

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 730**

51 Int. Cl.:

**F16H 39/01** (2006.01)

**F03D 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.08.2014 PCT/IB2014/063630**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.12.2014 WO14203230**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.08.2014 E 14781671 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 3011203**

54 Título: **Sistema de conversión de energía de accionamiento directo para turbinas eólicas compatibles con almacenamiento de energía**

30 Prioridad:

**16.06.2013 GB 201310717**

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

**18.02.2021**

73 Titular/es:

**THE UNIVERSITY OF NOTTINGHAM (100.0%)  
University Park  
Nottingham, Nottinghamshire NG7 2RD, GB**

72 Inventor/es:

**GARVEY, SEAMUS DOMINIC**

74 Agente/Representante:

**CURELL SUÑOL, S.L.P.**

ES 2 806 730 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistema de conversión de energía de accionamiento directo para turbinas eólicas compatibles con almacenamiento de energía

5

**Campo de la invención:**

La presente invención se refiere a un sistema para convertir la potencia del eje de grandes turbinas eólicas rotativas, de manera que la energía recogida esté en una forma compatible con el almacenamiento directo.

10

**Antecedentes.**

Las grandes turbinas eólicas se caracterizan por dos rasgos importantes: (a) giran muy lentamente, y (b) funcionan de manera intermitente debido a que el recurso eólico en sí es intermitente. Debido a las bajas velocidades de rotación, las máquinas que recogen la energía mecánica de los rotores de las turbinas eólicas deben lidiar con pares muy altos, y esto aumenta los costes. En la mayoría de los casos, se usan cajas de engranajes para aumentar la velocidad de rotación antes de que la potencia se transmita a un generador eléctrico, pero las propias cajas de engranajes aún tienen que lidiar con el gran par de entrada, y esto hace que sean caras y relativamente poco fiables.

15

20

El documento US2011/0041501 describe un sistema para convertir energía de uno o más ejes de rotación lenta en energía eléctrica, en el que, en uso, un gas de trabajo es comprimido a partir del eje o ejes de rotación lenta y expandido en un conjunto expansor-generador, y en el que, en uso, la relación entre las presiones en las partes de alta presión y baja presión del circuito es tal que se produce una relación de temperaturas absolutas superiores a 1.5 en los procesos de compresión y expansión.

25

La presente invención propone un sistema que incluye una máquina giratoria que funciona para absorber la potencia del eje directamente desde una turbina eólica al comprimir adiabáticamente (o casi adiabáticamente) cierto fluido compresible hasta cierta relación de presión relativamente grande, de modo que se produce un aumento significativo de la temperatura. El fluido compresible ya está a alta presión antes de ser comprimido posteriormente por la turbina eólica. Esa presión ciertamente sería superior a 3 bares, y en la mayoría de las implementaciones prácticas sería superior a 20 bares. Esto normalmente se lograría manteniendo el fluido de trabajo en un circuito cerrado, estando la parte de menor presión de ese circuito cerrado todavía muy por encima de la presión atmosférica.

30

35

**Sumario de la invención**

El formato básico de la invención se describe con la ayuda de la figura 1. En ella, el sistema de conversión de energía comprende un circuito de gas cerrado que tiene un lado de alta presión (HP) (1) y un lado de baja presión (LP) (2). La expresión "baja presión" (LP) se usa en la presente memoria solo en un sentido relativo. Una característica fundamental de la presente invención es que el lado de LP de este circuito de gas todavía está a una presión sustancialmente por encima de la presión atmosférica – por lo menos 3 veces mayor que la presión atmosférica, y en la mayoría de las implementaciones prácticas sería 20 veces mayor que la presión atmosférica. El lado de HP del circuito de gas tiene nuevamente una presión significativamente más alta - de modo que el aumento de temperatura en el gas asociado con incluso una compresión adiabática reversible será sustancial. Si se usó nitrógeno como gas de trabajo, se podría usar una relación de presión de 50 para lograr una relación de >3.05 entre las temperaturas absolutas del gas después y antes de la compresión. La relación de presiones entre el lado de HP (1) y el lado de LP (2) del circuito de gas cerrado se escogerá en todos los casos de tal manera que se pueda lograr una relación de temperaturas absolutas superior a 1.5. El gas de trabajo generalmente se escogerá para tener una relación alta de calores específicos ( $c_p/c_v$ ), y el argón es una opción probable por esta razón. Con argón como gas de trabajo, la relación de presión mínima contemplada sería de alrededor de 3.3.

40

45

50

El lado de HP del circuito de gas (1) incluye un colector de HP (3) al que están unidos uno o más tubos de alimentación (1a), (1b), (1c) ... etc. De forma similar, el lado de LP del circuito de gas (2) incluye un colector de LP (4) al que están unidos uno o más tubos (2a), (2b), (2c), ... etc.

55

En el sistema, están presentes uno o más compresores primarios de desplazamiento positivo (5a), (5b), (5c), etc. Cada uno de éstos está acoplado a un tubo de LP como una entrada, y a un tubo de HP como una salida. De este modo, el compresor primario (5a) recibe fluido de entrada de LP desde el colector de LP a través de (2a), y exporta fluido de HP a través de (1a). Cada uno de los compresores primarios de desplazamiento positivo, tal como (5a), es accionado por un rotor de turbina eólica.

60

La razón por la cual el gas debe estar a una presión alta, incluso en la entrada de cada compresor rotativo {(5a), (5b), ...}, es porque esto reduce el volumen barrido de entrada requerido del compresor a valores alcanzables. Se pueden concebir turbinas eólicas de accionamiento directo que comprimen el aire directamente de las condiciones atmosféricas, pero los volúmenes barridos de entrada en estos casos son prohibitivamente grandes. Una sección

65

posterior proporciona cierta explicación cuantitativa de este hecho.

En el sistema, están presentes uno o más expansores rotativos (6), y cada uno está acoplado a un generador eléctrico (7). Todo el gas que pasa a través de los compresores primarios también pasa a través de este sistema de expansión, con el fin de extraer algo de energía como energía eléctrica. El conjunto de expansor-generador normalmente funcionaría a una velocidad relativamente alta con el fin de lograr un buen rendimiento a un coste razonablemente bajo.

En el lado de HP (1) del circuito de gas cerrado, está presente un intercambiador de calor (8a), y el mismo está acoplado a un acumulador térmico de alta temperatura (8b). Este acumulador térmico de alta temperatura retiene calor a temperaturas sustancialmente por encima de la temperatura ambiente. Dependiendo del modo de funcionamiento del sistema, se puede extraer calor del gas de HP y ponerlo en el acumulador térmico (8b), o el calor se puede extraer del acumulador térmico e inyectarlo en el gas de HP. Alternativamente, el intercambiador de calor (8a) puede ser evitado por completo por el gas de HP.

En el lado de LP (2) del circuito de gas cerrado, está presente un intercambiador de calor (9a), y el mismo está acoplado a un acumulador térmico de baja temperatura (9b). Este acumulador térmico de alta temperatura retiene calor a temperaturas sustancialmente por debajo de la temperatura ambiente. Dependiendo del modo de funcionamiento del sistema, se puede extraer frío del gas de LP y ponerlo en el acumulador térmico de baja temperatura (9b), o se puede extraer frío del acumulador térmico e inyectarlo en el gas de LP. Alternativamente, el intercambiador de calor (9a) puede ser evitado por completo por el gas de LP.

Una cámara plenum (10) está unida al sistema para permitir que las presiones de HP y LP permanezcan en gran medida sin cambios, incluso aunque la temperatura promediada en masa del gas en el sistema cerrado pueda aumentar o disminuir.

Entre el colector de LP (4) y el colector de HP (3), está situado un compresor secundario (11). Éste es impulsado por un motor eléctrico (12). El conjunto de motor-compresor normalmente funcionaría a una velocidad relativamente alta con el fin de lograr un buen rendimiento a un coste razonablemente bajo. El compresor secundario (11) normalmente será una máquina dinámica (es decir, no una máquina de desplazamiento positivo).

Los detalles que no son evidentes a partir de la figura 1 son la presencia de sistemas de válvulas en los colectores de HP y LP ((3) y (4)) y en las unidades de intercambiador de calor ((8a) y (9a)). La figura 2 muestra que la unidad de intercambiador de calor de HP (8a) permite tres caminos diferentes para que el gas de HP pase a través de ella. En esta figura, el gas fluye de arriba hacia abajo en todos los casos; pero en un caso, el gas evita la unidad de intercambiador de calor; en otro caso, pasa de tal manera que cede calor al acumulador térmico caliente (8b). En el caso final, el gas pasa a través de la manera opuesta, de tal manera que toma calor del acumulador térmico caliente. Dado que el compresor secundario (11) no suele ser una máquina de desplazamiento positivo, se requieren algunas válvulas para garantizar que cuando este compresor no esté funcionando, no haya flujo inverso a través del mismo.

La invención se entiende a través de la siguiente descripción de su funcionamiento.

Funcionamiento del sistema.

El sistema tiene cinco modos de funcionamiento principales:

- (a) Producción directa de energía eléctrica sin transferencia de calor deliberada,
- (b) Producción reducida de energía eléctrica con transferencia deliberada de exergía a los acumuladores térmicos.
- (c) Mayor producción de energía eléctrica con recuperación deliberada de exergía procedente de los acumuladores térmicos.
- (d) Producción de energía eléctrica más reducida (o negativa) con transferencia deliberada de exergía a los acumuladores térmicos.
- (e) Mayor producción de energía eléctrica con recuperación deliberada de exergía procedente de los acumuladores térmicos.

El término *exergía* usado anteriormente es un término termodinámico formal. La exergía describe la capacidad de extraer trabajo de un sistema al permitirle volver al equilibrio con su entorno. El calor almacenado en un acumulador térmico caliente tiene cierta exergía asociada debido a que se podría usar un motor térmico (como un motor Stirling) para recuperar al menos parte del trabajo mecánico del mismo. Del mismo modo, el frío almacenado en un acumulador térmico frío tiene cierta exergía asociada con el mismo, debido a que se podría usar un motor térmico

(como un motor Stirling) para recuperar por lo menos cierto trabajo mecánico de él.

En todos los modos de funcionamiento descritos anteriormente, el gas fluye dentro del sistema cerrado en el sentido de las agujas del reloj, como sugiere la figura 1 - incluyendo el paso a través del expansor (6). La única excepción a esto es cuando el sistema no está funcionando. La potencia eléctrica positiva es emitida en el caso de los modos (a), (b), (c) y (e). En el modo (d), la potencia de salida eléctrica neta es normalmente negativa - siendo la exergía almacenada en los acumuladores térmicos. Se espera que el modo (d) se use solo durante una pequeña fracción del tiempo. En los modos operativos (a), (b) y (c), el flujo de gas es impulsado únicamente por los compresores primarios. En los modos operativos (d) y (e), cualquier flujo de gas a través de los compresores primarios (que depende claramente de la disponibilidad de viento) se complementa con el flujo de gas a través del compresor secundario (11).

A continuación, se proporcionan las descripciones textuales ampliadas de los cinco modos operativos. Las figuras 3-7 proporcionan unas representaciones esquemáticas de estos modos operativos. En estas figuras, las flechas de bloque representan flujos de exergía. Las etiquetas {HHT}, {HT}, {MT}, {LT} y {LLT} indican los estados de temperatura de partes del circuito de gas cerrado. Estos corresponden a temperatura muy alta, alta, media, baja y muy baja, respectivamente.

En el modo operativo (a), el gas de trabajo es comprimido en los compresores primarios (5a), (5b), (5c), etc. del lado de LP del circuito, y es empujado a lado de HP a una temperatura más alta. Ese gas pasa directamente al expansor (6), en el que entonces se expande para recuperar la mayor parte del trabajo realizado originalmente. La potencia del eje del expansor se alimenta al generador principal (7), en el que la mayor parte se convierte en energía eléctrica. Si el generador eléctrico es un generador de CA, normalmente funcionaría a velocidad síncrona, de manera que la energía eléctrica producida podría alimentarse directamente a un sistema de transmisión eléctrica sin pasar por la electrónica de potencia.

Si el sistema ha estado inoperativo durante un período y a continuación, comienza a funcionar en el modo (a), el gas de LP que entra en los compresores primarios estará inicialmente a temperatura ambiente, y el gas de HP que sale de estos compresores estará muy caliente. Debido a pequeñas pérdidas térmicas en el lado de HP (1) del circuito de gas principal, el gas de HP que entra en el expansor (6) estará ligeramente menos caliente que el que sale de los compresores primarios, y de este modo, el gas de LP que sale del expansor (6) estará por debajo de la temperatura ambiente. Cuando este gas ligeramente enfriado llegue nuevamente a los compresores primarios, estos producirán una producción de gas de HP más frío de lo que lo habían hecho originalmente. Si funciona en el modo (a) durante el tiempo suficiente, el sistema alcanzaría un estado de equilibrio en el que el gas de HP estaba significativamente por encima de la temperatura ambiente y el gas de LP estaba significativamente por debajo de la temperatura ambiente. Estas temperaturas serían {HT} y {LT} mostradas en las figuras 3-7.

En el modo operativo (b), el gas de trabajo es comprimido en los compresores primarios (5a), (5b), (5c), etc. del lado de LP del circuito, y descargado en el lado de HP a una temperatura más alta que antes. El gas de HP pasa a través del intercambiador de calor de HP (8a), en el que se extrae calor del mismo, y se coloca en el acumulador de alta temperatura (9b). El gas de HP pasa después al expansor (6) con una temperatura solo ligeramente superior a la temperatura ambiente. Allí, el gas se expande entonces para recuperar solo parte del trabajo realizado originalmente. La potencia del eje del expansor se alimenta al generador principal (7), en el que la mayor parte se convierte en energía eléctrica. El gas de LP que sale del expansor está a una temperatura sustancialmente por debajo de la temperatura ambiente, y este gas de LP se hace pasar luego a través del intercambiador de calor de LP (9a), en el que el frío es transferido desde el mismo al acumulador de baja temperatura. El gas de LP que sale del intercambiador de calor de LP (9a) está a una temperatura solo ligeramente por debajo de la temperatura ambiente. Este gas de LP es devuelto a los compresores primarios.

En el modo operativo (c), el gas de trabajo pasa nuevamente a través de los compresores primarios (5a), (5b), etc., pero el gas que entra a estos compresores primarios se ha enfriado usando la refrigeración almacenada en el acumulador térmico frío (9b). A medida que el gas sale por el lado de HP, está aproximadamente a la temperatura ambiente, y entonces pasa a través de la unidad de intercambiador de calor de HP (8a) que añade temperatura sustancial al gas. El gas de HP justo antes del expansor principal (6) está a una temperatura alta, de modo que después del proceso de expansión principal, está de nuevo a aproximadamente temperatura ambiente. En este modo operativo, los compresores primarios (5a), (5b), (5c), etc., suministran algo de exergía al gas en el circuito cerrado, y parte también es suministrada desde cada uno de los acumuladores térmicos (8b) y (9b).

En los modos operativos (d) y (e), el compresor secundario (11) es accionado por el motor eléctrico (12) para provocar un flujo significativo de gas, incluso si la potencia de compresión disponible de las turbinas eólicas es pequeña o nula.

En el modo operativo (d), una exergía significativa entra en el sistema a través del motor eléctrico (12), y algo de esa exergía se almacena en los acumuladores térmicos (8b) y (9b). La exergía restante sale del sistema nuevamente a través del grupo electrógeno (7), pero la producción neta de energía eléctrica en este modo a menudo será negativa. En otras palabras, se extrae más energía eléctrica de la red para conducir el motor (12)

que la que se devuelve a la red a través del generador (7).

5 En el modo operativo (e), una exergía significativa entra en el sistema a través del motor eléctrico (12), y la exergía adicional se obtiene de los acumuladores térmicos (8b) y (9b). La exergía acumulada sale nuevamente del sistema a través del grupo electrógeno (7), y en este caso, la potencia eléctrica de salida será mayor que la potencia eléctrica de entrada por un factor.

Características y ventajas del sistema.

10 Debido a que el sistema descrito usa gas presurizado incluso en el lado de LP del circuito, las unidades de compresores primarios (5a), (5b), (5c), etc., pueden ser compactas incluso para altas potencias y bajas velocidades de rotación. De este modo, estas unidades de compresores primarios son compatibles con el uso en modo de accionamiento directo con grandes turbinas eólicas en tierra. Esto contrasta con otras propuestas en las que se requiere un volumen barrido de entrada extremadamente grande.

15 Si el sistema se usara solo en modo operativo (a), los componentes (8a), (8b), (9a), (9b), (11) y (12) no estarían presentes en el sistema, y el sistema sería comparable con un parque eólico directo que genera electricidad directamente. Se emplea la expresión "sistema central" para indicar todos los componentes necesarios para la producción de energía eléctrica de salida. La expresión "subsistema de almacenamiento" se usará para abarcar los componentes (8a), (8b), (9a), (9b), (11) y (12). Debido a que se puede usar un único conjunto expansor-generador junto con una serie de turbinas eólicas, y debido a que el "esfuerzo de trabajo" en los compresores primarios es alto, el coste total del sistema central puede ser competitivo con el coste total de un parque eólico convencional que produce la misma potencia eléctrica de salida neta.

20 El coste marginal del subsistema de almacenamiento para una cantidad dada de almacenamiento de energía es extremadamente bajo en comparación con los métodos alternativos de almacenamiento de energía. Se sabe que el almacenamiento de energía térmica es muy rentable, pero adolece del inconveniente de una eficiencia de retorno relativamente pobre.

25 Las pérdidas marginales de energía asociadas con el paso de energía a través del almacenamiento son extremadamente bajas en comparación con métodos alternativos de almacenamiento de energía. En la mayoría de las vistas existentes de almacenamiento de energía, la energía eléctrica se extrae de la red, se convierte en una forma que es compatible con el almacenamiento, y entonces, después de que la energía se haya almacenado durante algún tiempo, la energía se convierte nuevamente en electricidad. De este modo, toda la energía que pasa a través del almacenamiento en los sistemas convencionales sufre dos transformaciones y hay una pérdida (típicamente 7-15%) asociada con cada transformación. En el presente caso, la mayor parte de la energía que pasa por el almacenamiento no sufre transformaciones adicionales. Hay cierta pérdida de eficiencia asociada con la transferencia de calor, pero esto puede ser relativamente pequeño.

30 En el estado estacionario, el sistema es completamente "reversible" (en un sentido termodinámico) en todos sus modos operativos. En otras palabras, si todos los componentes del sistema fueran completamente ideales, la energía eléctrica total que sale del generador principal (7) durante un largo período de tiempo sería idéntica a la suma de la entrada total de energía eléctrica al motor (11) y la energía mecánica total alimentada a los compresores primarios por las turbinas eólicas. Por supuesto, todos los componentes reales introducen cierta irreversibilidad. Los motores, compresores y expansor(es) tendrán eficiencias inferiores al 100%, los intercambiadores de calor tendrán diferencias finitas de temperatura entre ellos mientras están en funcionamiento, y las tuberías y los acumuladores térmicos sufrirán pequeñas pérdidas de exergía a través del intercambio de calor con el medio ambiente. Este sistema contrasta con otros en los que la irreversibilidad es un elemento intrínseco del sistema.

35 La justificación para el lado de LP de presión elevada del circuito de gas.

La energía absorbida por un compresor ideal en cada ciclo es

$$E_{ciclo} = P_{en} \times V_{en,ciclo} \times \frac{(r^\chi - 1)}{\chi} \quad (1)$$

55 en la que  $p_{en}$  representa la presión de entrada,  $r$  representa la relación de presiones,  $V_{en,ciclo}$  representa el volumen de aire de entrada aspirado en el compresor rotativo en cada rotación individual, y  $\chi$  deriva de la relación de calores específicos para el gas como

$$\chi = \frac{(\gamma - 1)}{\gamma} \quad (2)$$

60 Para ilustrar lo anterior, se considera una turbina eólica de 5 MW que gira a 1.2 rad/s en condiciones nominales.

5 Una sola revolución del rotor de la turbina tarda 5.2 segundos en completarse, y por lo tanto se recogen 26 MJ de energía durante un ciclo - es decir,  $E_{ciclo} = 26$  MJ. Con  $r = 50$  y  $p_{en} = 5$  MPa, se puede deducir el volumen de entrada barrido requerido del compresor rotativo que es  $3.6$  m<sup>3</sup>. Para un compresor de desplazamiento positivo, esto proporciona una buena indicación del volumen general de la máquina. El volumen real ocupado por la máquina puede ser dos o tres veces mayor que el volumen barrido de entrada.

10 Cabe tener en cuenta que las ecuaciones (1) y (2) suponen un comportamiento de gas ideal para el fluido de trabajo. Esto es razonablemente preciso para los fluidos de mayor interés. Ninguna de las ecuaciones (1) o (2) depende de la temperatura. Esto es un punto importante. La potencia de entrada de una turbina eólica de 5 MW se puede absorber comprimiendo  $0.139$  m<sup>3</sup>/s (entrada) de nitrógeno desde 5 MPa hasta 250 MPa, tanto si esa entrada está a  $-100^{\circ}\text{C}$  o a temperatura ambiente.

Extensiones del concepto fundamental.

15 Puede haber más de un compresor accionado por un eje de turbina eólica para proporcionar la capacidad de cargar parcialmente la turbina eólica. Con más de un compresor en un solo eje de turbina eólica, se podría dimensionar las unidades de manera diferente (por ejemplo, 2 MW y 1 MW) para permitir una amplia distribución de las potencias de trabajo.

20 Uno o más de los compresores primarios, tal como (5a), podrían funcionar desde alguna otra fuente de energía renovable, tal como un convertidor de energía undimotriz o un convertidor de energía mareomotriz.

25 El intercambiador de calor de alta temperatura (8a) y el acumulador térmico asociado (8b) pueden integrarse en una sola unidad en forma de termoclina. De manera similar, el intercambiador de calor de baja temperatura (9a) y el acumulador térmico asociado (9b) podrían estar en una sola unidad. En algunas implementaciones, el acumulador térmico de baja temperatura podría usar dióxido de carbono líquido como fluido de transferencia de calor.

30 En algunas implementaciones, el accionamiento eléctrico (11) para el compresor secundario (10) podría reemplazarse por una transmisión mecánica desde la o las unidades de expansión (6).

La unidad del expansor (7) podría comprender un conjunto de unidades discretas de expansores para que se pueda lograr un buen comportamiento de carga parcial.

35 El sistema podría implementarse de manera que esté presente un solo compresor primario (5a).

40 Una alternativa artificial al presente sistema podría no usar un sistema cerrado para el fluido de trabajo. Se podría usar aire como fluido de trabajo, y se podría instalar otro compresor accionado eléctricamente para producir la "alimentación de LP" a los compresores primarios. La mayor parte de la potencia para hacer funcionar este compresor podría provenir de un expansor instalado después de (6) que opera para disminuir la presión del aire más allá de la presión atmosférica. De esta manera, se podría desarrollar un análogo cercano del presente sistema. Esto introduciría más pérdidas de exergía en las operaciones adicionales de compresión y expansión y en la transferencia de calor, que se usaría para minimizar la entrada de potencia neta para estas operaciones.

45 El generador eléctrico (7) que es accionado por el expansor (6) normalmente se colocaría en el mismo circuito eléctrico que el motor eléctrico (12) que acciona el compresor secundario (11). De esta manera, solo la potencia neta de esta combinación se intercambiaría con la red, y de este modo, se pueden minimizar las clasificaciones de la línea.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Sistema para convertir la energía de uno o más ejes de rotación lenta en energía eléctrica, en el que, en uso, un gas de trabajo fluye en un circuito de gas cerrado (2), es comprimido isoentrópicamente desde el o los eje(s) de rotación lenta, y es expandido isoentrópicamente en un conjunto expansor-generador (6,7), y en el que las partes de baja presión del circuito de gas cerrado están a una presión por lo menos 3 veces mayor que la presión atmosférica, y, en el que, en uso, la relación entre las presiones en las partes de alta presión y baja presión del circuito de gas cerrado es tal que se produce una relación de temperaturas absolutas superiores a 1.5 a través de los procesos de compresión y expansión.
- 10 2. Sistema tal como se describe en la reivindicación 1, que también incluye unos acumuladores térmicos (8B, 9B) y unas unidades de intercambiador de calor (8A, 9A) tanto sobre las partes de alta presión como de baja presión del circuito de gas cerrado, de manera que, en uso, la energía que está siendo suministrada al circuito de gas por los ejes de rotación lenta puede ser sustancialmente diferente de la energía que está siendo extraída en el conjunto expansor-generador, siendo la diferencia de exergía transferida a/desde los acumuladores térmicos.
- 15 3. Sistema tal como se describe en la reivindicación 2, en el que también está presente un compresor accionado por motor, de manera que, en uso, el gas de trabajo puede ser circulado a través de las unidades de intercambiador de calor y el conjunto expansor-generador (6,7), incluso cuando no hay energía disponible procedente de los ejes de rotación lenta.
- 20 4. Sistema tal como se describe en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una vasija de expansión está presente sobre el circuito de gas cerrado (2), para permitir que las presiones permanezcan estables incluso cuando la temperatura media del gas en el circuito cerrado cambia significativamente.
- 25 5. Sistema tal como se describe en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto generador-cargador puede comprender varios expansores diferentes y/o varios generadores diferentes, con el fin de permitir un buen comportamiento a niveles de energía inferiores a la energía nominal total.
- 30 6. Sistema tal como se describe en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que uno o más de los ejes de rotación lenta son los ejes principales de las turbinas eólicas.
- 35 7. Sistema tal como se describe en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que uno o más de los ejes de rotación lenta están, o pueden estar, acoplados a más de un compresor, de manera que, en uso, se consiga un buen comportamiento de compresión para dicha una entrada de energía del eje en un intervalo de diferentes niveles de energía.
- 40 8. Sistema tal como se describe en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en uso, uno o más de los ejes de rotación lenta son accionados desde unos convertidores de energía mareomotriz.
9. Sistema tal como se describe en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en uso, uno o más de los ejes de rotación lenta son accionados por unos convertidores de energía undimotriz.



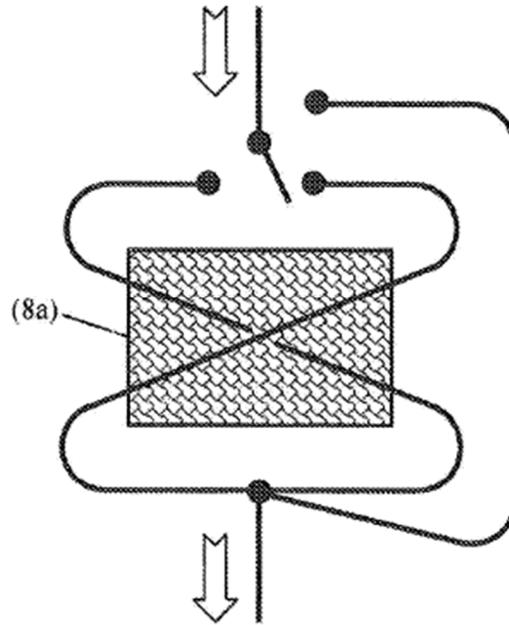


Figura 2 ... Recorridos a través/alrededor del intercambiador de calor.

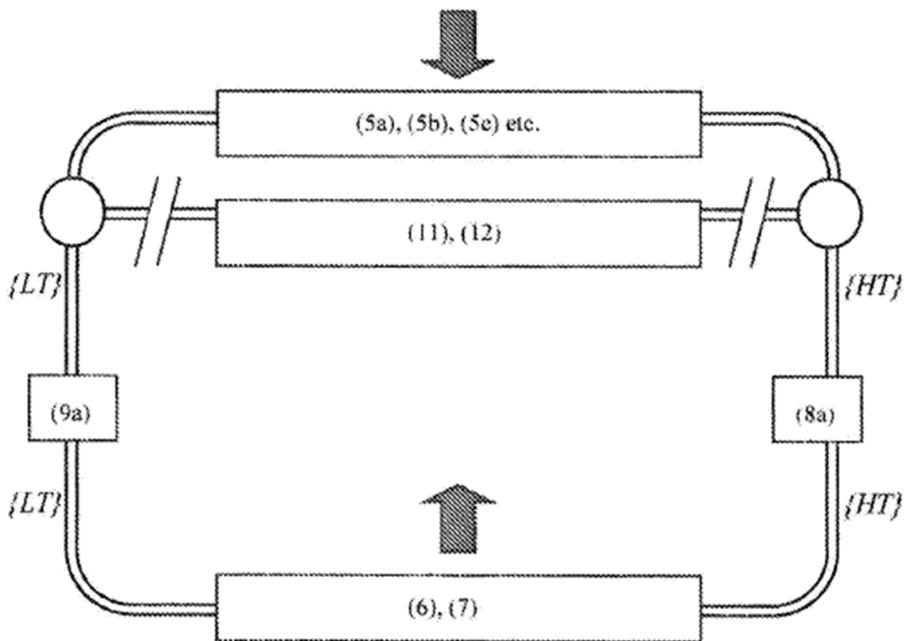


Figura 3 ... Flujos de exergía en el modo de funcionamiento (a).

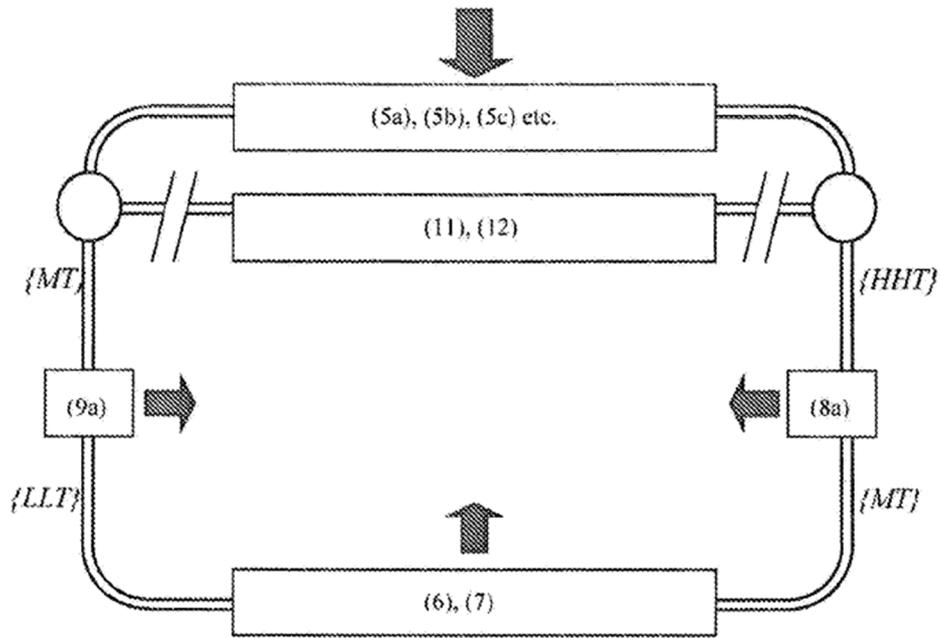


Figura 4 ... Flujos de exergía en el modo de funcionamiento (b).

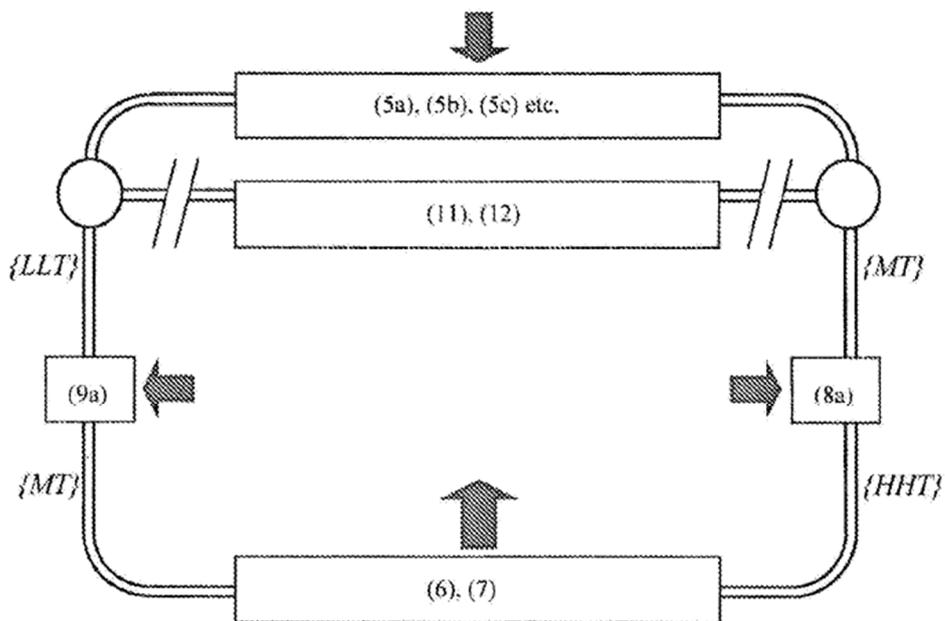


Figura 5 ... Flujos de exergía en el modo de funcionamiento (c).

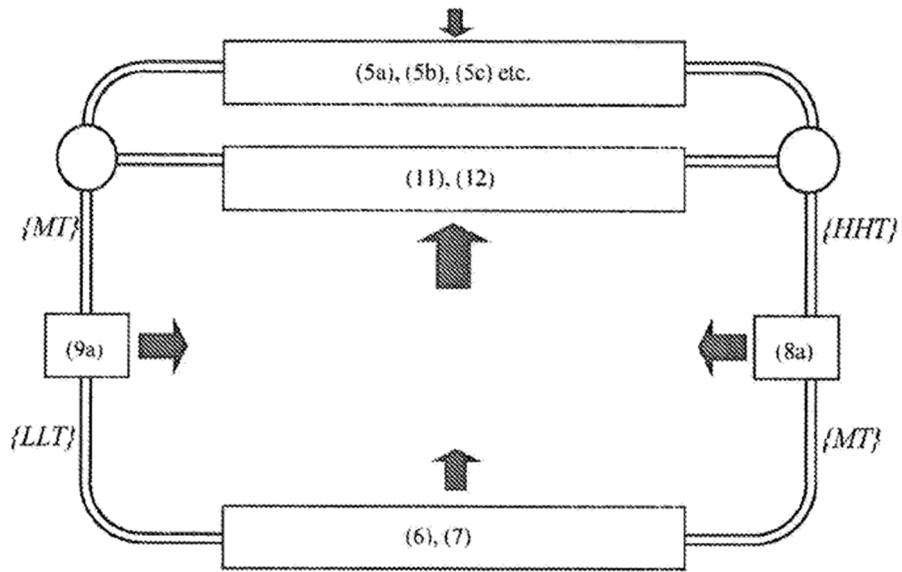


Figura 6 ... Flujos de exergía en el modo de funcionamiento (d).

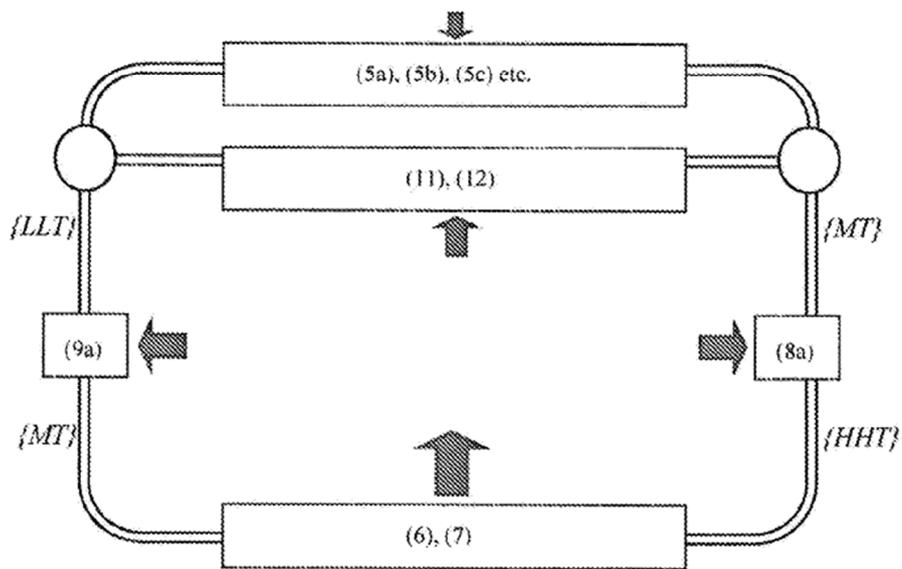


Figura 7 ... Flujos de exergía en el modo de funcionamiento (e).