

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 557 448**

51 Int. Cl.:

F02C 6/00 (2006.01)
F02C 6/18 (2006.01)
F02C 6/14 (2006.01)
F01D 15/10 (2006.01)
F02C 1/04 (2006.01)
F01K 25/10 (2006.01)
F01K 23/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2012 E 12702607 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2015 EP 2663757**

54 Título: **Dispositivo y método de generación de electricidad**

30 Prioridad:

13.01.2011 GB 201100569

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

26.01.2016

73 Titular/es:

HIGHVIEW ENTERPRISES LIMITED (100.0%)
1 Finsbury Circus
London EC2M 7SH, GB

72 Inventor/es:

MORGAN, ROBERT y
BRETT, STEPHEN GARETH

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 557 448 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).

Dispositivo y método de generación de electricidad**Descripción****5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a dispositivos y métodos de generación de electricidad que utilizan un fluido criogénico tal como nitrógeno líquido o aire líquido y una fuente de calor residual de baja temperatura.

10 Antecedentes de la invención

Las redes de distribución de electricidad con frecuencia son apoyadas por una flota de generadores diésel y turbinas de gas de ciclo abierto que proporcionan electricidad durante los períodos de gran demanda y casos de emergencia tal como el fallo inesperado de una central eléctrica. Tales recursos de generación, con frecuencia denominados planta en horas pico, queman combustibles fósiles con bajo rendimiento y pueden ser una fuente significativa de contaminantes atmosféricos. Los servicios proporcionados por tales plantas de hora pico, incluyen, pero no se limitan a,

- equilibrar las diferencias entre la oferta y la demanda en diferentes momentos del día y con poco tiempo de antelación,
- proporcionar la electricidad necesaria para alimentar el equipo auxiliar necesario para rearrancar un recurso de generación en caso de fallo total de la red (apoyo de arranque en frío),
- reforzar la red, en la que partes de la red de distribución de electricidad presentan un déficit de capacidad durante los períodos de gran demanda de energía,
- inyectar energía a la red para apoyar la frecuencia de red cuando la demanda de electricidad aumenta rápidamente.

Además, la pérdida de energía procedente de la red de distribución de electricidad puede dar como resultado una pérdida económica importante para algunos consumidores, tal como por ejemplo un centro de datos, o peligro para el personal, por ejemplo en el caso de un corte de energía en un hospital. Tales aplicaciones utilizan con frecuencia generadores diésel para proporcionar energía de socorro en caso de una interrupción del suministro de electricidad desde la red de distribución. Sería beneficioso sustituir tales generadores diésel con un dispositivo con cero emisiones que utilice un combustible procedente de una fuente sostenible.

Existe la necesidad de un dispositivo que pueda proporcionar un servicio similar pero que utilice un combustible que produzca una contaminación atmosférica baja o preferentemente cero que provenga de una fuente sostenible.

Los autores de la presente invención se han dado cuenta de que existe la posibilidad de generar electricidad utilizando la expansión de aire líquido, nitrógeno líquido o un criógeno para accionar una turbina para generar electricidad. Un dispositivo de este tipo podría proporcionar una solución compacta, reactiva y limpia para el medio ambiente a los problemas de equilibrio del suministro de la red en función de la demanda.

En el documento WO 2007/096656 se describe un sistema de almacenamiento de energía criogénica que explota la diferencia de temperatura y fase entre el aire líquido, el nitrógeno líquido o un criógeno a baja temperatura, y el aire ambiental, o calor residual, para almacenar energía en periodos de baja demanda y/o exceso de producción, permitiendo liberar más tarde esta energía almacenada para generar electricidad durante los períodos de gran demanda y/o producción limitada. El sistema comprende un medio para la licuefacción del aire durante los períodos de baja demanda de electricidad, un medio para almacenar el aire líquido producido y una turbina de expansión para expandir el aire líquido. La turbina de expansión está conectada a un generador para generar electricidad cuando sea necesario para cubrir el déficit entre la oferta y la demanda. Las aplicaciones de destino para la presente invención requieren un número muy bajo de horas de funcionamiento al año, por lo general menos de 500 y en el caso de aplicaciones de energía de reserva, muchas menos. Sería poco rentable instalar un sistema completo de almacenamiento de energía para dar servicio a tales aplicaciones debido a la baja utilización de los equipos de licuefacción de aire y el costo relativamente alto de estos equipos para un nivel de utilización tal bajo.

En el documento PCT/BR2006/000177 se describe un dispositivo para generar energía a partir de aire líquido que utiliza el calor ambiental para proporcionar energía térmica para el proceso de evaporación. Los inventores creen que esta solución no es práctica, ya que se requeriría una superficie de transferencia de calor muy grande para evitar la acumulación de un exceso de hielo en el evaporador durante la evaporación del fluido criogénico frío.

En el documento US 7.047.744 B1 se describe un motor disipador de calor dinámico que tiene un circuito de fluido de trabajo que incluye un recipiente de almacenamiento, una bomba de fluidos, un vaporizador, un calentador y un motor de expansión, en el que fluido de trabajo es bombeado por la bomba desde el recipiente de

almacenamiento a través del vaporizador y el calentador hasta el motor de expansión, y los gases de escape del motor de expansión pasan por el vaporizador y de vuelta al recipiente de almacenamiento.

Resumen de la invención

5 La presente invención proporciona un dispositivo y un método como se expone en las reivindicaciones, para generar electricidad con cero emisiones que puede utilizarse para proporcionar equilibrio de carga y apoyo de emergencia a una red de distribución de electricidad, o energía de reserva a un consumidor crítico tal como un hospital o un centro de datos. El sistema utiliza un fluido criogénico y una fuente de calor residual de baja temperatura.

10 La presente invención se refiere a sistemas de generación de electricidad o “grupos criógenos (cryogensets)” y a métodos que utilizan un fluido criogénico, que es nitrógeno líquido o aire líquido, y una fuente de calor residual de baja temperatura.

15 La presente invención, denominada “grupo criógeno”, desarrolla el elemento de recuperación de energía de la técnica anterior citada anteriormente para proporcionar un dispositivo compacto, limpio, reactivo y eficiente de generación de electricidad y un método de generación de electricidad, que utiliza aire líquido, nitrógeno líquido o un criógeno como fluido de trabajo. El fluido de trabajo es suministrado por una planta central que podría dar servicio a más de un grupo criógeno y a otros usuarios de criógeno y por lo tanto alcanzar un nivel de utilización económica viable para el licuefactor.

20 La presente invención utiliza un fluido criogénico, que puede ser nitrógeno líquido o aire líquido, y una fuente de calor residual de baja temperatura para alimentar un turbogenerador. Las emisiones procedentes del dispositivo son nitrógeno gaseoso o aire gaseoso y no presentan problemas medioambientales. El fluido criogénico se fabrica en una planta de refrigeración o de separación de aire industrial y se suministra en camiones cisterna o por tuberías al grupo criógeno preferentemente a través de un tanque de almacenamiento. La planta de refrigeración industrial puede estar alimentada por una fuente de energía sostenible, tal como un parque eólico o una planta de energía solar, o por una fuente de baja emisión de carbono tal como una central nuclear. De esta manera, el combustible consumido en el grupo criógeno procede de una fuente sostenible. La Figura 1 muestra el grupo criógeno en relación con la fuente de calor, el licuefactor y el usuario final.

25 El grupo criógeno es alimentado por la expansión de un gas a alta presión a través de una turbina de expansión, que a su vez acciona un generador para producir electricidad. El gas a alta presión es generado por una primera compresión de un fluido criogénico, por lo general aire o nitrógeno, en una bomba, seguido de la evaporación del fluido criogénico dentro de un evaporador. En los sistemas no según la presente invención, la evaporación del fluido criogénico utiliza calor ambiental solamente y requiere un gran número de vaporizadores ambientales. Tales vaporizadores se construyen por lo general a partir de un tubo con aletas a través del cual pasa el fluido criogénico. El calor se transfiere a través de las aletas al ambiente. En tales sistemas, las aletas y los tubos no deben estar situados demasiado cerca entre sí o se acumularía un exceso de hielo en las aletas, que daría como resultado una degradación del rendimiento y posibles daños mecánicos al equipo debido al peso del hielo. Este problema es especialmente pertinente para, y es abordado por, el grupo criógeno de la presente invención, ya que debe calentarse gran cantidad de fluido criogénico en un corto lapso de tiempo.

40 En la presente invención, el fluido criogénico se evapora primero utilizando los gases de escape a baja presión procedentes de la turbina de expansión. El gas frío consecuentemente a alta presión se calienta adicionalmente mediante un sobrecalentador que recoge energía térmica procedente de una fuente de calor residual de baja temperatura, tal como una central térmica o un proceso industrial. La combinación del uso del gas de escape procedente de la turbina y el calor residual de baja temperatura permite diseñar un dispositivo rentable mucho más compacto sin necesidad de un gran número de vaporizadores ambientales. El uso del gas de escape para evaporar el criógeno elimina el requisito de fluidos de transferencia de calor de muy baja temperatura para esta etapa del proceso, mejorando por tanto la rentabilidad global del sistema. Además, el gas de escape final procedente del sistema, a la salida del evaporador, está a una temperatura muy baja, por lo general menos de 10°C superior al líquido criogénico a alta presión, y se evacúa a la atmósfera o se utiliza en un proceso en la misma instalación que requiera energía fría, tal como un sistema de refrigeración o de aire acondicionado.

Breve descripción de los dibujos

45 A continuación se describen las formas de realización de la presente invención con respecto a las figuras en las que:

50 la figura 1 muestra el concepto del grupo criógeno de la presente invención en relación con un suministro de fluido criogénico desde una planta de refrigeración y la integración con una fuente de calor residual de baja temperatura;

65 la figura 2 muestra un grupo criógeno según la presente invención con una sola etapa de turbina;

la figura 3 muestra una segunda forma de realización de un grupo criógeno según la presente invención que incorpora una segunda etapa de turbina para mejorar el rendimiento;

la figura 4 muestra una tercera forma de realización de un grupo criógeno según la presente invención que utiliza un circuito de fluido de transferencia de calor adicional; y

5 la figura 5 muestra una cuarta y preferente forma de realización de un grupo criógeno según la presente invención.

Descripción detallada de los dibujos

10 El concepto del sistema de generación de electricidad del grupo criógeno de la presente invención se muestra en la figura 1. El líquido criogénico se fabrica en la planta de refrigeración industrial o unidad de separación de aire (ASU) 100 y se lleva en camiones cisterna o por tuberías 110 al recipiente de almacenamiento 120, en la misma instalación que el grupo criógeno. Cuando se necesita electricidad para apoyar a la red o proporcionar suministros de reserva, el líquido criogénico se libera del recipiente de almacenamiento al grupo criógeno 130, para
15 generar electricidad que satisfaga la demanda. El grupo criógeno está situado cerca de una fuente de calor residual de baja temperatura (por lo general entre 20°C y 150°C) 140, que se utiliza para mejorar el rendimiento del sistema como se describe en las siguientes formas de realización. La energía para la ASU 100 puede suministrarse desde la red de distribución de electricidad 150, a partir de una o más centrales eléctricas basadas en combustibles fósiles, energía nuclear y energías renovables, y/o de una conexión a una planta de generación de energía renovable 160, tal como una turbina eólica.

A continuación se describen los elementos que comprenden las diferentes formas de realización del grupo criógeno 130 con respecto a las figuras 2-4.

25 En una primera forma de realización de la presente invención mostrada en la figura 2, el líquido criogénico se recibe desde al menos un tanque de almacenamiento 1 y se comprime a alta presión, por lo general superior a 70 bar, pero inferior a 200 bar, mediante al menos una bomba de líquidos 2. A continuación, el líquido a alta presión se evapora utilizando un evaporador 3, que está conectado, en el lado de calentamiento, al escape de una turbina de expansión 10. A continuación, el fluido a alta presión ahora gaseoso se calienta adicionalmente mediante otro
30 intercambiador de calor (denominado sobrecalentador) 4 utilizando calor, Q, a partir de una fuente, o fuentes, de calor de baja temperatura 20, tal como una central térmica o un proceso industrial. A continuación, el gas se expande a través de la turbina de expansión 10 para generar potencia motriz que a su vez acciona un generador 15 para producir electricidad. El gas de escape a baja presión procedente de la turbina, que se encuentra a presión atmosférica o ligeramente por encima de ella (por lo general de 1 bar a 2 bares), se devuelve a continuación al evaporador 3 para evaporar más líquido criogénico a alta presión entrante. El gas de escape final procedente del sistema se encuentra a una temperatura muy baja, por lo general menos de 10°C superior al líquido criogénico a alta presión, ó entre -170°C y -150°C, y puede evacuarse a la atmósfera o utilizarse en una proceso en la misma instalación que requiera energía fría, tal como un sistema de refrigeración o de aire acondicionado.

40 En una segunda forma de realización de la invención como se muestra en la figura 3, el gas a alta presión se expande en dos etapas de turbina 10, 11 para mejorar el rendimiento del proceso. Aunque en la figura 3 se muestran dos etapas 10, 11, pueden utilizarse más de dos etapas de turbina. El rendimiento se mejora adicionalmente recalentando el gas expandido en parte entre cada etapa de turbina utilizando otro intercambiador de calor (denominado recalentador) 5 y calor residual de baja temperatura, Q', a partir de al menos una fuente de calor residual 20. En todos los demás aspectos, el sistema de la figura 3 es el mismo que el de la figura 2. La fuente de calor residual 20 utilizada en el recalentador 5 puede ser la misma fuente o una fuente diferente a la utilizada en el sobrecalentador 4. El gas de escape a baja presión procedente de la última etapa de turbina 11 se devuelve a continuación al evaporador 3 para evaporar el líquido criogénico a alta presión entrante.

50 Cuando la fuente de calor residual de baja temperatura 20 está a una temperatura por encima de 150°C, hay pocos fluidos de transferencia de calor rentables que puedan funcionar a una temperatura suficientemente alta y no se congelen a las bajas temperaturas que se encuentran en el sobrecalentador 4. Por ejemplo, muchos fluidos de transferencia de calor a base de hidrocarburos de baja temperatura sólo pueden funcionar entre -120°C y 160°C. Los ejemplos de tales fluidos de transferencia de calor de baja temperatura son los comercializados bajo las marcas Dynalene MV, Paratherm CR. El fluido de transferencia de calor se degradaría significativamente si la fuente de calor fuese, por ejemplo, el escape de una turbina de gas o motor diésel. Los fluidos de transferencia de calor de alta temperatura que pueden funcionar a temperaturas superiores a 200°C se vuelven muy viscosos e incluso se congelan si se utilizan por debajo de -30°C. Un ejemplo de un fluido de transferencia de calor de alta temperatura de este tipo que es el comercializado bajo la marca Marlotherm LH.

60 Para estos casos, en una forma de realización adicional de la invención como se muestra en la figura 4, puede añadirse un intercambiador de calor adicional (denominado calentador principal) 30 antes del sobrecalentador 4 que permita utilizar dos fluidos de transferencia de calor diferentes, de lo contrario el sistema de la figura 4 es el mismo que el de la figura 3. Se utiliza un primer fluido de transferencia de calor, que puede funcionar a una temperatura baja, para proporcionar la primera etapa de calentamiento en el intercambiador de calor principal 30. Un segundo fluido de transferencia de calor, que funciona a una temperatura superior a la del primer fluido de
65

transferencia de calor, pero que puede congelarse si se utiliza directamente en el intercambiador de calor principal 30, se utiliza en el sobrecalentador 4 y en el recalentador 5 entre las etapas de turbina 10, 11. El primer fluido de transferencia de calor puede calentarse directamente de una de las al menos una fuente de calor residual 20 si la temperatura no es demasiado alta, o de otra manera, indirectamente utilizando el segundo fluido de transferencia de calor (no mostrado en la figura 4).

Los autores de la presente invención han identificado varios procesos de generación de energía que producen diversas calidades de calor residual que podrían utilizarse con el grupo criógeno de la presente invención. En la Tabla 1 se resumen algunos ejemplos.

Tabla 1: Ejemplos de fuentes de calor residual

Fuente	Ubicación	Temperatura
Escape de motor diésel o de gasolina	Escape	de 400°C a 600°C
	Agua de refrigeración de la camisa	de 70°C a 90°C
Turbina de gas de ciclo abierto	Escape	de 450°C a 550°C
	Agua de refrigeración auxiliar	de 40°C a 60°C
Turbina de gas de ciclo combinado	Escape	de 100°C a 140°C
	Agua condensada	de 20°C a 50°C
Incineradora de residuos	Gas de escape	de 450°C a 600°C
	Agua condensada (utilizada con frecuencia para calefacción urbana)	de 60°C a 100°C

Una forma de realización preferente del grupo criógeno es una turbina de dos etapas integrada con una fuente de calor residual de 200°C a 250°C, suministrada desde una incineradora de residuos, una turbina de gas o un escape de motor de gasolina. Los inventores han descubierto que las turbinas de dos etapas pueden adquirirse fácilmente mientras que más etapas requerirían un diseño a medida. Además, las bombas criogénicas actuales están limitadas a 100 bar de presión y, por lo tanto, los beneficios de más de dos etapas de turbina son pequeños sin pasar a una presión mayor que requeriría el desarrollo de una nueva bomba criogénica. En la figura 5 se muestra un diagrama de flujo de proceso típico para la configuración de dos etapas, y en la Tabla 2 se muestran las presiones y temperaturas típicas para una máquina de 3 MW a 4 MW. Se utiliza un bucle de calentamiento tanto de alta como de baja temperatura, como se analiza con respecto a la figura 4, con dos medios de transferencia de calor diferentes para asegurar la compatibilidad entre los fluidos de transferencia de calor y las temperaturas de la superficie del intercambiador de calor. En la forma de realización preferente, la entrada del calentador principal está a -93°C y es más probable que los fluidos de transferencia de calor de alta temperatura sean excesivamente viscosos o se congelen si se utilizan para calentar este intercambiador de calor. Los números de referencia utilizados en la figura 5 corresponden a los componentes y etapas indicados en la Tabla 2.

Tabla 2: Tabla de flujo de proceso

Temperaturas, presiones y flujos de proceso		Presión	Temperatura
		Bar abs.	°C
501	Tanque de almacenamiento	5,0	-177
502	Entrada del evaporador	97,0	-170
503	Entrada del calentador principal	96,8	-93
504	Entrada del sobrecalentador	96,5	20
505	Entrada de la turbina, Etapa 1	95,0	227
506	Salida de la turbina, Etapa 1	12,0	42
507	Entrada de la turbina, Etapa 2	12,0	227
508	Salida de la turbina, Etapa 2	1,2	19
509	Escape	1,0	-168

La presente invención se ha descrito anteriormente a simple modo de ejemplo. Sin embargo, cabe señalar que pueden realizarse modificaciones en los detalles dentro del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas a la misma.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Reivindicaciones

1. Dispositivo de generación de electricidad (130) que comprende:

5 un tanque de almacenamiento (1) para almacenar un fluido criogénico, en el que el fluido criogénico es nitrógeno líquido o aire líquido;
 una bomba de fluidos (2) para comprimir a alta presión el fluido criogénico extraído del tanque de almacenamiento,
 un evaporador (3) para evaporar el fluido criogénico a alta presión, para proporcionar un gas a alta presión,
 10 un sobrecalentador (4) para calentar el gas a alta presión a una temperatura elevada utilizando una fuente de calor (20) procedente de un proceso en la misma instalación, y
 una turbina de expansión (10) para expandir y obtener trabajo del gas a alta presión sobrecalentado y para accionar un generador (15) para producir electricidad a partir de la energía de rotación producida por la turbina de expansión, en el que el evaporador está previsto para evaporar el fluido criogénico a alta presión utilizando el escape a baja presión procedente de la turbina de expansión; en el que un escape final emitido desde el evaporador:

- i. se dispone para proporcionar energía fría para su uso en un proceso en la misma instalación; o
- ii. se evacúa a la atmósfera.

20 2. Dispositivo de generación de electricidad (130) según la reivindicación 1, en el que el dispositivo está conectado a una red de generación de electricidad para proporcionar al menos un servicio de apoyo de red.

25 3. Dispositivo de generación de electricidad (130) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente un calentador principal (30), en el que el calentador principal y el sobrecalentador se disponen para calentar el gas a alta presión procedente del evaporador en dos etapas utilizando al menos una fuente de calor procedente de al menos un proceso en la misma instalación.

30 4. Dispositivo de generación de electricidad (130) según la reivindicación 3, en el que se dispone un primer medio de transferencia de calor para transferir calor desde la al menos una fuente de calor hasta el calentador principal, y se dispone un segundo medio de transferencia de calor diferente del primer medio de transferencia de calor para transferir calor desde la al menos una fuente de calor hasta el sobrecalentador.

35 5. Dispositivo de generación de electricidad (130) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la turbina de expansión comprende una turbina multietapa, y que comprende adicionalmente un recalentador (5) dispuesto entre cada etapa de la turbina multietapa para calentar el escape enfriado procedente de la etapa anterior de la turbina antes de que el gas de escape entre en la siguiente etapa de turbina.

40 6. Dispositivo de generación de electricidad (130) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se dispone un escape final emitido desde el evaporador para proporcionar energía fría para su uso en un proceso en la misma instalación.

45 7. Dispositivo de generación de electricidad según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el proceso en la misma instalación es una central eléctrica o un proceso industrial.

8. Método de generación de electricidad que comprende:

50 almacenar un fluido criogénico en un tanque de almacenamiento (1), en el que el fluido criogénico es nitrógeno líquido o aire líquido;
 extraer el fluido criogénico del tanque de almacenamiento (1) y comprimir a alta presión el fluido criogénico utilizando una bomba de fluidos (2);
 evaporar el fluido criogénico a alta presión en un evaporador (3) utilizando el escape a baja presión de una turbina de expansión para proporcionar un gas a alta presión;
 55 calentar el gas a alta presión procedente del evaporador a una temperatura elevada utilizando un sobrecalentador (4) y una fuente de calor procedente de un proceso en la misma instalación;
 expandir el gas a alta presión sobrecalentado utilizando la turbina de expansión (10); y
 obtener trabajo del gas a alta presión para accionar un generador (15) y producir electricidad a partir de la energía de rotación producida por la turbina de expansión; y, o bien:

- 60 i. obtener energía fría de un escape final del evaporador, y utilizar la energía fría obtenida en un proceso en la misma instalación; o
- ii. evacuar a la atmósfera un escape final del evaporador.

65 9. Método según la reivindicación 8, en el que el proceso en la misma instalación es una central eléctrica o un proceso industrial.

10. Método según la reivindicación 8 o la reivindicación 9, que comprende adicionalmente:
- 5 suministrar la electricidad producida por el generador a la red de distribución de electricidad para proporcionar al menos un servicio de apoyo de red.
11. Método según la reivindicación 10, en el que el al menos un servicio de apoyo de red comprende al menos uno de:
- 10 a) equilibrar las diferencias entre la oferta y la demanda en diferentes momentos del día;
b) equilibrar las diferencias entre la oferta y la demanda con poco tiempo de antelación;
c) inyectar electricidad a la red para apoyar la frecuencia cuando la demanda aumenta rápidamente;
d) proporcionar apoyo de arranque en frío; y
e) proporcionar un refuerzo a la red de distribución de electricidad cuando partes de la red de distribución de electricidad presentan un déficit de capacidad durante los períodos de gran demanda de energía.
- 15 12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, que comprende adicionalmente:
- utilizar la electricidad generada para proporcionar energía de reserva.
- 20 13. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que la etapa de calentar el gas a alta presión comprende:
- 25 calentar el gas a alta presión durante una primera etapa utilizando un calentador principal (30) que utiliza energía procedente del al menos un proceso en la misma instalación; y
calentar el gas a alta presión durante una segunda etapa utilizando un sobrecalentador que utiliza energía procedente de al menos un proceso en la misma instalación.
- 30 14. Método según la reivindicación 13 en el que la energía se transfiere al calentador principal durante la primera etapa utilizando un primer medio de transferencia de calor, y la energía se transfiere al sobrecalentador durante la segunda etapa utilizando un segundo medio de transferencia de calor diferente del primer medio de transferencia de calor.
- 35 15. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en el que la etapa de expandir el gas a alta presión sobrecalentado comprende expandir el gas en una turbina multietapa:
- expandiendo el gas en una primera etapa de la turbina multietapa;
calentando el gas de escape procedente de la primera etapa de la turbina multietapa con un recalentador (5); y
expandiendo el gas de escape procedente del recalentador en una segunda etapa de la turbina multietapa.
- 40 16. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 15, que comprende adicionalmente obtener energía fría de un escape final del evaporador, y utilizar la energía fría obtenida en un proceso en la misma instalación.
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

Figura 1

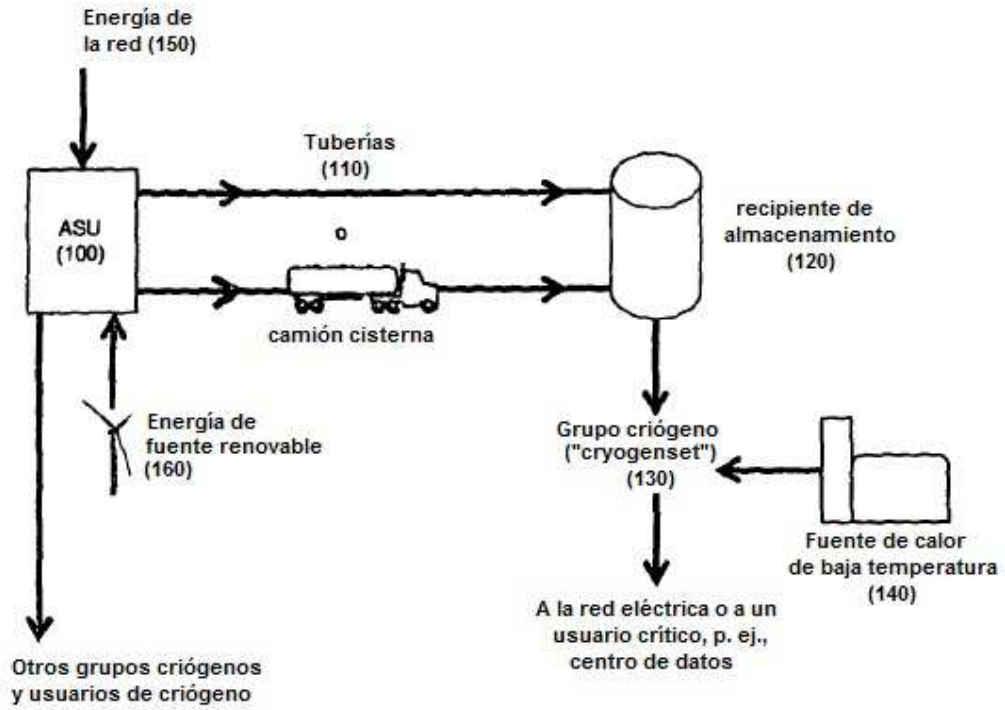


Figura 2

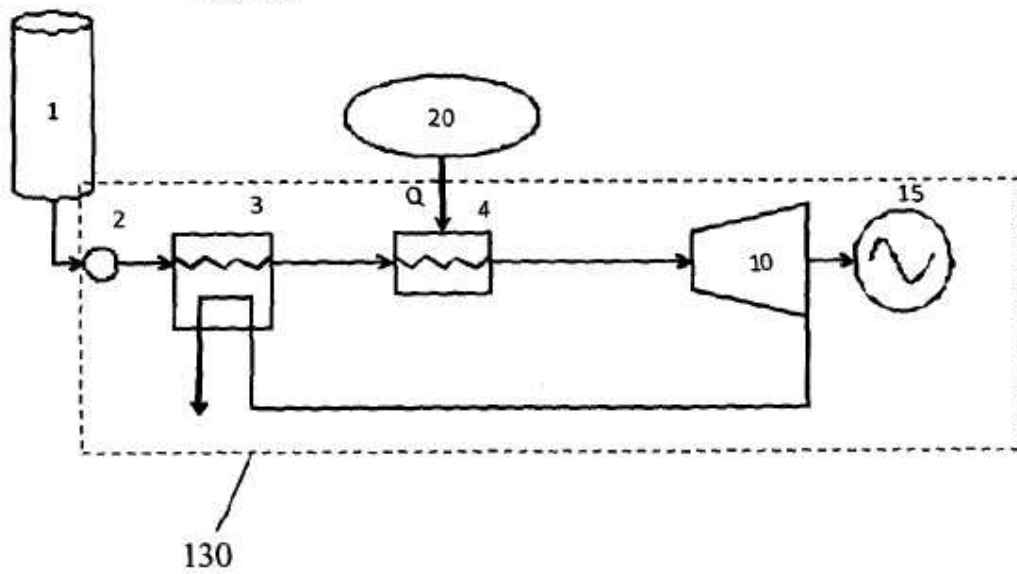


Figura 3

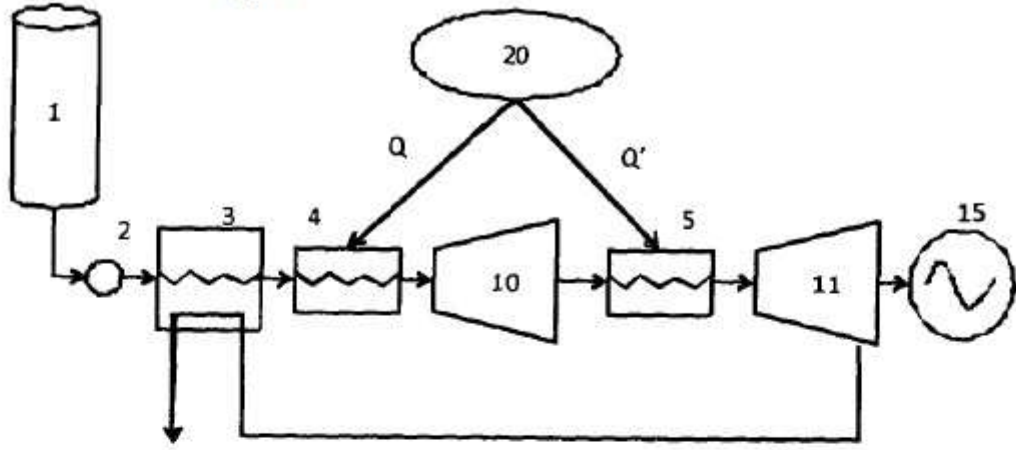


Figura 4

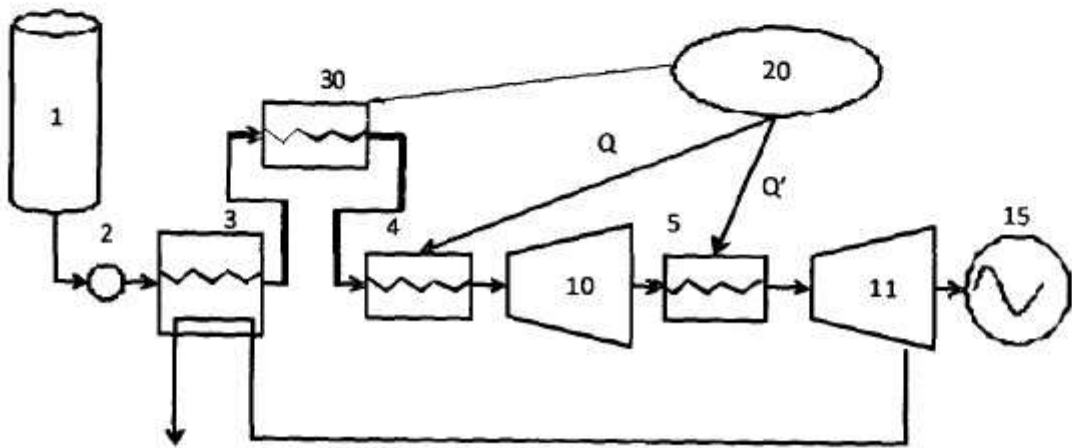


Figura 5

