

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 891 374**

21 Número de solicitud: 202130678

51 Int. Cl.:

F03G 6/06 (2006.01)

F01K 3/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

16.07.2021

43 Fecha de publicación de la solicitud:

27.01.2022

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

29.11.2022

Fecha de concesión:

24.04.2023

45 Fecha de publicación de la concesión:

03.05.2023

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A
DISTANCIA (UNED) (64.0%)
C/ Bravo Murillo 38, 3ª Planta
28015 Madrid (Madrid) ES y
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (36.0%)**

72 Inventor/es:

**ROVIRA DE ANTONIO, Antonio;
BARBERO FRESNO, Rubén;
ABBAS CÁMARA, Rubén;
GONZÁLEZ PORTILLO, Luis Francisco y
MARTÍNEZ-VAL PEÑALOSA, José María**

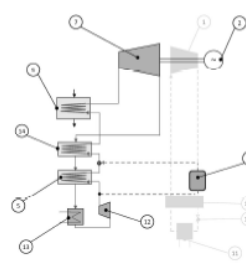
74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **SISTEMA Y PROCEDIMIENTO PARA DESACOPLAR EL CONSUMO Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA EN CICLOS TERMODINÁMICOS DE POTENCIA**

57 Resumen:

Sistema y procedimiento para desacoplar en el tiempo el consumo y la producción de energía mecánica en ciclos termodinámicos de potencia, que permite el consumo de energía eléctrica o mecánica cuando esta tiene bajo coste y la producción de energía mecánica o eléctrica cuando su precio de venta es mayor. El dispositivo consiste en la adición a los ciclos híbridos Rankine-Brayton o los ciclos de recompresión de CO₂ supercríticos un sistema de almacenamiento (9), una válvula de laminación (10), un intercambiador de calor que recibe calor del ambiente (11) y, opcionalmente, un recuperador de calor (15) del sistema de almacenamiento (9), haciendo uso del almacenamiento de la energía térmica obtenida durante el consumo de energía mecánica en un compresor auxiliar (1) en horas posteriores y de forma simultánea al proceso de generación de energía mecánica, que es cuando se necesita el estado térmico generado previamente.



Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 891 374 B2

DESCRIPCIÓN

SISTEMA Y PROCEDIMIENTO PARA DESACOPLAR EL CONSUMO Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA EN CICLOS TERMODINÁMICOS DE POTENCIA

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La invención se encuadra en el campo de los ciclos termodinámicos para la producción de potencia mecánica, a su vez convertible en energía eléctrica. Su uso resulta de interés en la industria energética, particularmente cuando el

10 ciclo de producción de potencia requiere, de forma inherente, un consumo relevante de energía mecánica que contribuye al aporte del estado térmico del fluido de trabajo. El desacoplamiento temporal entre el consumo y la producción permite la gestión eficiente de los flujos de energía, consumiendo la energía eléctrica o mecánica cuando esta tiene bajo coste y produciendo cuando su

15 precio de venta es mayor. Ello hace que sea especialmente aplicable, pero no de manera exclusiva, al sector de la energía termosolar, ya que las plantas termosolares tienen y tendrán un papel relevante en la introducción y la gestión de la energía renovable en las redes eléctricas.

PROBLEMA TÉCNICO A RESOLVER Y ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20 Uno de los objetivos de la termodinámica ha sido, desde su inicio, el estudio de las máquinas para la producción de energía mecánica a partir de energía térmica. Desde entonces y hasta la actualidad se han propuesto numerosos ciclos termodinámicos de potencia que han sido el núcleo de los distintos motores térmicos que se conocen. Todos ellos hacen evolucionar un fluido por

25 uno o varios equipos mecánicos en los que se modifica su estado térmico. En todos los ciclos es necesario algún proceso de transformación de energía térmica en mecánica, puesto que la producción de ésta es la finalidad de los ciclos de potencia. Asimismo, casi todos los ciclos, de forma inherente, incorporan algún proceso de consumo y transformación de energía mecánica en

30 térmica, que contribuye a la generación del estado térmico del fluido (presión y temperatura) como paso previo a la producción, en mayor cuantía, de la energía mecánica deseada.

De esa forma, los ciclos de potencia incorporan procesos de producción de energía mecánica, en expansores o turbinas, y procesos de consumo de energía

mecánica, en compresores o bombas, si bien en menor magnitud, puesto que la producción ha de ser mayor que el consumo para que exista potencia neta útil. Para ello, es indispensable que exista, además, un equipo térmico para el aporte de calor principal, que es la fuente de energía del sistema.

- 5 Se puede concluir, por tanto, que para la producción de energía mecánica es necesario un fluido con un cierto estado térmico que se obtiene de dos fuentes: una pequeña cantidad de energía térmica procede de la transformación de energía mecánica en térmica en compresores o bombas y otra parte, mayor, procede de la fuente de energía térmica y es transferida en el equipo de aporte
10 de calor principal.

Es importante destacar que los procesos de producción y consumo de energía mecánica mencionados antes son simultáneos temporalmente, entendiendo por simultaneidad o bien su coincidencia temporal (por ejemplo, un compresor y una turbina en una turbina de gas), o bien su sucesión temporal dentro del mismo
15 ciclo de trabajo (por ejemplo, la etapa de compresión y de expansión en un ciclo Otto), cuya duración es, generalmente, muy pequeña y se puede considerar, a efectos prácticos, que todos los procesos son prácticamente simultáneos aunque ocurran rápida, secuencial y cíclicamente.

Cuando la finalidad de la producción de energía mecánica es su transformación
20 en energía eléctrica, es interesante desacoplar temporalmente la producción y el consumo de energía mecánica a diferentes periodos de tiempo dentro del mismo día. De esa forma, se podría consumir energía eléctrica cuando es barata (en horas valle), transformando esta energía eléctrica en energía mecánica con un motor eléctrico, la mecánica en térmica en un compresor y almacenar esta
25 energía térmica; y realizar los procesos de producción cuando el precio de venta es mayor (en horas punta), usando la energía térmica almacenada en lugar de incurrir en el proceso de consumo de energía mecánica, que ha tenido lugar previamente.

En el principal sector de aplicación de la invención, las centrales térmicas, los
30 ciclos de potencia convencionales son ciclos Rankine. En ellos, los procesos de consumo de energía mecánica se materializan con bombas. El consumo energético de estas es muy pequeño en comparación con la energía producida en la turbina, y el incremento del estado térmico del agua tras su paso por ellas es prácticamente despreciable.

- 35 No obstante, en la actualidad se están proponiendo nuevos ciclos de potencia entre los que destacan de forma notable los ciclos de recompresión con CO₂

supercrítico o ciclo Feher, descrito en US 3 237 403; así como otras alternativas como el ciclo híbrido Rankine-Brayton, descrito en ES2439619 A2, trabajando con propano o con butano.

En dichas alternativas, parte del consumo de energía mecánica tiene lugar en
5 compresores y no en bombas, por lo que la variación del estado térmico del fluido es mucho mayor y la relación entre el consumo de energía mecánica y la producción de energía mecánica en la turbina ya no es despreciable.

El objeto de la presente invención es, precisamente, describir los sistemas y el procedimiento de uso que permiten aprovechar esta relación no despreciable de
10 consumo frente a producción para desacoplar temporalmente los dos procesos, haciendo uso del almacenamiento de la energía térmica obtenida tras el consumo de energía mecánica. Esta energía es devuelta en horas posteriores al sistema de forma simultánea al proceso de generación de energía mecánica, que es cuando se necesita el estado térmico generado previamente.

La invención tiene dos antecedentes cercanos, EP 2 698 506 A1 "Electro-thermal energy storage system and method for storing electro-thermal energy" y
US 2015/0260463 A1 "Systems and methods for energy storage and retrieval", que incluyen un almacenamiento térmico de alta temperatura que hace de foco caliente, un almacenamiento térmico de baja temperatura que hace de foco frío,
20 y un ciclo termodinámico reversible que los conecta.

En el caso de la patente EP 2 698 506 A1 el ciclo incluye, en el modo de funcionamiento de carga, un compresor y un expansor; y en el modo de descarga, al menos una turbina y una bomba. Este sistema transmite calor del sistema de almacenamiento térmico frío al caliente cuando hay un exceso de
25 potencia en la red eléctrica mediante el uso del ciclo termodinámico en modo bomba de calor. De un modo análogo, cuando hay una alta demanda de electricidad, el sistema cambia el modo de funcionamiento, pasando a circular el fluido de trabajo del ciclo termodinámico según un ciclo Rankine gracias al calor cedido por el almacenamiento caliente.

Se distinguen dos diferencias entre la invención en la citada patente y la invención propuesta. En primer lugar, la invención propuesta describe las modificaciones a efectuar en un ciclo de potencia, gestionando los flujos de energía mecánica producida y consumida pero, por naturaleza, generando energía mecánica neta o globalmente, que es resultante de la suma de los
30 procesos de carga y descarga; mientras que en el antecedente se almacena la energía eléctrica en forma de calor y se restituye, necesariamente con pérdidas,

esa electricidad en momentos posteriores. Es decir, su objetivo no es la producción de energía desde una fuente, gestionando de una u otra forma, sino su almacenamiento y posterior restitución.

Por otro lado, el antecedente prescribe la introducción de un ciclo de potencia ad-hoc que actúa en descarga, nutriéndose de la energía almacenada térmica
5 previamente, y otro ciclo de potencia, inverso o en modo bomba de calor, también ad-hoc, que permite almacenar la energía que es necesaria posteriormente. Por el contrario, la presente invención prescribe la modificación de un ciclo de potencia convencional, no uno diseñado específicamente para la
10 invención. Por ese motivo, no se requiere de un expansor acoplado al sistema de almacenamiento durante la descarga, puesto que el sistema queda enmarcado en una instalación más amplia que ya cuenta con una turbina, trabajando en condiciones de trabajo diferentes y más apropiadas para la generación de energía eléctrica; tampoco requiere de un compresor adicional, puesto que se
15 usa el mismo que el del ciclo de potencia, pero en instantes desacoplados; y tampoco requiere de un sistema de almacenamiento de frío, como el descrito en el antecedente.

En cuanto a la patente US 2015/0260463 A1, se centra en el almacenamiento de energía eléctrica en forma de calor basándose en ciclos Joule-Brayton directos e
20 inversos (modo bomba de calor), que introducen fuertes irreversibilidades termodinámicas. Por ese motivo, la patente incluye distintas variantes, como la inclusión de energía solar o combustión de gas natural para cargar, de manera complementaria, el sistema de almacenamiento, la inclusión de un intercambiador de calor regenerativo, la inclusión de refrigeración intermedia en
25 la compresión o la inclusión de compresores y turbinas de geometría variable, todo ello para minimizar el efecto de las irreversibilidades. A diferencia de ésta, la presente invención se centra en la gestión los equipos existentes que se incluyen en una central térmica basada en ciclos híbridos Rankine-Brayton y ciclos de recompresión supercríticos, de distinta tecnología que los Joule-
30 Brayton.

Un antecedente parecido a los anteriormente comentados es protegido por la patente EP 2 157 317 A2, "Thermoelectric energy storage system and method for storing thermoelectric energy", en la que un ciclo transcrito reversible se usa en modo de bomba de calor para almacenar calor a alta
35 temperatura cuando hay un exceso de generación eléctrica en el sistema; y se

usa en modo de motor térmico para generar energía mecánica cuando hay una mayor demanda de potencia eléctrica. Las diferencias entre dicho documento y la presente invención son, en esencia, las comentadas para la patente EP 2 698 506 A1.

5 Un concepto anterior a estas invenciones se incluye en las patentes EP 1 577 548 A1, "Apparatus and method for storing thermal energy and generating electricity"; EP 2 101 051 A1, "Speicherung elektrischer Energie mit Wärmespeicher und Rückverstromung mittels eines thermodynamischen Kreisprozesses"; y US5384489A, "Wind-powered electricity generating system
10 including wind energy storage". Estas patentes protegen el concepto conocido hoy en día como batería Carnot o batería térmica, en la que el exceso de generación eléctrica se usa para calentar un fluido de almacenamiento térmico mediante resistencias eléctricas, usando esa capacidad calorífica para producir electricidad mediante un motor térmico de combustión externa en los momentos
15 en los que la generación eléctrica no cubre la demanda.

Todos los antecedentes descritos proceden de dicho concepto y, como se ha argumentado previamente, requieren de la implementación de dos ciclos, uno directo y uno inverso, para su funcionamiento. La ventaja de la presente invención sobre ellas es que, al prescribirse la implementación dentro del ciclo
20 de potencia de una central térmica, con una fuente dada, como por ejemplo la termosolar, no es necesario expansores adicionales trabajando a la temperatura del almacenamiento, puesto que ya se cuenta con uno trabajando en condiciones más favorables; tampoco se requiere un compresor adicional, puesto que los ciclos sobre los que se prescriben ya tienen uno, limitándose su
25 uso a instantes desacoplados de la turbina. Por último, las baterías de Carnot, en su concepción original, no permiten la generación neta de electricidad, ya que actúan como elemento de almacenamiento, mientras que dicha generación es inherente en la presente invención, y el objetivo es una gestión de los flujos de energía que maximizan la producción en momentos adecuados para su venta, al
30 haber incurrido en el coste energético previamente, cuando la energía es menos costosa.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Como se ha mencionado previamente, con la presente invención se prescriben los sistemas y los procedimientos de utilización que permiten desacoplar
35 temporalmente los procesos de consumo y producción de energía mecánica en

ciclos termodinámicos de potencia. Se describe la invención en dos variantes, idénticas conceptualmente y con las mismas prescripciones, pero con matices propios en función de la instalación concreta donde se aplica. La primera es aplicable los ciclos de potencia basados en ciclos de Rankine con un compresor adicional, denominado híbrido Rankine-Brayton, y la segunda a los ciclos de recompresión supercríticos. Ambos ciclos son semejantes entre sí, pero con matices diferenciadores en relación con la cesión de calor al ambiente y en los procesos de recuperación de calor. Por ese motivo, se describen las instalaciones de forma diferenciada, pero las modificaciones prescritas en la invención son esencialmente las mismas en ambas variantes.

En la primera variante, definida para ciclos híbridos Rankine-Brayton, se prescribe el sistema y el procedimiento de uso asociado de forma que la instalación comprende:

- un ciclo termodinámico de potencia con, al menos, un compresor auxiliar, una bomba que trabaja entre las mismas presiones que el compresor anterior y separado de éste por un condensador, un regenerador, un equipo de aporte de calor principal, una turbina y un generador eléctrico;
- un sistema de almacenamiento térmico;
- un motor eléctrico que acciona el compresor auxiliar;
- una válvula de laminación o, alternativamente, un expansor de baja temperatura; y
- un intercambiador de calor que absorbe energía térmica del ambiente y que puede ser de tipo evaporador o de cualquier otro tipo.

Opcionalmente, se puede instalar una segunda bomba que trabaje en paralelo con la bomba del ciclo de potencia.

Dichos sistemas operan en dos etapas diferenciadas, denominadas proceso de carga y de descarga, respectivamente, prescribiéndose los siguientes modos de operación:

Proceso de carga: el motor eléctrico se alimenta de electricidad procedente de paneles fotovoltaicos, de la red eléctrica o del generador eléctrico acoplado al ciclo de potencia o a otro ciclo de potencia presente en la instalación, y acciona al compresor auxiliar cuando no existe demanda o no se desea verter la energía eléctrica producida a la red eléctrica, estando el ciclo de potencia apagado o encendido a baja carga para accionar el compresor auxiliar. A su vez, el fluido de trabajo, que sale del compresor auxiliar a una temperatura denominada temperatura de carga, se introduce en el sistema de almacenamiento, al que le

transfiere energía térmica, cargándose el sistema de almacenamiento, y posteriormente pasa por la válvula de laminación y el intercambiador de calor, recibiendo energía térmica del ambiente antes de introducirse, de nuevo, en el compresor.

- 5 Proceso de descarga: el motor eléctrico y, consecuentemente, el compresor, están apagados cuando se desea verter energía eléctrica a la red, mientras que el ciclo de potencia está activo exceptuando el compresor, por lo que todo el fluido de trabajo se comprime en la bomba. A su vez, una fracción del fluido de trabajo que sale de la bomba se introduce en el sistema de almacenamiento,
- 10 donde recibe la energía térmica almacenada previamente hasta alcanzar una temperatura denominada temperatura de descarga, que es igual que la temperatura de carga menos un diferencial que oscila entre 0 °C y 20 °C, y que, tras mezclarse con la otra fracción que se ha introducido en el regenerador, prosigue en el ciclo de potencia, conformándose el proceso de descarga del
- 15 sistema de almacenamiento.

La segunda variante, definida para ciclos de recompresión con CO₂ supercríticos o ciclo Feher, se prescribe el sistema y el procedimiento asociado de forma que la instalación comprende:

- un ciclo termodinámico de potencia con, al menos, un compresor auxiliar,

20 otro compresor principal que trabaja entre las mismas presiones que el anterior y separado de éste por un refrigerador, un regenerador de baja temperatura, un regenerador de alta temperatura, un equipo de aporte principal de calor, una turbina y un generador eléctrico;

- un sistema de almacenamiento térmico;

25 - un motor eléctrico que acciona el compresor auxiliar;

- una válvula de laminación o, alternativamente, un expansor de baja temperatura;
- un intercambiador de calor que absorbe energía térmica del ambiente y que puede ser de tipo gas-aire o de cualquier otro tipo; y

30 - un recuperador de calor del sistema de almacenamiento.

Opcionalmente, se puede instalar un segundo compresor principal que trabaje en paralelo con el compresor principal del ciclo de potencia.

Dichos sistemas operan en dos etapas diferenciadas, denominadas proceso de carga y de descarga, respectivamente, prescribiéndose los siguientes modos de

35 operación, que son análogos a los descritos para la primera variante:

Proceso de carga: el motor eléctrico se alimenta de electricidad procedente de paneles fotovoltaicos, de la red eléctrica o del generador eléctrico acoplado al ciclo de potencia o a otro ciclo de potencia presente en la instalación, y acciona al compresor auxiliar cuando no existe demanda o no se desea verter la energía eléctrica producida a la red eléctrica, estando el ciclo de potencia apagado o encendido a baja carga para accionar el compresor auxiliar. A su vez, el fluido de trabajo que sale del compresor auxiliar a una temperatura denominada temperatura de carga, se introduce en el sistema de almacenamiento, al que le transfiere energía térmica, cargándose el sistema de almacenamiento, posteriormente se dirige al recuperador de calor del sistema de almacenamiento que transfiere, durante el proceso de carga, energía térmica del fluido de trabajo tras su paso por el sistema de almacenamiento al propio fluido de trabajo tras su paso por el intercambiador de calor que absorbe energía del ambiente y previamente a su introducción en el compresor auxiliar, y después pasa por la válvula de laminación y por el intercambiador de calor que recibe energía térmica del ambiente, para dirigirse, de nuevo, al recuperador de calor del sistema de almacenamiento, donde recibe la energía térmica antes mencionada y, finalmente, al compresor auxiliar, cerrando el ciclo.

Proceso de descarga: el motor eléctrico y, consecuentemente, el compresor auxiliar, están apagados cuando se desea verter energía eléctrica a la red, mientras que el ciclo de potencia está activo exceptuando el compresor auxiliar, por lo que todo el fluido de trabajo se comprime en el compresor principal. A su vez, el fluido de trabajo que sale del compresor principal se introduce en el sistema de almacenamiento, de donde recibe la energía térmica almacenada previamente hasta alcanzar una temperatura denominada temperatura de descarga, que es igual que la temperatura de carga menos un diferencial que oscila entre 0 °C y 20 °C, y que, tras mezclarse con la otra fracción que se ha introducido en el primer regenerador de baja temperatura, prosigue en el ciclo de potencia, conformándose el proceso de descarga del sistema de almacenamiento.

Se prescribe, asimismo, que el recuperador de calor del sistema de almacenamiento puede ser el mismo que el primer regenerador del ciclo Feher, concretamente el de baja temperatura.

Como otra variante del sistema, se prescribe la incorporación al sistema de un expansor secundario de forma que, durante el proceso de carga, se almacena más energía que la demandada por el ciclo de potencia durante la descarga y,

durante la descarga, se envía una fracción del fluido de trabajo que procede del sistema de almacenamiento al ciclo de potencia, y la otra fracción, que se corresponde con el sobrante de energía almacenada, se dirige al expansor secundario, donde produce más potencia.

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La figura 1 muestra el esquema tecnológico del ciclo termodinámico de potencia Híbrido Brayton-Rankine, que sirve de ejemplo para situar el campo de aplicación de la invención. Las figuras 2 y 3 muestran las modificaciones efectuadas sobre dicho esquema tecnológico para materializar el sistema de desacoplamiento propuesto. En concreto, la figura 2 muestra el procedimiento de consumo de energía mecánica y carga del almacenamiento asociado, mientras que la figura 3 muestra el procedimiento de producción de energía mecánica y la descarga del almacenamiento. Las figuras 4, 5 y 6 son equivalentes a las figuras 1, 2 y 3 pero representando el ciclo de recompresión de CO₂ supercrítico, cuyo sistema de almacenamiento requiere de un intercambiador de calor recuperativo. La figura 7 es análoga a la figura 3 pero muestra sistema durante el proceso de producción de energía mecánica y descarga del almacenamiento, al que se le añade un expansor secundario que permite aumentar la capacidad del sistema de almacenamiento por encima de lo demandado por el ciclo de potencia.

Para facilitar la comprensión de las figuras y de las materializaciones preferentes de la invención, a continuación, se relacionan los elementos relevantes de la misma que aparecen en las figuras:

1. Compresor auxiliar.
- 25 2. Generador eléctrico.
3. Bomba.
4. Condensador.
5. Primer regenerador.
6. Equipo de aporte de calor principal.
- 30 7. Turbina.
8. Motor eléctrico.
9. Sistema de almacenamiento térmico.

10. Válvula de laminación.
11. Intercambiador de calor que absorbe energía térmica del ambiente y se lo cede al fluido de trabajo.
12. Compresor principal.
- 5 13. Refrigerador.
14. Regenerador de alta temperatura.
15. Recuperador de calor del sistema de almacenamiento (8).
16. Expansor secundario.

DESCRIPCIÓN DE UNA FORMA DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

- 10 Para ilustrar la forma de realización de la invención se proponen dos ejemplos, cada uno representativo de los casos anteriormente descritos de implementación con un ciclo híbrido Rankine-Brayton y otro con un ciclo de recompresión con CO₂ supercrítico.

- 15 La figura 1 muestra un ciclo híbrido Rankine-Brayton al que no se le han incorporado los sistemas prescritos en esta invención. El ciclo es adecuado para trabajar con una temperatura de hasta 400 °C y uno de los fluidos de trabajo adecuados es el propano. La temperatura ambiente nominal es de 30 °C.

- 20 El propano, tras su paso por el equipo de aporte de calor principal (6), se encuentra a operando a 144 bar y 370 °C, y se introduce en la turbina (7) donde se expande hasta 12 bar, con un rendimiento isentrópico de 90%, alcanzando una temperatura de 265 °C. El vapor de propano que sale de la turbina (7) se introduce en el primer regenerador (5) donde reduce aún más su temperatura hasta llegar a 59 °C. Desde allí, se introduce en el condensador (4). Una parte del caudal, el 27 %, se extrae como vapor saturado y se envía al compresor
- 25 auxiliar (1), donde se comprime desde 12 bar hasta 144 bar con un rendimiento isentrópico del 80 %, por lo que sale a 179 °C. La otra parte, el 73 %, se refrigera en el condensador (4) a 35 °C. El líquido saturado a 35 °C y 12 bar se envía a la bomba (3), donde se presuriza hasta alcanzar 144 bar y 49 °C. En ese punto, dicha fracción se introduce en el primer regenerador (5), alimentado por el vapor de la turbina (7), donde se calienta hasta llegar a 255 °C. Esta fracción, tras su
- 30 paso por el primer regenerador (5), se mezcla con la otra que procede del compresor auxiliar (1). La mezcla de ambas corrientes se encuentra a 234 °C y

se introduce el equipo de aporte de calor principal (6), donde se calienta hasta los 370 °C, como se ha mencionado previamente.

La invención consiste en incorporar el motor eléctrico (8), el sistema de almacenamiento (9), la válvula de laminación (10) y el intercambiador de calor (11) que absorbe energía térmica del ambiente, operando el sistema conjunto como se describe en los párrafos siguientes.

Durante el proceso de carga, ilustrado en la figura 2 y que tiene lugar cuando la energía eléctrica o mecánica tiene bajo coste, el compresor auxiliar (1), accionado por el motor eléctrico (8), comprime propano en condiciones de vapor saturado a 9,5 bar y 25 °C hasta 133 bar y 177 °C, con un rendimiento isentrópico del 80 %. El propano que sale del compresor auxiliar (1) se dirige al sistema de almacenamiento (9), que puede materializarse como un sistema en doble tanque de aceite térmico, una termoclina, o un sistema de almacenamiento térmico en medios sólidos o partículas. Tras su paso por él, cede parte de su energía saliendo a 61 °C. En este punto, se lamina en la válvula de laminación (10) desde 133 bar hasta 9,5 bar, para que se introduzca en el intercambiador de calor (11), que es de tipo evaporativo y trabaja a 25 °C, donde absorbe calor del ambiente antes de quedar en condiciones de vapor saturado e introducirse en el compresor auxiliar (1).

La figura 3 ilustra el funcionamiento cuando se desea generar electricidad, porque el precio de venta de la energía es alto, y una vez cargado el sistema. El propano, tras su paso por el equipo de aporte de calor principal (6), se encuentra a operando a 170 bar y 370 °C. Desde ahí se introduce en la turbina (7) donde se expande hasta 12 bar, con un rendimiento isentrópico de 90%, alcanzando una temperatura de 257 °C. El vapor de propano que sale de la turbina (7) se introduce en el primer regenerador (5) donde cede calor hasta llegar a 61 °C. Desde allí, se dirige al condensador (4), donde se condensa a 35 °C completamente, sin enviar una fracción al compresor auxiliar (1), evitando así su consumo. El propano como líquido saturado tras la condensación se dirige a la bomba (3), donde se presuriza desde 12 bar hasta 170 bar, alcanzando una temperatura de 51 °C. Posteriormente, una fracción del propano, el 75%, se introduce en el primer regenerador (5), alimentado térmicamente por el vapor de la turbina (7), donde se calienta hasta llegar a 247 °C. La otra fracción, el 25 %, se dirige al sistema de almacenamiento (9), donde recibe el calor almacenado previamente y e incrementa su temperatura hasta alcanzar 167 °C. Ambas

fracciones se mezclan, obteniéndose propano a 227 °C, que se introduce el equipo de aporte de calor principal (6), donde se calienta hasta los 370 °C, como se ha mencionado previamente.

5 Por otro lado, la figura 4 muestra un ciclo de recompresión trabajando con CO₂ supercrítico al que no se le han incorporado los sistemas prescritos en esta invención. El ciclo es adecuado para trabajar con una temperatura máxima de entre 500 y 700 °C. La temperatura ambiente nominal es, como en el ejemplo anterior, de 30 °C.

10 El dióxido de carbono, tras su paso por el equipo de aporte de calor principal (6), se encuentra a operando a 250 bar y, como ejemplo, 560 °C, y se introduce en la turbina (7) donde se expande hasta 85 bar, con un rendimiento isentrópico de 90%, alcanzando una temperatura de 431 °C. El dióxido de carbono que sale de la turbina (7) se introduce en el regenerador de alta temperatura (14) donde cede calor hasta llegar a 201 °C. Tras su paso por el regenerador de alta temperatura
15 (14), se introduce en el primer regenerador (5), donde sigue cediendo calor hasta llegar a 83 °C. Desde allí, una parte del caudal, el 35 %, se envía al compresor auxiliar (1), donde se comprime desde 85 bar hasta 250 bar con un rendimiento isentrópico del 80 %, por lo que sale a 191 °C. La otra parte, el 65 %, se refrigera en el refrigerador (13) hasta alcanzar 35 °C, enviándose al compresor
20 secundario (12) donde se presuriza con un rendimiento del 80 % desde 85 bar hasta 250 bar. La temperatura del dióxido de carbono tras su paso el compresor principal (12) es de 73 °C. En ese punto, dicha fracción se introduce en el primer regenerador (5), alimentado por el vapor de CO₂, donde se calienta hasta llegar a 191 °C. Esta fracción se mezcla con la otra que procede del compresor auxiliar
25 (1). La mezcla de ambas corrientes se encuentra a 191 °C y se introduce en el regenerador de alta temperatura (14), alimentado con dióxido de carbono procedente de la turbina (7), alcanzando una temperatura de 391 °C. A su salida, se envía al equipo de aporte de calor principal (6), donde se calienta hasta los 560 °C, como se ha mencionado previamente.

30 La invención, para el caso de ciclos de recompresión con CO₂ supercrítico, consiste en incorporar, además del motor eléctrico (8), el sistema de almacenamiento (9), la válvula de laminación (10) y el intercambiador de calor (11) que absorbe energía térmica del ambiente, un recuperador de calor (15) del sistema de almacenamiento (9), operando el sistema conjunto como se describe
35 en los párrafos de debajo.

Durante el proceso de carga, ilustrado en la figura 5 y que tiene lugar cuando la energía eléctrica o mecánica tiene bajo coste, el compresor auxiliar (1), accionado por el motor eléctrico (8), comprime dióxido de carbono en condiciones 73 °C y 64 bar hasta 173 bar y 172 °C, con un rendimiento isentrópico del 80 %. El dióxido de carbono que sale del compresor auxiliar (1) se dirige al sistema de almacenamiento (9), que puede materializarse como un sistema en doble tanque de aceite térmico, una termoclina, o un sistema de almacenamiento térmico en medios sólidos o partículas. Tras su paso por él, cede parte de su energía saliendo a 83 °C. En este punto, se introduce en el recuperador (15) del sistema de almacenamiento (9) donde cede calor descendiendo su temperatura hasta 47 °C. Posteriormente lamina en la válvula de laminación (10) desde 173 bar hasta 64 bar, y se introduce en el intercambiador de calor (11), que es de tipo evaporativo, donde absorbe calor del ambiente hasta las condiciones de vapor saturado a 25 °C e introducirse en el compresor auxiliar (1).

La figura 6 ilustra, de forma análoga a la figura 3, el funcionamiento cuando se desea generar electricidad. El dióxido de carbono, tras su paso por el equipo de aporte de calor principal (6), se encuentra a operando a 250 bar y 560 °C. Desde ahí se introduce en la turbina (7) donde se expande hasta 85 bar, con un rendimiento isentrópico de 90%, alcanzando una temperatura de 431 °C. El dióxido de carbono que sale de la turbina (7) se introduce en el regenerador de alta temperatura (14), donde cede calor hasta llegar a 172 °C. Posteriormente, pasa por el primer regenerador (5), donde continúa cediendo calor hasta llegar a una temperatura de 83 °C. Desde allí, la totalidad de dióxido de carbono se dirige al refrigerador (13), donde cede calor al ambiente hasta alcanzar 35 °C completamente, sin enviar una fracción al compresor auxiliar (1), evitando así su consumo. Tras la refrigeración, el dióxido de carbono se dirige al compresor principal (12), donde se presuriza desde 85 bar hasta 250 bar, alcanzando una temperatura de 73 °C, con un rendimiento isentrópico del 80 %. Posteriormente, una fracción del fluido, el 63%, se introduce en el primer regenerador (5), donde se calienta hasta llegar a 162 °C. La otra fracción, el 37 %, se dirige al sistema de almacenamiento (9), donde recibe el calor almacenado previamente e incrementa su temperatura hasta alcanzar 162 °C. Ambas fracciones se mezclan, obteniéndose dióxido de carbono a 162 °C, que se introduce en el regenerador de alta temperatura (14), donde se calienta hasta alcanzar 381 °C y,

finalmente, en el equipo de aporte de calor principal (6), donde se calienta hasta los 560 °C, como se ha mencionado previamente.

REIVINDICACIONES

- 1 – Sistema para desacoplar el consumo y la producción de energía mecánica en ciclos termodinámicos de potencia, donde un ciclo termodinámico de potencia comprende un proceso de carga y un proceso de descarga, donde el sistema comprende:
- 5
- un compresor auxiliar (1);
 - un condensador (4) o un refrigerador (13);
 - una bomba (3) o un compresor principal (12) que trabaja entre las mismas presiones que el compresor auxiliar (1) y separado de dicho compresor auxiliar (1) por el condensador (4) o el refrigerador (13);

10

 - un primer regenerador (5) de baja temperatura;
 - un equipo de aporte de calor principal (6);
 - una turbina (7);
 - un generador eléctrico (2);

15

 - un sistema de almacenamiento térmico (9);
 - una válvula de laminación (10) o, alternativamente, un expansor de baja temperatura;
 - un motor eléctrico (8) configurado para accionar el compresor auxiliar (1);
- caracterizado** por que:
- 20
- el motor eléctrico (8) está configurado para alimentarse de electricidad procedente de paneles fotovoltaicos, de la red eléctrica o del generador eléctrico (2), y para accionar al compresor auxiliar (1) cuando no existe demanda o no se desea verter la energía eléctrica producida a la red eléctrica, estando el ciclo termodinámico de potencia apagado o

25

 - encendido a baja carga para accionar el compresor auxiliar (1).

- 2 – Sistema para desacoplar el consumo y la producción de energía mecánica en ciclos termodinámicos de potencia según reivindicación 1, que comprende además, un intercambiador de calor (11) configurado para absorber energía
- 30
- térmica del ambiente; un recuperador de calor (15) del sistema de almacenamiento (9) configurado para transferir, durante el proceso de carga,

energía térmica del fluido de trabajo tras su paso por el sistema de almacenamiento (9) al propio fluido de trabajo tras su paso por el intercambiador de calor (11), donde dicho intercambiador de calor (11) está configurado para absorber energía del ambiente tras su paso por la válvula de laminación (10) o,
 5 en su lugar, el expansor de baja temperatura, y previamente a su introducción en el compresor auxiliar (1).

3 – Sistema para desacoplar el consumo y la producción de energía mecánica en ciclos termodinámicos de potencia según la reivindicación 2, donde el recuperador de calor (15) del sistema de almacenamiento (9) es el mismo que el
 10 primer regenerador (5) de baja temperatura.

4 – Sistema para desacoplar el consumo y la producción de energía mecánica en ciclos termodinámicos de potencia según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 3, que comprende una segunda bomba o un segundo compresor principal que trabaje en paralelo con la bomba (3) o
 15 compresor principal (12) de los medios del ciclo de potencia, respectivamente.

5 – Sistema para desacoplar el consumo y la producción de energía mecánica en ciclos termodinámicos de potencia según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 4, que comprende un expansor secundario (16) de forma que, durante el proceso de carga, dicho expansor secundario (16) está configurado para almacenar más energía que la demandada por los medios del ciclo de potencia durante la descarga y, durante la descarga, está configurado para dirigir una fracción del fluido de trabajo, tras su paso por el sistema de almacenamiento (9), a los medios del ciclo de potencia, y para dirigir la otra fracción, que se corresponde con el sobrante de energía almacenada, al expansor secundario (16), donde produce más potencia.

6 – Sistema para desacoplar el consumo y la producción de energía mecánica en ciclos termodinámicos de potencia según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 5, donde el intercambiador de calor (11) es de tipo gas-aire o evaporador.

7 – Procedimiento para desacoplar el consumo y la producción de energía mecánica en ciclos termodinámicos de potencia, donde el procedimiento comprende emplear:

- un compresor auxiliar (1), una bomba (3) o compresor principal (12) que
 20 trabaja entre las mismas presiones que el compresor auxiliar (1) y

- separado de éste por un condensador (4) o un refrigerador (13), un primer regenerador (5), un equipo de aporte de calor principal (6), una turbina (7) y un generador eléctrico (2);
- un sistema de almacenamiento térmico (9);
- 5 - una válvula de laminación (10) o, alternativamente, un expansor de baja temperatura;
- un motor eléctrico (8) que acciona el compresor auxiliar (1);
 - un intercambiador de calor (11) que absorbe energía térmica del ambiente;
- 10 **caracterizado** por que el procedimiento comprende un proceso de carga del sistema de almacenamiento (9) mediante los pasos de:
- alimentar al motor eléctrico (8) con electricidad procedente de paneles fotovoltaicos, de la red eléctrica o del generador eléctrico (2);
 - accionar el compresor auxiliar (1) cuando no existe demanda o no se
- 15 desea verter la energía eléctrica producida a la red eléctrica;
- introducir un fluido de trabajo, que sale del compresor auxiliar (1) a una temperatura denominada temperatura de carga, en el sistema de almacenamiento (9) y transferirle energía térmica, y;
 - posteriormente pasar dicho fluido de trabajo por la válvula de laminación
- 20 (10) y el intercambiador de calor (11) para recibir energía térmica del ambiente;
- introducir el fluido de trabajo, de nuevo, en el compresor auxiliar (1);
 - y el procedimiento comprende además un proceso de descarga del sistema de almacenamiento (9) mediante los pasos de:
- 25 - apagar el motor eléctrico (8) y el compresor auxiliar (1), cuando se vierte energía eléctrica a la red, mientras que el ciclo de potencia está activo;
- comprimir el fluido de trabajo en la bomba (3) o en el compresor principal (12);
 - enviar una primera fracción del fluido de trabajo que sale de la bomba (3)
- 30 o compresor principal (12) al sistema de almacenamiento (9);
- enviar una segunda fracción del fluido de trabajo al primer regenerador (5);

- recibir, en el sistema de almacenamiento (9), la energía térmica almacenada previamente hasta alcanzar una temperatura denominada temperatura de descarga en la primera fracción del fluido de trabajo, donde la temperatura de descarga es igual que la temperatura de carga menos un diferencial que oscila entre 0 °C y 20 °C;
- 5
- mezclar la primera fracción del fluido de trabajo con la segunda fracción del fluido de trabajo del primer regenerador (5);
 - introducir las fracciones mezcladas del fluido de trabajo en un regenerador de alta temperatura (14) y proseguir en el ciclo de potencia.
- 10
- 8 – Procedimiento para desacoplar el consumo y la producción de energía mecánica en ciclos termodinámicos de potencia según reivindicación 7, que comprende además, durante el proceso de carga, el paso de transferir, con un recuperador de calor (15), energía térmica del fluido de trabajo tras su paso por el sistema de almacenamiento (9) al propio fluido de trabajo tras su paso por el
- 15
- intercambiador de calor (11) que absorbe energía del ambiente y previamente a su introducción en el compresor auxiliar (1).
- 9 – Procedimiento para desacoplar el consumo y la producción de energía mecánica en ciclos termodinámicos de potencia según las reivindicaciones 7 u 8, que emplea además un expansor secundario (16), de forma que, durante el proceso de carga, se almacena más energía que la demandada por el ciclo de potencia durante la descarga y, durante el proceso de descarga, se dirige una fracción del fluido de trabajo, tras su paso por el sistema de almacenamiento (9), al ciclo de potencia, y la otra fracción, que se corresponde con el sobrante de energía almacenada, se dirige al expansor secundario (16), donde produce más potencia.

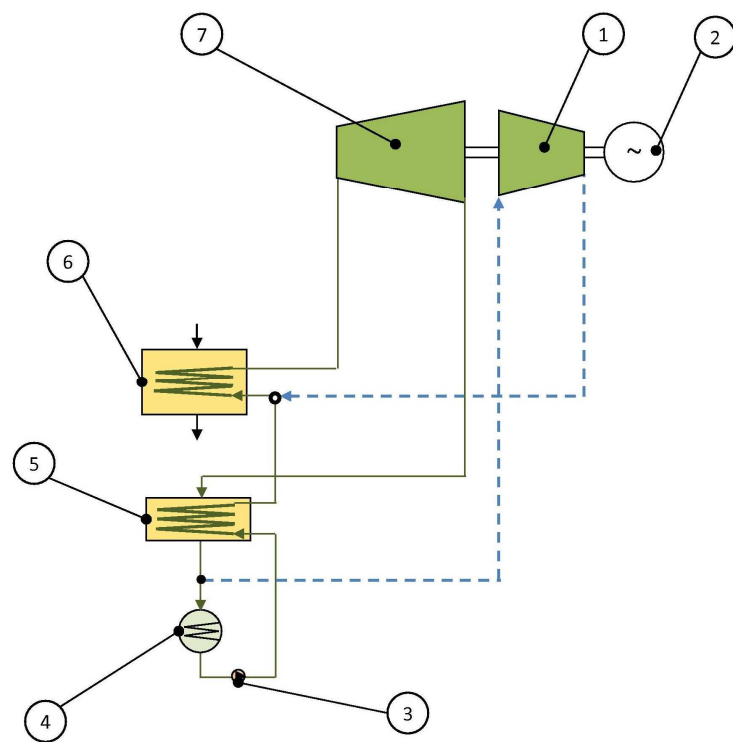


FIG. 1.

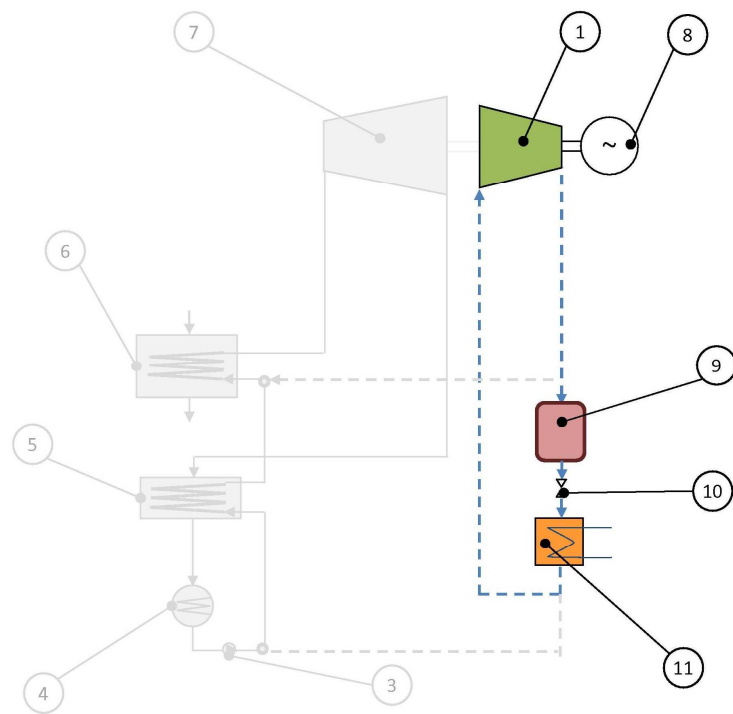


FIG. 2.

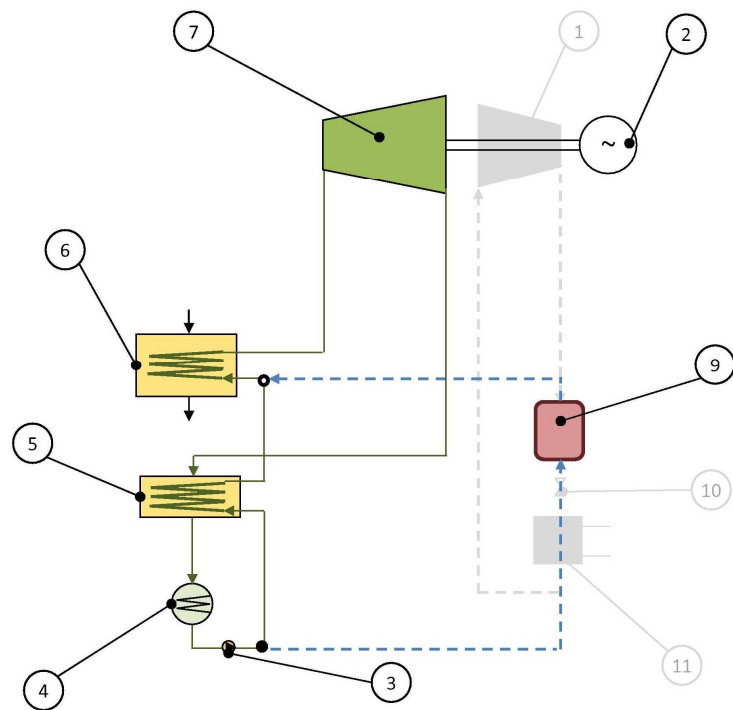


FIG. 3.

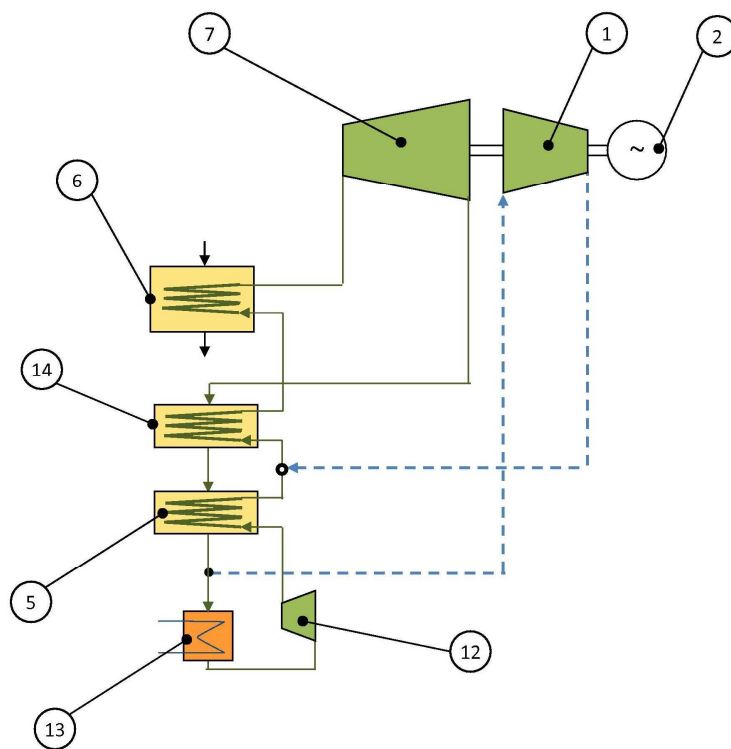


FIG. 4.

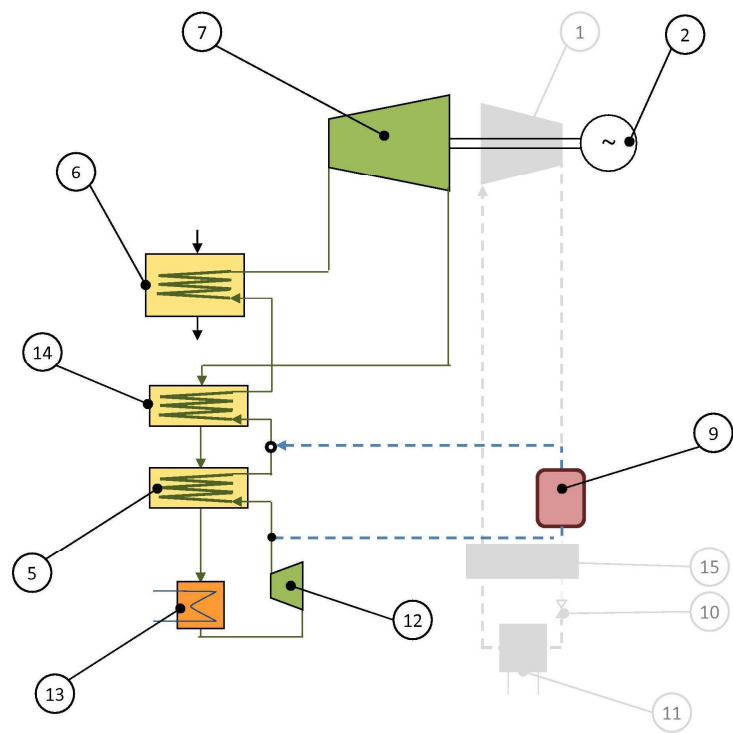


FIG. 6.

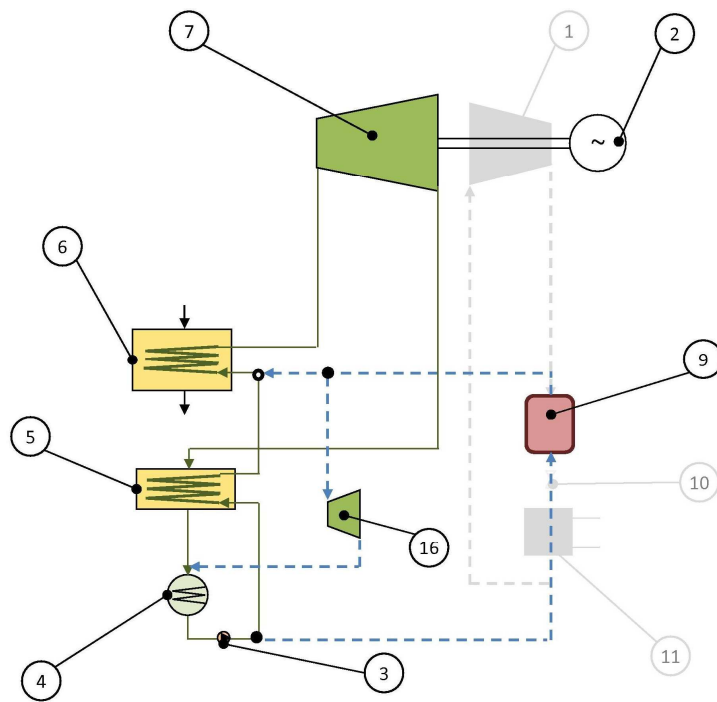


FIG. 7.