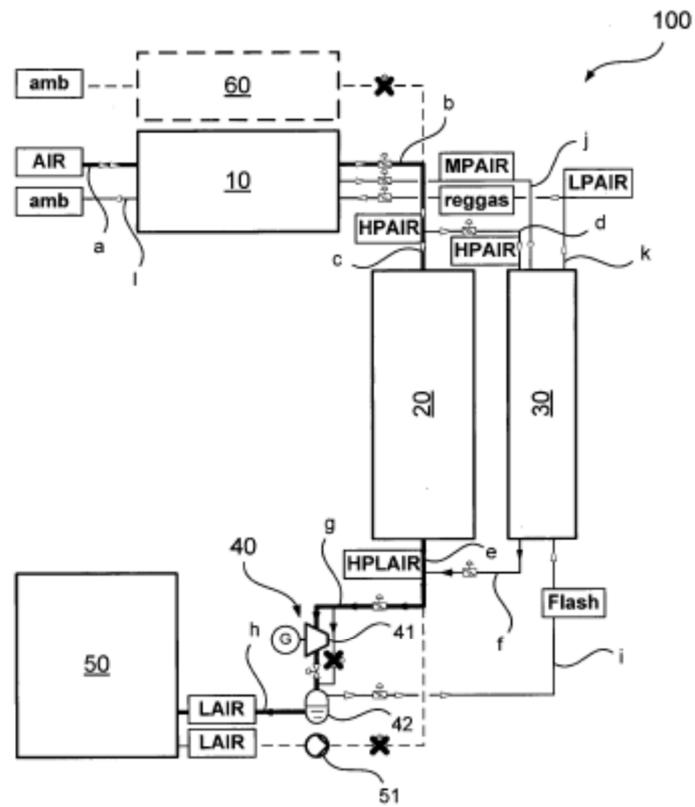


Fig. 1A

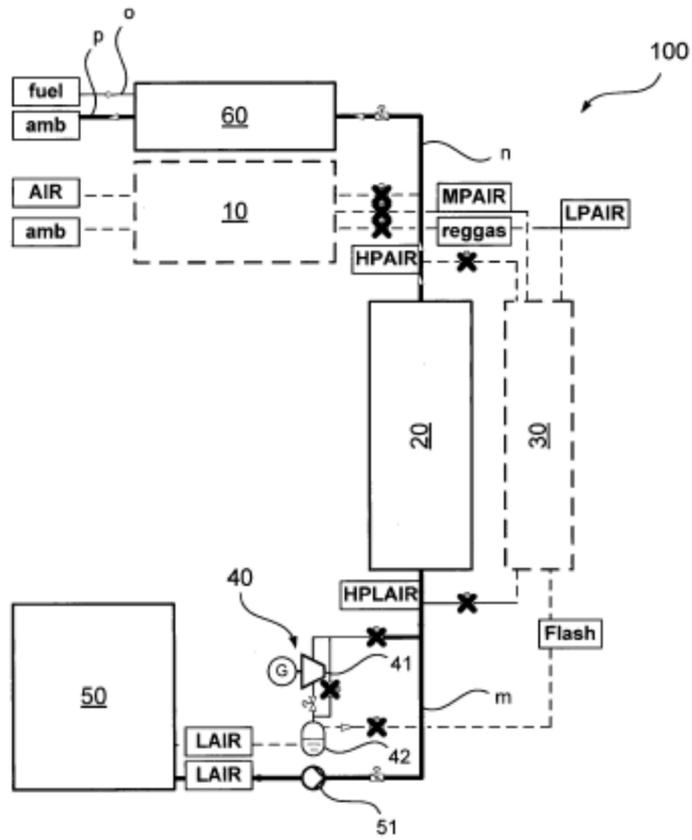


Fig. 1B

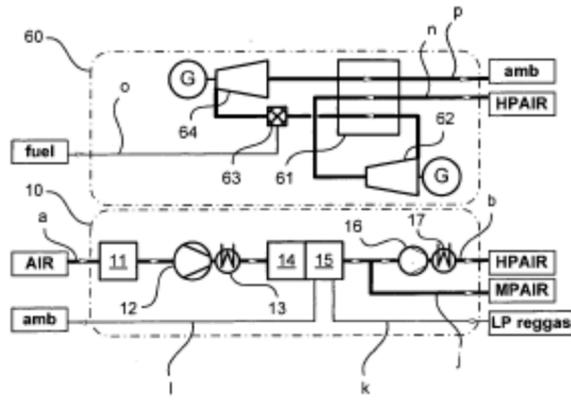


Fig. 2A

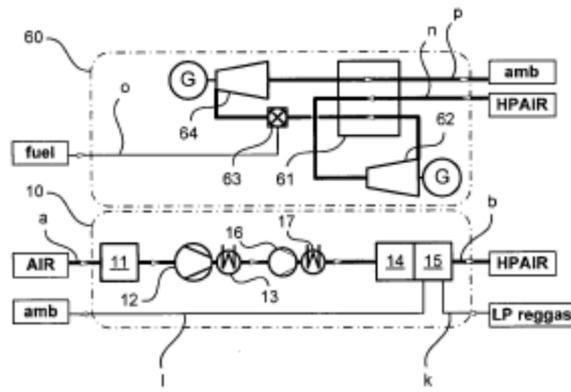


Fig. 2B

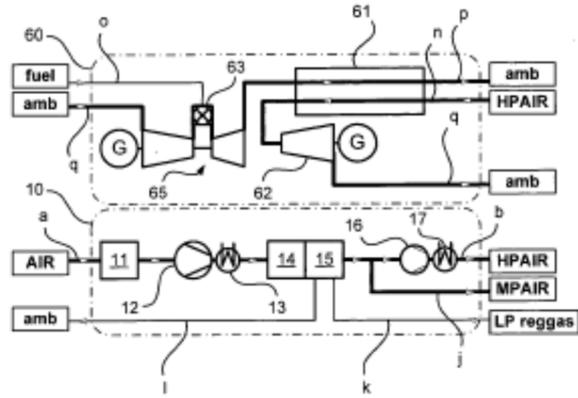


Fig. 2C

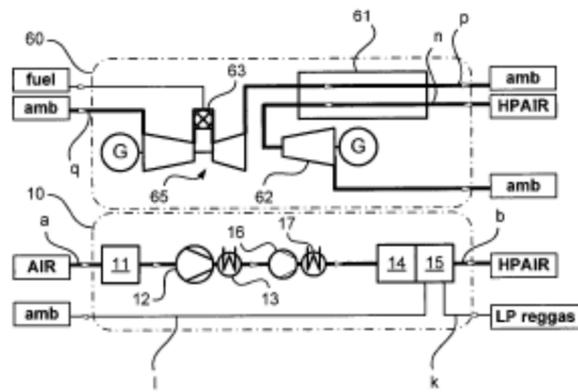


Fig. 2D

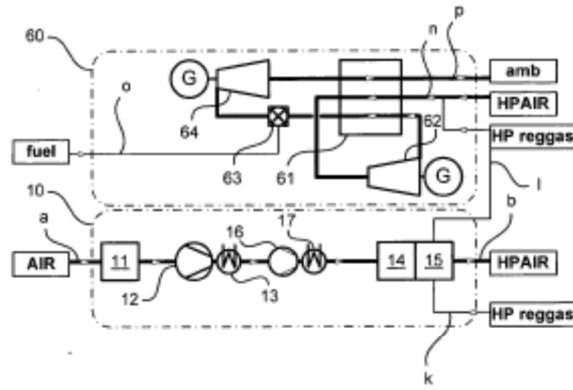


Fig. 2E

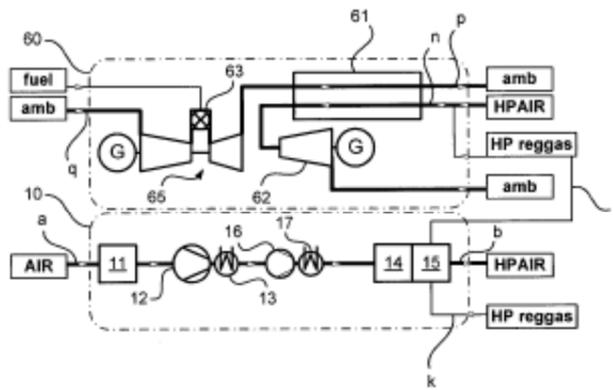
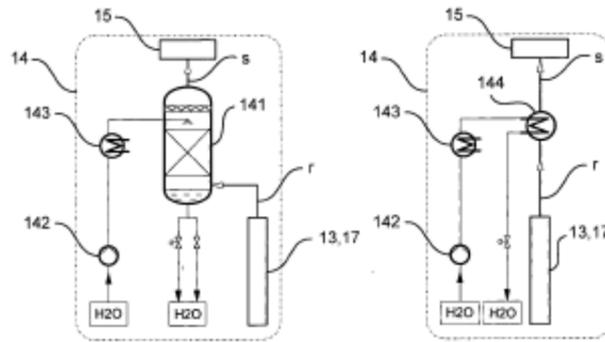
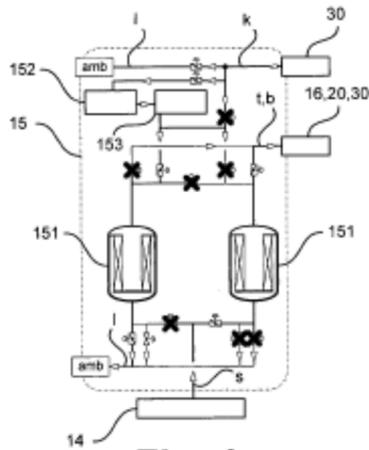


Fig. 2F

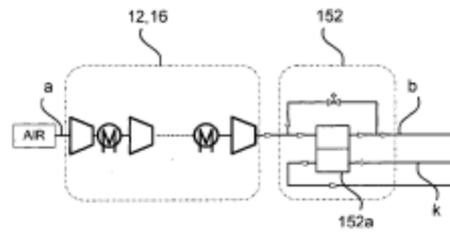


**Fig. 3A**

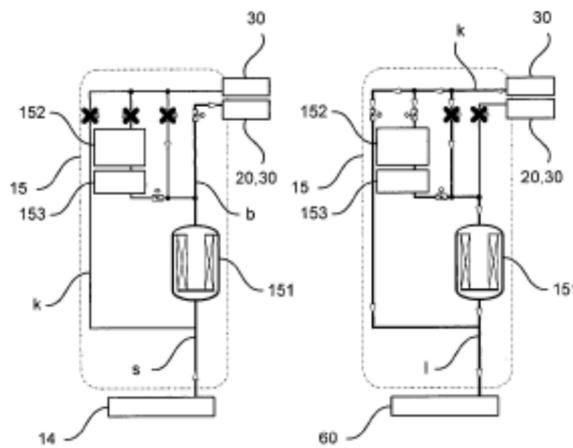
**Fig. 3B**



**Fig. 4**

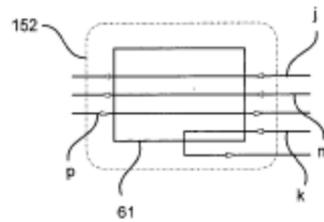


**Fig. 5**



**Fig. 6A**

**Fig. 6B**



**Fig. 7**

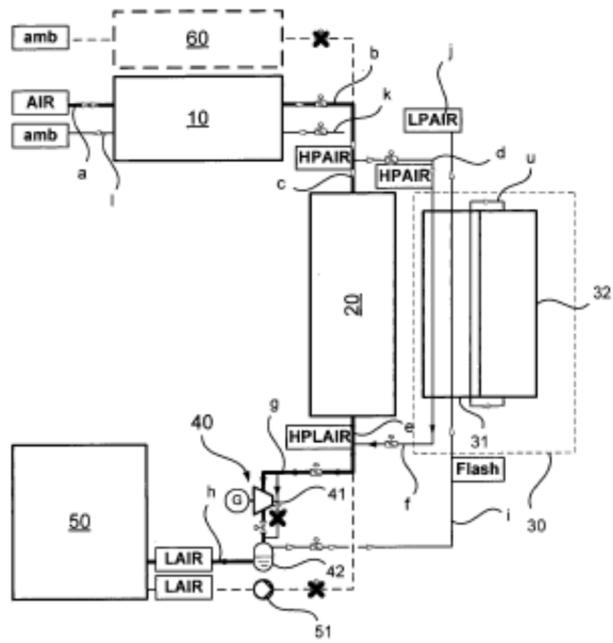


Fig. 8A

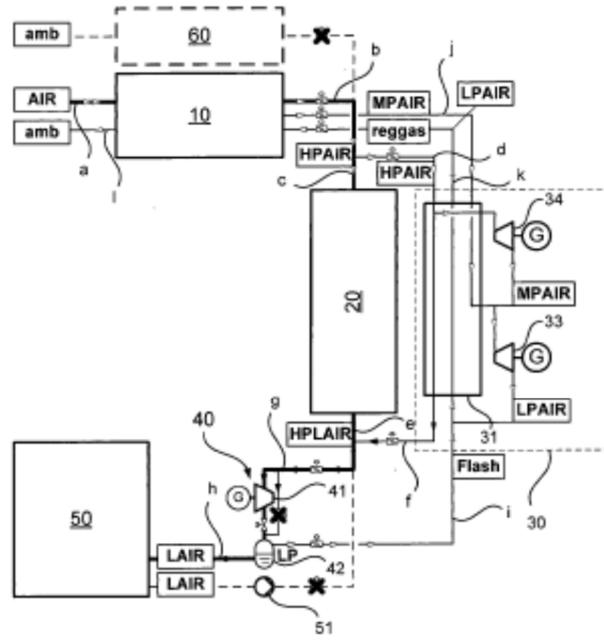


Fig. 8B

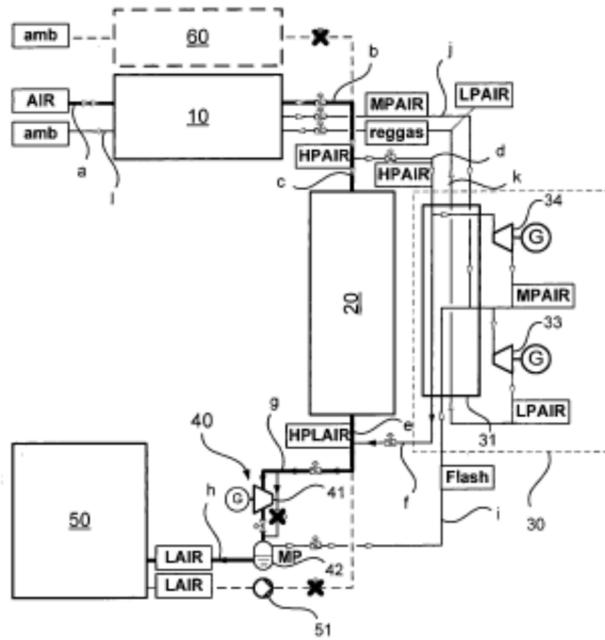


Fig. 8C