

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 918 383**

51 Int. Cl.:

<b>F01K 3/12</b>	(2006.01)
<b>F01K 3/16</b>	(2006.01)
<b>F01K 3/18</b>	(2006.01)
<b>F01K 13/02</b>	(2006.01)
<b>F01K 25/10</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.05.2016 PCT/GB2016/051571**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2016 WO16189335**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2016 E 16726413 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.05.2022 EP 3303778**

54 Título: **Mejoras en el almacenamiento de energía**

30 Prioridad:

**28.05.2015 GB 201509206**  
**23.10.2015 GB 201518849**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.07.2022**

73 Titular/es:

**HIGHVIEW ENTERPRISES LIMITED (100.0%)**  
**Suite A 6 Honduras Street**  
**London EC1Y 0TH, GB**

72 Inventor/es:

**BAILEY, CHRIS;**  
**BRETT, STEPHEN GARETH y**  
**NELMES, STUART**

74 Agente/Representante:

**DÍAZ DE BUSTAMANTE TERMINEL, Isidro**

**ES 2 918 383 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

Mejoras en el almacenamiento de energía

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a un sistema y método de almacenamiento de energía, particularmente a un sistema y método de almacenamiento de energía térmica, y más particularmente a un sistema y método de almacenamiento de energía criogénica.

**Antecedentes de la invención**

10 Las redes (o redes eléctricas) de transmisión y distribución de electricidad deben equilibrar la generación de electricidad con la demanda de los consumidores. En la actualidad, esto normalmente se logra modulando un lado de generación (lado de suministro) de la red encendiendo y apagando centrales eléctricas y/o haciendo funcionar algunas centrales eléctricas a carga reducida. Dado que la mayoría de las centrales térmicas y nucleares existentes son más eficientes cuando funcionan continuamente a plena carga, equilibrar el lado del suministro de esta manera  
15 da como resultado una penalización de la eficiencia. Se espera que pronto se introduzca en las redes una capacidad significativa de generación renovable intermitente, tal como turbinas eólicas y colectores solares, y esto complicará aún más el equilibrio de las redes al crear incertidumbre en la disponibilidad de partes del lado de generación.

Los dispositivos y sistemas de almacenamiento de potencia típicamente tienen tres fases de funcionamiento: carga, almacenamiento y descarga. Los dispositivos de almacenamiento de potencia típicamente generan potencia  
20 (descarga) de forma muy intermitente cuando hay escasez de capacidad de generación en las redes de transmisión y distribución. Esto se puede señalar al operador del dispositivo de almacenamiento mediante un alto precio de la electricidad en el mercado eléctrico local o mediante una solicitud de capacidad adicional por parte de la organización responsable de la operación de la red. En algunos países, tales como el Reino Unido, el operador de red celebra contratos para el suministro de reservas de respaldo a la red con operadores de centrales eléctricas con capacidad de arranque rápido. Dichos contratos pueden cubrir meses o incluso años, pero típicamente el tiempo que el proveedor de potencia estará operando (generando potencia) es muy corto. Además, un dispositivo de almacenamiento puede brindar un servicio adicional al proporcionar cargas adicionales en momentos de exceso de suministro de potencia a la red desde generadores renovables intermitentes. La velocidad del viento suele ser alta durante la noche cuando la demanda es baja. El operador de la red debe disponer la demanda adicional en la red  
25 para utilizar el exceso de oferta, a través de señales de bajo precio de la energía o contratos específicos con los consumidores, o restringir el suministro de potencia desde otras estaciones o desde los parques eólicos. En algunos casos, especialmente en los mercados donde se subvencionan los aerogeneradores, el operador de la red tendrá que pagar a los operadores del parque eólico para que "apaguen el parque eólico". Un dispositivo de almacenamiento ofrece al operador de la red una carga adicional útil que puede usarse para equilibrar la red en momentos de exceso de suministro.  
30

Para que un sistema o dispositivo de almacenamiento sea comercialmente viable, son importantes los siguientes factores: coste de capital por MW (capacidad de potencia), coste de capital por MWh (capacidad de energía), eficiencia del ciclo de ida y vuelta y vida útil con respecto a la cantidad de ciclos de carga y descarga que se puede esperar de la inversión inicial. Para aplicaciones generalizadas a escala de servicios públicos, también es importante  
35 que el dispositivo de almacenamiento no tenga restricciones geográficas, es decir, que se pueda construir en cualquier lugar, en particular junto a un punto de alta demanda o junto a una fuente de intermitencia o un cuello de botella en la red de transmisión y distribución.

Una tecnología de dispositivo de almacenamiento de este tipo es el almacenamiento de energía usando un criógeno (Almacenamiento de Energía mediante Aire Líquido (LAES)), tal como aire líquido o nitrógeno líquido, que ofrece  
40 una serie de ventajas en el mercado. En términos generales, un sistema LAES típicamente, en la fase de carga, utilizaría electricidad de bajo coste o excedente, en períodos de baja demanda o exceso de suministro de generadores renovables intermitentes, para licuar un fluido de trabajo tal como aire o nitrógeno durante una primera fase de licuefacción. A continuación, este se almacena como un fluido criogénico en un tanque de almacenamiento durante una fase de almacenamiento y, posteriormente, se libera para impulsar una turbina, produciendo electricidad durante una fase de descarga o recuperación de potencia, en períodos de alta demanda o suministro insuficiente de generadores renovables intermitentes.  
45

Los sistemas LAES son predominantemente de base mecánica, siendo los principales componentes del sistema turboexpansores, compresores y bombas. Aunque estos componentes pueden ofrecer tiempos de respuesta de unos pocos minutos, la respuesta típicamente no es instantánea.  
50

Los sistemas LAES a menudo incluyen almacenamiento térmico para almacenar el calor producido por los compresores usados en el ciclo de refrigeración requerido para cargar el sistema. A continuación, este calor se usa  
55

para sobrecalentar el fluido de trabajo (es decir, el criógeno) durante la fase de recuperación de potencia, lo que aumenta la cantidad de energía que se puede recuperar. El calor residual también se puede almacenar a partir de un proceso cobicado.

5 Durante la fase de almacenamiento, aunque el almacenamiento térmico está aislado térmicamente, se produce una salida de calor, lo que hace que una pequeña parte de la energía térmica se pierda en el entorno circundante.

Por lo tanto, sería ventajoso mejorar la respuesta instantánea de un sistema LAES mitigando al mismo tiempo los efectos de la salida de calor del almacenamiento térmico y suministrando más calor para aumentar la salida del sistema LAES.

10 El documento US 2015/113940 describe sistemas, métodos y dispositivos para el almacenamiento de energía mediante aire líquido junto con ciclos de generación de potencia, de acuerdo con el preámbulo de las reivindicaciones independientes 1, 5, 17 o 18.

15 El documento GB 2494400 describe un sistema de almacenamiento de energía criogénica y un método de almacenamiento de en el presente documento usando el sistema que tiene un tanque de almacenamiento criogénico, una bomba para comprimir el criógeno del tanque y que lo suministra a un primer intercambiador de calor donde recibe calor de un acumulador térmico, el criógeno se suministra a continuación a un sistema de recuperación de potencia donde impulsa una o más turbinas para generar potencia.

### Resumen de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un sistema de almacenamiento de energía criogénica que comprende:

20 un aparato de licuefacción para licuar un gas para formar un criógeno, en donde el aparato de licuefacción se puede controlar para extraer potencia de una fuente de potencia externa para licuar el gas;

un tanque de almacenamiento criogénico en comunicación fluida con el aparato de licuefacción para almacenar el criógeno producido por el aparato de licuefacción;

25 un aparato de recuperación de potencia en comunicación fluida con el tanque de almacenamiento criogénico para recuperar potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico calentando el criógeno para formar un gas y expandiendo dicho gas;

30 un acumulador térmico caliente para almacenar energía térmica caliente, en donde el acumulador térmico caliente y el aparato de recuperación de potencia están dispuestos de modo que la energía térmica caliente del acumulador térmico caliente pueda transferirse al gas a alta presión antes y/o durante la expansión en el aparato de recuperación de potencia; y

un aparato de carga que se puede controlar para extraer potencia del aparato de recuperación de potencia cuando la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia está por encima de un valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica con energía térmica.

35 El aparato de recuperación de potencia puede comprender una bomba para presurizar el criógeno antes de que el criógeno se caliente para formar un gas. El aparato de recuperación de potencia puede ser para recuperar potencia del tanque de almacenamiento criogénico presurizando el criógeno con la bomba, calentando el criógeno para formar un gas y expandiendo dicho gas. El aparato de recuperación de potencia típicamente recupera potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico bombeando el criógeno a alta presión, calentando el criógeno a alta presión para formar un gas a alta presión y expandiendo dicho gas a alta presión.

40 La palabra "externa" en el término "fuente de potencia externa" se refiere a una fuente de potencia externa al sistema de almacenamiento de energía criogénica.

45 El aparato de carga puede ser controlable para obtener potencia del aparato de recuperación de potencia cuando la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia es mayor que una potencia de salida requerida del sistema. La potencia extraída por el aparato de carga del aparato de recuperación de potencia puede ser igual o menor que la potencia recuperada por el aparato de recuperación de potencia.

El valor umbral puede ser un segundo valor umbral, y el aparato de carga puede controlarse para extraer potencia de la fuente de potencia externa cuando la potencia extraída por el aparato de licuefacción está por debajo de un primer valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica con energía térmica.

50 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un sistema de almacenamiento de energía criogénica que comprende:

un aparato de licuefacción para licuar un gas para formar un criógeno, en donde el aparato de licuefacción se puede controlar para extraer potencia de una fuente de potencia externa para licuar el gas;

un tanque de almacenamiento criogénico en comunicación fluida con el aparato de licuefacción para almacenar el criógeno producido por el aparato de licuefacción;

5 un aparato de recuperación de potencia en comunicación fluida con el tanque de almacenamiento criogénico para recuperar potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico calentando el criógeno para formar un gas y expandiendo dicho gas;

un acumulador térmico caliente para almacenar energía térmica caliente, en donde el acumulador térmico caliente y el aparato de recuperación de potencia están dispuestos de modo que la energía térmica caliente del acumulador térmico caliente pueda transferirse al gas a alta presión antes y/o durante la expansión en el aparato de recuperación de potencia; y

10 un aparato de carga que se puede controlar para extraer potencia de la fuente de potencia externa cuando la potencia extraída por el aparato de licuefacción está por debajo de un valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica con energía térmica.

15 El aparato de recuperación de potencia puede comprender una bomba para presurizar el criógeno antes de que el criógeno se caliente para formar un gas. El aparato de recuperación de potencia puede ser para recuperar potencia del tanque de almacenamiento criogénico presurizando el criógeno con la bomba, calentando el criógeno para formar un gas y expandiendo dicho gas. El aparato de recuperación de potencia típicamente recupera potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico bombeando el criógeno a alta presión, calentando el criógeno a alta presión para formar un gas a alta presión y expandiendo dicho gas a alta presión;

20 El valor umbral puede ser un primer valor umbral, y el aparato de carga puede controlarse para extraer potencia del aparato de recuperación de potencia cuando la potencia recuperada por el aparato de recuperación de potencia está por encima de un segundo valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica con energía térmica.

25 El experto en la materia entenderá que la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia puede estar sujeta a cargas parásitas normales necesarias para el funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía criogénica (por ejemplo, potencia para bombas, ventiladores, el sistema de control, etc.). El experto en la materia entenderá que la "potencia recuperada por el sistema de recuperación de potencia" es la potencia que está disponible para la salida (por ejemplo, a un proceso externo o red eléctrica) una vez que se han restado las pérdidas normales. El término recurrente "proceso externo" se refiere a un sistema externo al sistema de almacenamiento de energía criogénica.

30 El aparato de carga puede controlarse para extraer potencia de la fuente de potencia externa y/o del aparato de recuperación de potencia de manera sustancialmente instantánea. El aparato de carga puede controlarse electrónicamente.

35 El criógeno puede ser aire líquido o nitrógeno líquido. El sistema puede ser un sistema de almacenamiento de energía mediante aire líquido (LAES). El gas producido al aplicar calor al criógeno en el aparato de recuperación de potencia puede ser un gas a alta presión (por ejemplo, criógeno que ha sido bombeado a alta presión y a continuación calentado para convertirse en gas).

40 La energía térmica generada por el aparato de licuefacción y/o un proceso coubicado puede transferirse al acumulador térmico. El proceso coubicado puede ser cualquier proceso independiente que produzca energía térmica que sea transferible al acumulador térmico, tal como un quemador o una central térmica (por ejemplo, turbina de gas). El término "proceso coubicado" se refiere, por tanto, a un sistema coubicado y externo al sistema de almacenamiento de energía criogénica, por ejemplo, centrales eléctricas, plantas de fabricación, centros de datos.

45 El o los umbrales pueden ser variables o constantes, durante un período de tiempo determinado (por ejemplo, varios días, horas, minutos o segundos o subsegundos). La potencia extraída por el aparato de carga puede ser variable o constante, durante un período de tiempo dado. Adicionalmente o como alternativa, la potencia extraída por el aparato de licuefacción puede ser variable o constante, durante un período de tiempo dado. La potencia extraída por el aparato de carga del aparato de recuperación de potencia puede ser igual o menor que la potencia recuperada por el aparato de recuperación de potencia.

El aparato de licuefacción puede comprender un compresor para comprimir gas en un ciclo de refrigeración para producir el criógeno.

50 El aparato de recuperación de potencia puede comprender un expansor para expandir el gas.

El aparato de carga puede comprender un banco de carga. En otras palabras, el aparato de carga puede comprender un componente resistivo, tal como una bobina resistiva o un cable resistivo. Como alternativa, el aparato de carga puede comprender una batería.

El acumulador térmico puede utilizar un fluido de transferencia de calor, tal como agua caliente o aceite caliente. El

acumulador térmico puede comprender un recipiente de almacenamiento térmico, al menos un recipiente de almacenamiento térmico o una pluralidad de recipientes de almacenamiento térmico. El o los recipientes de almacenamiento térmico pueden contener el fluido de transferencia de calor.

5 El aparato de carga puede configurarse para disipar la potencia generada por el aparato de recuperación de potencia cuando el aparato de recuperación de potencia está desconectado de un sumidero de potencia externo debido a un evento anormal.

El sistema puede comprender además un sistema de almacenamiento térmico frío para almacenar el frío recuperado de la evaporación de criógeno para formar gas y para transferir dicho frío al aparato de licuefacción para reducir los requisitos de energía de la licuefacción dentro del aparato de licuefacción.

10 También se proporciona un método de almacenamiento de energía que comprende:

proporcionar un sistema de almacenamiento de energía criogénica que comprende:

un aparato de licuefacción para licuar un gas para formar un criógeno, en donde el aparato de licuefacción se puede controlar para extraer potencia de una fuente de potencia externa para licuar el gas;

15 un tanque de almacenamiento criogénico en comunicación fluida con el aparato de licuefacción para almacenar el criógeno producido por el aparato de licuefacción;

un aparato de recuperación de potencia en comunicación fluida con el tanque de almacenamiento criogénico para recuperar potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico calentando el criógeno para formar un gas y expandiendo dicho gas;

20 un acumulador térmico caliente para almacenar energía térmica caliente, en donde el acumulador térmico caliente y el aparato de recuperación de potencia están dispuestos de modo que la energía térmica caliente del acumulador térmico caliente pueda transferirse al gas antes y/o durante la expansión en el aparato de recuperación de potencia; y

25 un aparato de carga que se puede controlar para extraer potencia del aparato de recuperación de potencia cuando la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia está por encima de un valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica con energía térmica.

También se proporciona un método de almacenamiento de energía que comprende:

proporcionar un sistema de almacenamiento de energía criogénica que comprende:

un aparato de licuefacción para licuar un gas para formar un criógeno, en donde el aparato de licuefacción se puede controlar para extraer potencia de una fuente de potencia externa para licuar el gas;

30 un tanque de almacenamiento criogénico en comunicación fluida con el aparato de licuefacción para almacenar el criógeno producido por el aparato de licuefacción;

un aparato de recuperación de potencia en comunicación fluida con el tanque de almacenamiento criogénico para recuperar potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico calentando el criógeno para formar un gas y expandiendo dicho gas;

35 un acumulador térmico caliente para almacenar energía térmica caliente, en donde el acumulador térmico caliente y el aparato de recuperación de potencia están dispuestos de modo que la energía térmica caliente del acumulador térmico caliente pueda transferirse al gas antes y/o durante la expansión en el aparato de recuperación de potencia; y

40 un aparato de carga que se puede controlar para extraer potencia de la fuente de potencia externa cuando la potencia extraída por el aparato de licuefacción está por debajo de un valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica con energía térmica.

El aparato de recuperación de potencia puede comprender una bomba, y el método puede comprender además presurizar el criógeno usando la bomba antes de calentar el criógeno para formar un gas.

45 La presente invención proporciona un sistema y método para almacenar energía durante períodos de baja demanda para uso posterior durante períodos de alta demanda, o durante baja producción desde generadores intermitentes. Esto es enormemente beneficioso para equilibrar una red eléctrica y proporcionar seguridad en el suministro eléctrico.

50 Un problema con los sistemas de almacenamiento de energía conocidos (por ejemplo, sistemas de almacenamiento de energía criogénica) es que el perfil de carga del sistema a menudo está limitado por el diseño del sistema, particularmente el equipo mecánico dentro de los aparatos de licuefacción y recuperación de potencia conocidos

(por ejemplo, compresores y turboexpansores). La invención comprende un aparato de carga (por ejemplo, un banco de carga o un sistema de banco de carga), tal como un dispositivo de calentamiento eléctrico ubicado en el acumulador térmico, que puede cargarse de manera instantánea o sustancialmente instantánea proporcionando calor para el acumulador térmico, que puede usarse posteriormente en el ciclo de recuperación de potencia del sistema LAES.

La carga del aparato de carga se puede modular junto con la velocidad a la que se carga el equipo mecánico durante la puesta en marcha del aparato de licuefacción durante la fase de licuefacción de modo que la carga de carga LAES global permanezca constante. De esta forma, el sistema LAES se puede usar para proporcionar una respuesta de frecuencia de acción rápida, algo similar a la "Respuesta del lado de la demanda".

Otro beneficio de la invención es que la carga del aparato de carga (por ejemplo, un dispositivo de calentamiento) puede modularse para seguir el suministro fluctuante de fuentes de generación renovables intermitentes, tales como parques eólicos o solares. El dispositivo de calentamiento puede cargarse de manera instantánea en respuesta a un aumento en el suministro desde la fuente de generación de potencia y descargarse de manera instantánea en respuesta a una caída en el suministro desde la fuente de generación de potencia.

Otro beneficio más de la invención es que una parte de la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia puede disiparse en el aparato de carga y dicha parte puede modularse en respuesta a las fluctuaciones de frecuencia en la red eléctrica durante la recuperación de potencia de modo que la potencia exportada a la red pueda modularse más rápido de lo que sería posible dentro de la velocidad de respuesta del equipo mecánico del aparato de recuperación de potencia (por ejemplo, turboexpansor). De esta manera, el sistema LAES se puede usar para proporcionar una "Respuesta de frecuencia" de generación de acción rápida.

Se puede derivar una utilidad adicional del aparato de carga (por ejemplo, un dispositivo de calentamiento) para que actúe como un freno para el o los generadores eléctricos LAES usados durante la descarga del sistema. Debido a que el aparato de carga puede actuar de manera instantánea, puede emplearse como un sistema de protección contra el exceso de velocidad en lugar de los sistemas mecánicos normalmente implementados para eliminar la potencia en el eje del motor principal que acciona el generador cuando el disyuntor del generador se dispara inesperadamente.

#### Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá ahora con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra una vista esquemática de un sistema de almacenamiento de energía criogénica de acuerdo con una realización de la invención;

la figura 2 muestra perfiles de carga de un sistema de almacenamiento de energía criogénica de acuerdo con una realización de la invención;

la figura 3 muestra un primer funcionamiento ejemplar de un sistema de almacenamiento de energía criogénica de acuerdo con una realización de la invención; y

la figura 4 muestra un segundo funcionamiento ejemplar de un sistema de almacenamiento de energía criogénica de acuerdo con una realización de la invención.

la figura 5 muestra un tercer funcionamiento ejemplar de un sistema de almacenamiento de energía criogénica de acuerdo con una realización de la invención.

#### Descripción detallada de los dibujos

La figura 1 ilustra un sistema de almacenamiento de energía criogénica de acuerdo con una realización de la invención, más particularmente un sistema LAES. El sistema 10 emplea el uso de un criógeno (por ejemplo, aire líquido o nitrógeno líquido) como se describe en detalle en el presente documento.

Los procesos de licuefacción (es decir, carga) para sistemas LAES son conocidos en la técnica y tienen en común el uso de medios de compresión, que generan calor (como saben los expertos en la materia). Asimismo, los procesos de recuperación de potencia (es decir, descarga) para sistemas LAES son conocidos en la técnica y tienen en común el uso de medios de expansión (por ejemplo, turboexpansores o expansores alternativos), que pueden beneficiarse de la adición de calor para aumentar la potencia de salida (como sabe el experto en la materia).

El sistema 10 que se muestra en la figura 1 comprende un aparato de licuefacción 100 para licuar un gas para formar un criógeno, un tanque de almacenamiento criogénico 200 en comunicación fluida con el aparato de licuefacción 100 para almacenar el criógeno producido por el aparato de licuefacción 100, un aparato de recuperación de potencia 300 en comunicación fluida con el tanque de almacenamiento criogénico 200 para recuperar potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico 200 calentando el criógeno para formar un gas a alta presión (por ejemplo, criógeno que ha sido bombeado a alta presión y a continuación calentado para

convertirse en gas) y expandiendo el gas a alta presión, y un acumulador térmico caliente 400 para almacenar energía térmica caliente. El acumulador térmico 400 y el aparato de recuperación de potencia 300 están dispuestos de modo que la energía térmica caliente del acumulador térmico pueda transferirse al gas a alta presión antes y/o durante la expansión en el aparato de recuperación de potencia 300.

5 El sistema 10 también comprende un panel de distribución eléctrica 500 y está conectado a una red de distribución de potencia, tal como una red eléctrica, o cualquier fuente de potencia y sumidero de potencia externos adecuados. La potencia recuperada por el aparato de recuperación de potencia 300 típicamente se suministra a un sumidero de potencia externo (por ejemplo, de vuelta a la red de distribución de potencia).

10 El aparato de licuefacción 100, o planta de licuefacción, se puede controlar para extraer potencia de la fuente de potencia externa (por ejemplo, la red de distribución de potencia) para licuar el gas para producir el criógeno. Sin embargo, el perfil de carga de los aparatos de licuefacción tradicionales está limitado por el equipo mecánico (por ejemplo, compresores) dentro del aparato de licuefacción. Por lo tanto, ventajosamente, el sistema 10 también comprende un aparato de carga 600. El aparato de carga 600 se puede controlar para extraer potencia de la fuente de potencia externa cuando la potencia extraída por el aparato de licuefacción 100 está por debajo de un valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica 10 con energía térmica. El valor umbral puede ser un valor predeterminado o puede basarse en valores medidos en tiempo real. El valor umbral también puede variar con el tiempo. El aparato de carga 600 también se puede controlar para extraer potencia de la fuente de potencia externa cuando el aparato de licuefacción 100 no extrae potencia en absoluto. Los medios de control adecuados para controlar la potencia extraída por el aparato de licuefacción 100 y/o el aparato de carga 600 son conocidos en la técnica y los entenderá el experto en la materia. Los medios de control adecuados para controlar la potencia extraída por el aparato de licuefacción 100 pueden comprender un variador de frecuencia para controlar la velocidad de rotación de uno o todos los compresores de dicho aparato o álabes guía de entrada para controlar el flujo másico a través de dicho compresor. Pueden emplearse métodos de control adicionales conocidos en la técnica para garantizar que el equipo auxiliar está funcionando en el punto de funcionamiento apropiado dado el punto de funcionamiento de dicho compresor.

Los medios de control adecuados para controlar la potencia extraída por el aparato de carga 600 pueden comprender electrónica de potencia tal como un inversor para controlar la potencia suministrada al elemento de calentamiento 601, o la conmutación de varios elementos de calentamiento discretos.

30 El aparato de carga 600 se puede, adicionalmente o como alternativa, controlar para extraer potencia del aparato de recuperación de potencia 300 cuando la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia está por encima de un valor umbral (por ejemplo, cuando la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia es mayor que una potencia de salida requerida del sistema, tal como la potencia requerida por un proceso externo o red eléctrica), y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica 10 con energía térmica. Los medios de control adecuados para controlar la potencia suministrada por el aparato de recuperación de potencia 300 y/o la potencia extraída por el aparato de carga 600 son conocidos en la técnica y serán entendidos por el experto en la materia. Los medios de control adecuados para controlar la potencia suministrada por el aparato de recuperación de potencia 300 pueden comprender un variador de frecuencia para controlar la velocidad de rotación de la bomba criogénica de dicho aparato.

40 Pueden emplearse métodos de control adicionales conocidos en la técnica para garantizar que el equipo auxiliar esté funcionando en el punto de funcionamiento apropiado dado el punto de funcionamiento de dicha bomba criogénica.

Los medios de control adecuados para controlar la potencia extraída por el aparato de carga 600 pueden comprender componentes electrónicos de potencia tales como un inversor para controlar la potencia suministrada al elemento de calentamiento 601, o la conmutación de varios elementos de calentamiento discretos.

45 Como se describió anteriormente, el experto en la materia entenderá que la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia puede estar sujeta a cargas parásitas normales necesarias para el funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía criogénica (por ejemplo, potencia para bombas, ventiladores, el sistema de control, etc.). El experto en la materia entenderá que la "potencia recuperada por el sistema de recuperación de potencia" es la potencia que está disponible para la salida (por ejemplo, a un proceso externo o red eléctrica) una vez que se han restado las pérdidas normales. El término "red eléctrica" abarca cualquier red eléctrica a la que se conecta el sistema LAES, incluyendo redes de distribución y transmisión.

55 En la realización que se muestra en la figura 1, el aparato de carga 600 comprende un sistema de banco de carga que comprende un elemento de calentamiento 601. El elemento de calentamiento 601 típicamente comprende un componente resistivo, tal como una bobina o cable resistivo, situado dentro del acumulador térmico 400 y conectado a un variador de frecuencia. Como alternativa, el elemento de calentamiento puede comprender una pluralidad de bobinas o cables. Como alternativa, el elemento de calentamiento puede estar situado fuera del acumulador térmico 400 y conectado a este mediante tuberías y al menos una bomba para transportar calor en un fluido de transferencia de calor desde el elemento de calentamiento al acumulador térmico. El sistema de banco de carga también comprende una unidad de potencia y control 602. Se puede lograr una ventaja similar en términos de carga

instantánea usando un sistema de carga que comprenda un sistema de batería, siendo la diferencia que la energía extraída por el sistema de batería se almacenaría como energía química en lugar de energía térmica, y se recuperaría como en el presente documento eléctrica directamente, en lugar de aumentar la potencia de salida del sistema de recuperación de potencia. Se contempla que esto puede formar un concepto inventivo.

5 Durante la fase de licuefacción o de carga, el aire del ambiente se licua en el aparato de licuefacción 100 y el aire líquido resultante se transporta al tanque de almacenamiento criogénico 200. El calor generado por los compresores en el aparato de licuefacción 100 se recupera y almacena en el acumulador térmico caliente 400. Los medios para recuperar y almacenar energía térmica caliente son conocidos en la técnica y los entenderá el experto en la materia. Los medios para recuperar energía térmica caliente pueden comprender un fluido de transferencia de calor, un intercambiador de calor y una bomba para recircular el fluido de transferencia de calor dentro de un circuito de recuperación térmica. Los medios para almacenar energía térmica caliente pueden comprender un recipiente a presión aislado térmicamente y un medio de almacenamiento térmico. El circuito de recuperación térmica puede comprender un fluido de transferencia de calor, un intercambiador de calor, una bomba para recircular el fluido de transferencia de calor, un recipiente a presión aislado térmicamente y un medio de almacenamiento térmico. El fluido de transferencia de calor se puede usar como medio de almacenamiento térmico. El fluido de transferencia de calor puede mostrar, preferentemente, una elevada capacidad calorífica específica, que puede estar comprendida entre 2 y 5  $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . El fluido de transferencia de calor puede permanecer, preferentemente, en un estado líquido en las condiciones de temperatura y presión aplicadas en el circuito de recuperación térmica en todo momento, es decir, siempre que la potencia de la fuente de potencia externa o del aparato de recuperación de potencia 300 sea extraída o no por el aparato de carga 600. Típicamente, el agua caliente se usa como medio de almacenamiento térmico y/o fluido de transferencia de calor y se bombea alrededor de un circuito de recuperación térmica y se almacena en un tanque aislado térmicamente. También se puede usar aceite caliente como medio de almacenamiento térmico y/o fluido de transferencia de calor en el acumulador térmico 400. También podría utilizarse una mezcla que comprenda agua y glicol como medio de almacenamiento térmico y/o fluido de transferencia de calor. La temperatura del calor o la energía térmica caliente recuperada del aparato de licuefacción 100 depende del diseño del sistema, pero normalmente puede oscilar entre 60 °C y 200 °C.

Durante la fase de recuperación o descarga de potencia, el aire líquido fluye desde el tanque de almacenamiento criogénico 200 hasta el aparato de recuperación de potencia 300, donde se bombea a alta presión y se expande usando un medio de expansión (por ejemplo, una o más turbinas), uno o más turbinas de expansión multietapas) para recuperación de energía. Los medios de expansión adecuados son conocidos en la técnica y los entenderá el experto en la materia. El calor almacenado en el acumulador térmico caliente 400 se suministra al aparato de recuperación de potencia 300 para aumentar la temperatura del aire antes de la expansión y aumentar la potencia de salida del aparato de recuperación de potencia 300. La potencia mecánica generada por las turbinas en el aparato de recuperación de potencia 300 se convierte en potencia eléctrica mediante un alternador 301 y se suministra al sumidero de potencia externo (por ejemplo, la red eléctrica) donde hay demanda de potencia.

Durante la secuencia de puesta en marcha del aparato de licuefacción 100, el equipo mecánico en el aparato de licuefacción 100, que comprende principalmente compresores y bombas, es alimentado hasta el punto de funcionamiento durante un período de tiempo finito. En la figura 2 se muestra un ejemplo de un perfil de carga del aparato de licuefacción 100 durante la secuencia de puesta en marcha, donde la carga total del aparato de licuefacción 100 se representa mediante el área sombreada marcada como P1. La potencia extraída por el aparato de licuefacción 100 aumenta durante varios minutos, típicamente de 2 a 10 minutos, desde cero hasta la carga máxima del aparato de licuefacción 100. En el ejemplo que se muestra en la figura 2, la carga máxima del aparato de licuefacción 100 es de 100 MW. Sin embargo, el experto en la materia comprenderá que se puede usar cualquier carga máxima adecuada.

45 La carga del aparato de licuefacción 100 se mide mediante el panel de distribución eléctrica 500 y la unidad de potencia y control 602 del sistema de banco de carga 600 se controla para extraer una cantidad de potencia que es igual a la diferencia entre la carga real extraída por el aparato de licuefacción 100 y la carga máxima del aparato de licuefacción 100 (la diferencia que surge debido a la respuesta retardada de la carga del equipo mecánico en el aparato de licuefacción 100). Por ejemplo, para una potencia nominal máxima del aparato de licuefacción 100 de 100 MW, si el aparato de licuefacción 100 está aproximadamente a la mitad de su secuencia de puesta en marcha y extrae aproximadamente 40 MW de potencia (como se muestra en la figura 2), el sistema de banco de carga 600 se controla para extraer 60 MW de potencia y la potencia total extraída por el sistema 10 de la red eléctrica es de 100 MW.

55 La potencia extraída por el sistema de banco de carga 600 se usa para alimentar el elemento de calentamiento 601 y se disipa como calor en el acumulador de energía térmica caliente 400. Ejemplos de cargas adicionales del sistema de banco de carga 600 se representan mediante las áreas marcadas P2 y P2' en la figura 2. Se reconocerá que se requeriría un sistema de banco de carga muy grande de 100 MW para proporcionar una respuesta instantánea a plena carga cuando se inicia la operación de puesta en marcha; esto se muestra como P2 en la figura 2. Como alternativa, podría usarse un sistema de banco de carga 600 más pequeño. Si bien dicho sistema de banco de carga 600 más pequeño no podría proporcionar una respuesta instantánea a la carga máxima total del aparato de licuefacción 100, aún podría proporcionar una puesta en marcha inicial rápida a una carga parcial, como se

representa en el área marcada P2' en la figura 2. Este compromiso puede ofrecer una solución ventajosa al problema de proporcionar una respuesta instantánea con una carga aceptable mientras se evita al mismo tiempo la necesidad de proporcionar un sistema de banco de carga 600 muy grande que podría ser costoso y requerir mucho espacio.

5 Como se muestra en la figura 2, en realizaciones donde el sistema de banco de carga 600 es lo suficientemente grande como para proporcionar una respuesta instantánea a plena carga cuando se inicia la operación de puesta en marcha, el efecto neto de la carga extraída por el aparato de licuefacción 100 y la carga extraída por el sistema de banco de carga 600 es un perfil de carga constante, sustancialmente constante o casi constante. En dichos casos, dado que el sistema de banco de carga 600 puede incrementarse de manera instantánea, sustancialmente instantánea o casi instantánea a plena carga, la carga total del sistema LAES también es instantánea, sustancialmente instantánea o casi instantánea. Sin embargo, incluso si se usa un sistema de banco de carga 600 más pequeño (como se describió anteriormente y se muestra mediante el área marcada P2' en la figura 2), la respuesta instantánea general del sistema 10 mejora significativamente con respecto a un sistema sin sistema de banco de carga 600.

15 Un aparato de licuefacción de 100 MW se usa como ejemplo con fines ilustrativos. Sin embargo, el tamaño del aparato de licuefacción es una decisión que debe tomar el diseñador para una aplicación específica, como lo es el tamaño del sistema de banco de carga en relación con el aparato de licuefacción. El experto en la materia comprenderá cómo elegir los componentes del sistema de un tamaño adecuado.

20 La potencia extraída por el sistema de banco de carga 600 se controla mediante medios conocidos por el experto en la materia, por ejemplo, un variador de frecuencia, o una conmutación de varios elementos de calentamiento discretos.

El calor disipado en el acumulador térmico 400 por el sistema de banco de carga complementa el calor suministrado por el aparato de licuefacción 100.

25 La figura 3 ilustra un primer funcionamiento ejemplar de una realización de la invención en la fase de licuefacción para seguir el suministro fluctuante de la generación eólica intermitente. En este modo de funcionamiento, el aparato de licuefacción 100 funciona a 100 MW constantes (carga completa) durante un período de mucho viento. El aparato de carga 600 se controla para consumir la diferencia entre la generación eólica y la carga del aparato de licuefacción 100 de modo que la carga total del sistema coincida con, o permanezca dentro de, el suministro disponible de la generación eólica.

30 La figura 4 ilustra un segundo funcionamiento ejemplar de una realización de la invención en la fase de licuefacción para seguir el suministro fluctuante de la generación eólica intermitente. En este funcionamiento, la carga del aparato de licuefacción 100 se modula de manera similar a la carga del aparato de carga 600.

35 El aparato de licuefacción 100 funciona para proporcionar un control lento de la carga extraída por el sistema LAES y el sistema de banco de carga 600 funciona para proporcionar un control rápido. En este modo de funcionamiento, el aparato de licuefacción 100 se modula en un margen establecido por debajo de un punto de ajuste, por ejemplo, desde el 50 % de la carga máxima del sistema de banco de carga 600 hasta la carga máxima del aparato de licuefacción 100. El equipo mecánico (por ejemplo, giratorio) del aparato de licuefacción 100 es lento en comparación con el sistema de banco de carga 600 para reaccionar a un punto de ajuste cambiante y, por lo tanto, solo es posible un control comparativamente lento del aparato de licuefacción 100. Por el contrario, el sistema de banco de carga 600 se controla y alimenta eléctricamente y, por lo tanto, se puede modular de manera fina y casi instantánea para lograr el punto de ajuste deseado (control rápido).

Si bien los principios anteriores se han descrito junto con el suministro de potencia de un parque eólico, la invención puede aplicarse igualmente a otras fuentes de potencia fluctuantes (por ejemplo, renovables) tales como parques de energía de las olas, mareomotriz o solar.

45 Se pueden obtener ventajas similares durante la fase de recuperación de potencia, pero en respuesta a la demanda fluctuante de la red eléctrica en lugar de la generación fluctuante. El aparato de recuperación de potencia de la central LAES se compone de equipo mecánico; el componente principal es, típicamente, un generador turboexpansor. Cuando funciona en respuesta a señales de potencia fluctuantes de la red (ya sea un punto de ajuste de potencia proporcionado externamente o en respuesta a cambios en la frecuencia de la red), el aparato de recuperación de potencia se controla para proporcionar más o menos potencia. En los sistemas convencionales, esto típicamente solo se puede lograr en unos pocos segundos. Con la creciente penetración de las energías renovables en la red eléctrica y una previsión de reducción de la inercia de la red, se han identificado nuevos requisitos para la respuesta en fracciones de segundo a las desviaciones de frecuencia.

55 La figura 5 ilustra un funcionamiento ejemplar de una realización de la invención en la fase de recuperación de potencia para seguir la carga fluctuante en la red eléctrica. En este modo de funcionamiento, el aparato de recuperación de potencia 300 recupera potencia a una potencia de salida neta  $P_t$ , que se muestra aquí como constante (por ejemplo, 50 MW). El aparato de carga 600 se puede controlar para consumir una parte  $P_d$  de la

potencia recuperada por el aparato de recuperación de potencia 300 y la potencia restante  $P_g$  se exporta a la red. La parte  $P_t$  se convierte sustancialmente en calor en el acumulador térmico caliente 400 donde se usa en el ciclo de recuperación de potencia. Cuando la carga en la red aumenta, el aparato de carga 400 puede descargarse total o parcialmente de modo que una mayor parte, o incluso toda la potencia recuperada por el aparato de recuperación de potencia 300, se exporte a la red. Esto proporciona un medio para proporcionar potencia adicional a la red en una escala de tiempo inferior a un segundo. Por ejemplo, si el aparato de carga 600 está extrayendo 25 MW de potencia para 50 MW de potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia, cuando el aparato de carga está descargado, se pueden exportar hasta 25 MW de potencia adicional a la red de manera casi instantánea. Por el contrario, cuando la carga en la red aumenta, el aparato de carga 400 puede cargarse aún más de modo que una mayor parte de la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia 300 sea consumida por el aparato de carga 600 y la potencia que se exporta a la red se reduce. De hecho, si el aparato de carga 600 está dimensionado para la potencia de salida total del aparato de recuperación de potencia 300, entonces la potencia exportada a la red puede ser tan baja como cero. Posteriormente, el aparato de carga 600 puede descargarse parcial o completamente de modo que se exporte más potencia a la red; por ejemplo, hasta 50 MW más.

El experto en la materia reconocerá que desde el punto de vista de la red eléctrica, el funcionamiento descrito anteriormente constituye una respuesta de frecuencia rápida, donde la carga recibida por la red puede modularse en un marco de tiempo de subsegundos. La figura 5 muestra la carga y descarga escalonada instantánea del aparato de carga 600 con una parte sustancial de la potencia de salida neta del aparato de recuperación de potencia 300. Un experto en la materia reconocerá que también es posible una modulación continua de la parte extraída por el aparato de carga 600. Un experto en la materia también reconocerá que, de manera análoga el funcionamiento secundario que se muestra en la figura 4, el aparato de recuperación de potencia puede modularse lentamente (en la escala de segundos) y el aparato de carga puede modularse rápidamente (en la escala de subsegundos).

Al usar el aparato de carga 600 descrito para extraer la potencia no exportada del aparato de recuperación de potencia 300, se minimizan las pérdidas totales del sistema.

Como beneficio adicional de proporcionar un aparato de carga 600 (por ejemplo, banco de carga) como se describió anteriormente, en un caso en el que se pierde la conexión eléctrica entre el sistema de almacenamiento de energía criogénica 10 y la red eléctrica más amplia, por ejemplo en el caso de un evento anormal tal como un disparo del interruptor principal, la potencia generada por el alternador 301 puede disiparse directamente en el sistema de banco de carga 600, evitando que se produzca un exceso de velocidad. Un experto en la materia reconocerá que, en este caso, el sistema de banco de carga 600 debe tener el tamaño adecuado para disipar la energía contenida en el eje giratorio del sistema de recuperación de potencia 300.

El elemento de calentamiento 601 típicamente se dispone dentro de los tanques de almacenamiento de energía (por ejemplo, tanques de agua caliente) en el acumulador térmico 400. Sin embargo, en una realización alternativa, el elemento de calentamiento 601 puede disponerse en una unidad separada dentro del acumulador térmico 400 de modo que un fluido de transferencia de calor se caliente a medida que fluye a través de la unidad separada.

La presente invención se ha descrito anteriormente de forma ejemplar con referencia a los dibujos adjuntos que representan una única realización de la invención. Se entenderá que existen muchas realizaciones diferentes de la invención, y que todas estas realizaciones están dentro del alcance de la invención tal como se define en las siguientes reivindicaciones.

40

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de almacenamiento de energía criogénica (10) que comprende:
- 5 un aparato de licuefacción (100) para licuar un gas para formar un criógeno, en donde el aparato de licuefacción (100) se puede controlar para extraer potencia de una fuente de potencia externa para licuar el gas;
- un tanque de almacenamiento criogénico (200) en comunicación fluida con el aparato de licuefacción (100) para almacenar el criógeno producido por el aparato de licuefacción (100);
- 10 un aparato de recuperación de potencia (300) en comunicación fluida con el tanque de almacenamiento criogénico (200) para recuperar potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico (200) calentando el criógeno para formar un gas a alta presión y expandiendo dicho gas a alta presión; y
- un acumulador térmico caliente (400) para almacenar energía térmica caliente, en donde el acumulador térmico caliente (400) y el aparato de recuperación de potencia (300) están dispuestos de modo que la energía térmica caliente del acumulador térmico caliente (400) pueda transferirse al gas a alta presión antes y/o durante la expansión en el aparato de recuperación de potencia (300),
- 15 **caracterizado por:**
- un aparato de carga (600) que se puede controlar para extraer potencia del aparato de recuperación de potencia (300) cuando la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia (300) está por encima de un valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica (10) con energía térmica.
- 20 2. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el aparato de carga (600) se puede controlar para extraer potencia del aparato de recuperación de potencia (300) cuando la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia (300) es mayor que la salida de potencia requerida del sistema.
- 25 3. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la potencia extraída por el aparato de carga (600) del aparato de recuperación de potencia (300) es igual o menor que la potencia recuperada por el aparato de recuperación de potencia (300).
- 30 4. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el valor umbral es un segundo valor umbral, y en donde el aparato de carga (600) se puede controlar para extraer potencia de la fuente de potencia externa cuando la potencia extraída por el aparato de licuefacción (100) está por debajo de un primer valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica (10) con energía térmica.
5. Un sistema de almacenamiento de energía criogénica (10) que comprende:
- 35 un aparato de licuefacción (100) para licuar un gas para formar un criógeno, en donde el aparato de licuefacción (100) se puede controlar para extraer potencia de una fuente de potencia externa para licuar el gas;
- un tanque de almacenamiento criogénico (200) en comunicación fluida con el aparato de licuefacción (100) para almacenar el criógeno producido por el aparato de licuefacción (100);
- 40 un aparato de recuperación de potencia (300) en comunicación fluida con el tanque de almacenamiento criogénico (200) para recuperar potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico (200) calentando el criógeno para formar un gas a alta presión y expandiendo dicho gas a alta presión; y
- un acumulador térmico caliente (400) para almacenar energía térmica caliente, en donde el acumulador térmico caliente (400) y el aparato de recuperación de potencia (300) están dispuestos de modo que la energía térmica caliente del acumulador térmico caliente (400) pueda transferirse al gas a alta presión antes y/o durante la expansión en el aparato de recuperación de potencia (300),
- 45 **caracterizado por:**
- un aparato de carga (600) que se puede controlar para extraer potencia de la fuente de potencia externa cuando la potencia extraída por el aparato de licuefacción (100) está por debajo de un valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica (10) con energía térmica.

- 5 6. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el valor umbral es un primer valor umbral, y en donde el aparato de carga (600) se puede controlar para extraer potencia del aparato de recuperación de potencia (300) cuando la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia (300) está por encima de un segundo valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica (10) con energía térmica.
- 10 7. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato de carga (600) se puede controlar para extraer potencia de la fuente de potencia externa de manera sustancialmente instantánea.
- 15 8. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la energía térmica generada por el aparato de licuefacción (100) y/o un proceso cúbicado es transferible al acumulador térmico.
9. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los valores umbral son variables.
- 20 10. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la potencia extraída por el aparato de carga (600) es variable y/o la potencia extraída por el aparato de licuefacción (100) es variable.
- 25 11. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el aparato de recuperación de potencia (300) comprende una bomba para presurizar el criógeno antes de que el criógeno se caliente para formar un gas y un expansor para expandir el gas; y/o el aparato de licuefacción (100) comprende un compresor para comprimir gas en un ciclo de refrigeración para producir criógeno.
- 30 12. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato de carga (600) comprende un banco de carga (601) y/o un componente resistivo (601).
13. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato de carga (600) comprende una bobina resistiva (601) o un cable resistivo (601).
- 35 14. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el acumulador térmico utiliza un fluido de transferencia de calor y/o comprende un recipiente de almacenamiento térmico, al menos un recipiente de almacenamiento térmico o una pluralidad de recipientes de almacenamiento térmico.
- 40 15. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato de carga (600) está configurado para disipar la potencia generada por el aparato de recuperación de potencia (300) cuando el aparato de recuperación de potencia (300) está desconectado de un sumidero de potencia externo debido a un evento anormal.
- 45 16. Un sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un sistema de almacenamiento térmico frío para almacenar el frío recuperado de la evaporación de criógeno para formar gas y para transferir dicho frío al aparato de licuefacción (100) para reducir los requisitos de energía de la licuefacción dentro del aparato de licuefacción (100).
17. Un método de almacenamiento de energía que comprende:  
proporcionar un sistema de almacenamiento de energía criogénica (10) que comprende:

un aparato de licuefacción (100) para licuar un gas para formar un criógeno, en donde el aparato de licuefacción (100) se puede controlar para extraer potencia de una fuente de potencia externa para licuar el gas;

un tanque de almacenamiento criogénico (200) en comunicación fluida con el aparato de licuefacción (100) para almacenar el criógeno producido por el aparato de licuefacción (100);

5 un aparato de recuperación de potencia (300) en comunicación fluida con el tanque de almacenamiento criogénico (200) para recuperar potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico (200) calentando el criógeno para formar un gas y expandiendo dicho gas; y

10 un acumulador térmico caliente (400) para almacenar energía térmica caliente, en donde el acumulador térmico caliente (400) y el aparato de recuperación de potencia (300) están dispuestos de modo que la energía térmica caliente del acumulador térmico caliente (400) pueda transferirse al gas antes y/o durante la expansión en el aparato de recuperación de potencia (300),

**caracterizado por:**

15 un aparato de carga (600) que se puede controlar para extraer potencia del aparato de recuperación de potencia (300) cuando la potencia que es recuperada por el aparato de recuperación de potencia (300) está por encima de un valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica (10) con energía térmica.

18. Un método de almacenamiento de energía que comprende:

proporcionar un sistema de almacenamiento de energía criogénica (10) que comprende:

20 un aparato de licuefacción (100) para licuar un gas para formar un criógeno, en donde el aparato de licuefacción (100) se puede controlar para extraer potencia de una fuente de potencia externa para licuar el gas;

un tanque de almacenamiento criogénico (200) en comunicación fluida con el aparato de licuefacción (100) para almacenar el criógeno producido por el aparato de licuefacción (100);

25 un aparato de recuperación de potencia (300) en comunicación fluida con el tanque de almacenamiento criogénico (200) para recuperar potencia del criógeno del tanque de almacenamiento criogénico (200) calentando el criógeno para formar un gas y expandiendo dicho gas; y

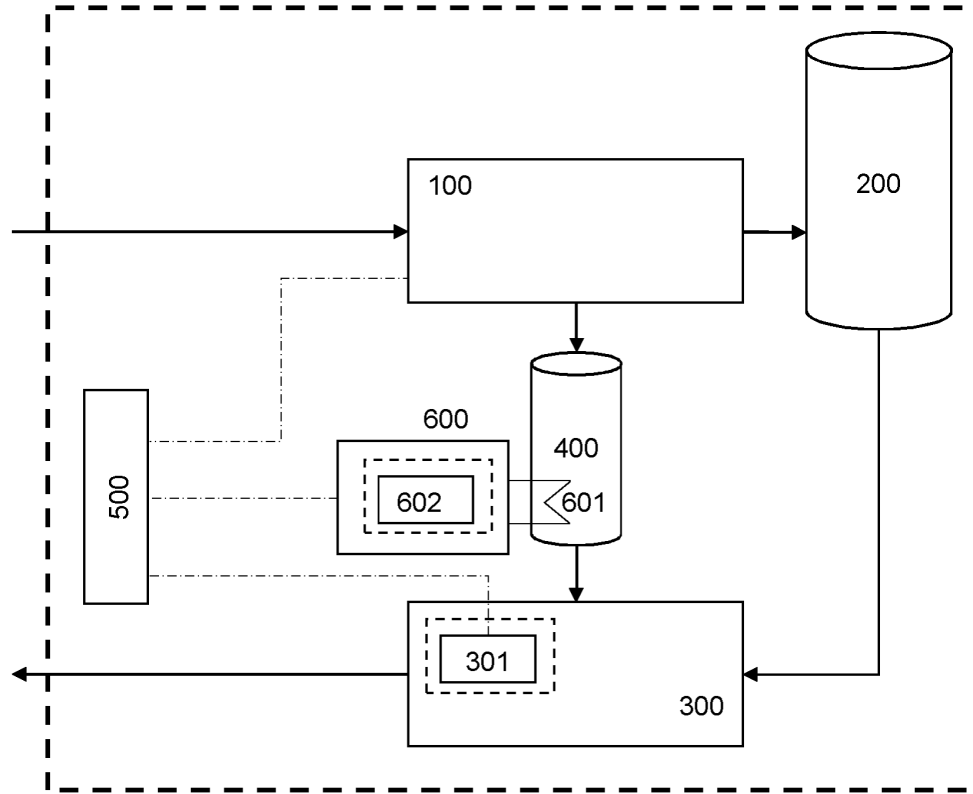
un acumulador térmico caliente (400) para almacenar energía térmica caliente, en donde el acumulador térmico caliente (400) y el aparato de recuperación de potencia (300) están dispuestos de modo que la energía térmica caliente del acumulador térmico caliente (400) pueda transferirse al gas antes y/o durante la expansión en el aparato de recuperación de potencia (300),

30 **caracterizado por:**

un aparato de carga (600) que se puede controlar para extraer potencia de la fuente de potencia externa cuando la potencia extraída por el aparato de licuefacción (100) está por debajo de un valor umbral, y alimentar el sistema de almacenamiento de energía criogénica (10) con energía térmica.

35 19. Un método de acuerdo con la reivindicación 17 o la reivindicación 18, que comprende además presurizar el criógeno usando una bomba antes de calentar el criógeno para formar un gas.

Figura 1



10

Figura 2

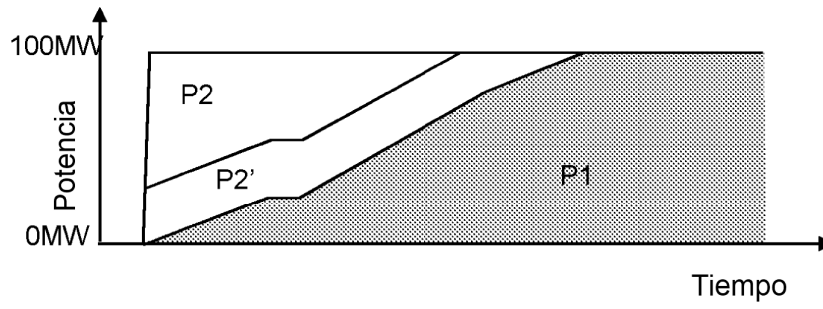


Figura 3

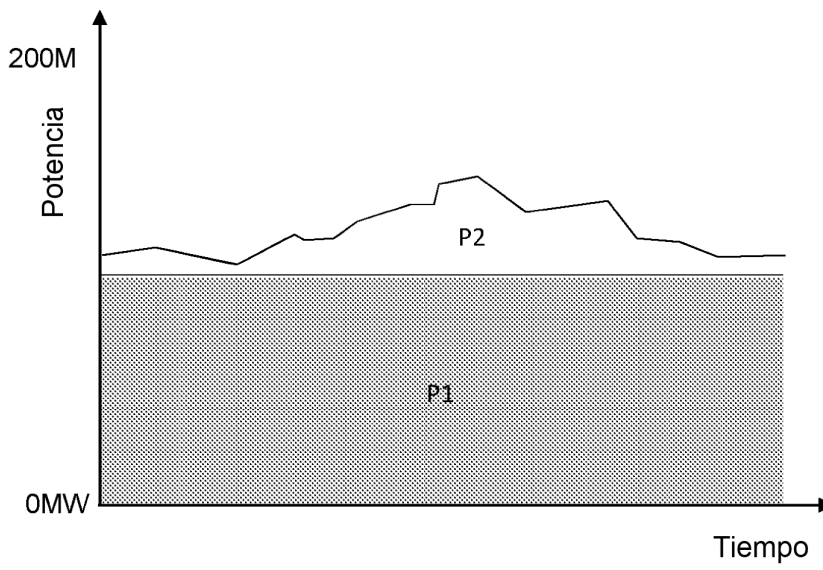


Figura 4

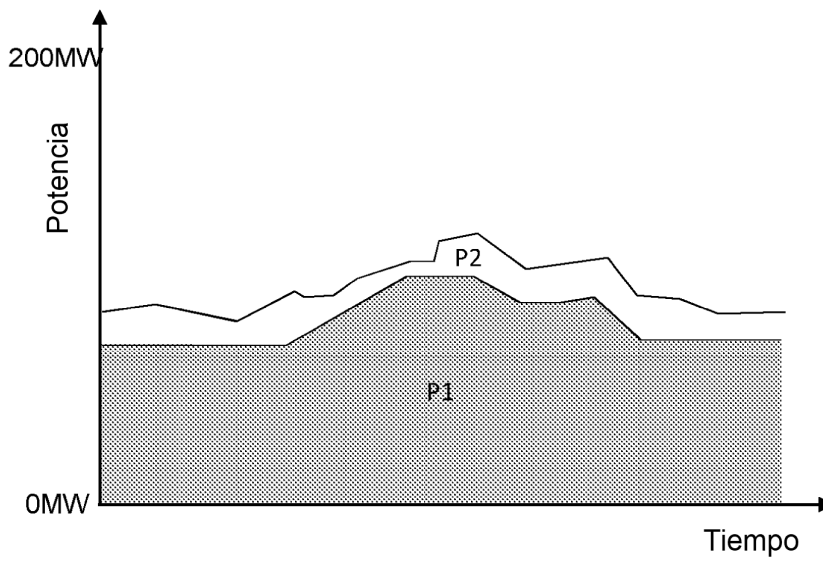


Figura 5

