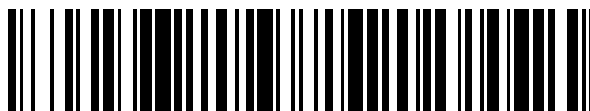


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 698 052**

51 Int. Cl.:

F03G 7/05

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.09.2012 PCT/FR2012/000359**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.04.2013 WO13050666**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.09.2012 E 12769452 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.07.2018 EP 2764243**

54 Título: **Procedimiento y sistema perfeccionado de conversión de la energía térmica marina**

30 Prioridad:

07.10.2011 FR 1103076

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

30.01.2019

73 Titular/es:

**IFP ENERGIES NOUVELLES (100.0%)
1 & 4 avenue de Bois-Préau
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**TEIXEIRA, DAVID y
MABILE, CLAUDE**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 698 052 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).

DESCRIPCION

Procedimiento y sistema perfeccionado de conversión de la energía térmica marina

5 La presente invención se sitúa en el ámbito de la Energía Térmica de los Mares ETM (OTEC por Ocean Thermal Energy Conversion) que se refiere a la energía utilizable obtenida aprovechando la diferencia de temperatura existente en las regiones tropicales y subtropicales entre las aguas de mar superficiales y las aguas situadas en profundidades, en particular del orden de los 1000 m. Las aguas superficiales se utilizan para la fuente de calor y las aguas profundas para la fuente fría de un ciclo termodinámico motor. La diferencia de temperatura entre la fuente de calor y la fuente fría al ser relativamente baja, los rendimientos energéticos esperados son también bajos.

10 El objeto de la invención es aumentar la temperatura de la fuente de calor a menor coste, con el fin de mejorar fuertemente la eficacia (hasta doblarla) de una central ETM clásica y por consiguiente su rentabilidad. Por otra parte, eso permite ampliar el área de implementación de este tipo de central, aumentando por este hecho el mercado potencial.

15 Las centrales ETM convencionales funcionan generalmente según un ciclo (véase WO 2008/042893 A2). Se conoce una variante de este ciclo con sobrecalentamiento (ciclo de Hirn). El ciclo de Hirn consiste en calentar suficientemente el fluido motor para que, después de la expansión, sea siempre gaseoso. Pero estas centrales no presentan una optimización máxima en todas las localizaciones impuestas.

20 El objeto de la invención es optimizar un sistema de recuperación de la energía marina basándose en la concepción de la central, habida cuenta de las temperaturas impuestas de las fuentes frías y calientes, sobre las normas siguientes: el calentamiento por la fuente de calor (agua de mar superficial) provoca la vaporización casi total del fluido motor, y una fuente secundaria asegura un calentamiento complementario al fluido motor vaporizado.

Así, la presente invención se refiere a un procedimiento de conversión de la energía térmica marina según la reivindicación 1.

25 Se puede recuperar mediante dos niveles de turbinas la energía térmica del fluido motor vaporizado y calentado, y se puede calentar el fluido motor entre los dos niveles de turbinas mediante un intercambio térmico entre el fluido motor y el agua de mar caliente de la superficie. Se puede calentar el fluido motor entre los dos niveles de turbinas mediante un intercambio térmico entre el fluido motor y una porción del fluido motor extraída río abajo de la segunda turbina, recombinándose la indicada porción, después de la expansión, en el circuito principal del fluido motor.

Se puede constituir la fuente fría con un circuito cerrado de un fluido frigoportador que intercambia térmicamente con el agua de mar fría profunda.

30 La invención se refiere igualmente a un sistema de conversión de la energía térmica marina que comprende:

- medios de circulación en circuito cerrado de un fluido motor característico determinado entre una fuente fría y una fuente caliente, estando las indicadas fuentes respectivamente constituidas por un intercambiador térmico entre el fluido motor y un fluido a la temperatura del agua de mar fría profunda y un intercambiador térmico entre el fluido motor y un fluido a la temperatura del agua de mar caliente de la superficie,
- 35 - medios de compresión del fluido motor entre la fuente fría y la fuente caliente para que, teniendo en cuenta las condiciones termodinámicas de las fuentes y de la naturaleza del fluido motor, el indicado fluido motor sea sustancialmente totalmente vaporizado a la salida de la fuente caliente,
- medios de calentamiento secundarios, río abajo de la fuente caliente, de dicho fluido motor vaporizado,
- medios de recuperación de la energía térmica del fluido motor vaporizado y calentado,
- 40 - medios de condensación del fluido motor en la fuente fría.

45 Los medios de recuperación de la energía térmica del fluido motor vaporizado y calentado pueden comprender dos niveles de turbinas, y un intercambiador térmico entre el fluido motor y un fluido a la temperatura del agua de mar caliente superficial, estando el intercambiador situado entre los dos niveles de turbinas. El intercambiador térmico situado entre los dos niveles de turbinas puede constituir un intercambio térmico entre el fluido motor y una porción del fluido motor extraída río abajo de la segunda turbina por un divisor de flujo, comprimida entre un compresor, luego después de la expansión en una válvula, recombinada en el circuito principal del fluido motor por un mezclador.

Los medios de calentamiento secundario pueden comprender una bomba de calor cuya fuente caliente está constituida por un intercambiador térmico con agua de mar caliente de la superficie.

50 La fuente fría puede comprender un circuito cerrado de un fluido frigoportador que se intercambia térmicamente con el agua de mar fría de profundidad.

La concepción de la central se basa en los medios utilizados para obtener un método de calentamiento específico durante el ciclo motor, en particular de forma que la energía de calentamiento por el agua superficial vaporice el fluido motor, y que la fuente secundaria de calor específico al fluido motor vaporizado, aporte un nivel de energía suplementario que permita aumentar la rentabilidad del ciclo.

5 La presente invención no se limita a los ciclos de Rankine, todos los ciclos termodinámicos utilizados por las centrales ETM pueden ser ventajosamente perfeccionados por la invención.

Este principio de “dividir el trabajo” de calentamiento del fluido motor entre el agua de mar caliente (poco costosa) y una fuente adicional de calor permite una buena adaptabilidad del sistema según la invención a las situaciones locales, con una mejor rentabilidad.

10 La presente invención se comprenderá mejor y sus ventajas aparecerán más claramente con la lectura de la descripción que sigue, de ejemplos de realización, en modo alguno limitativos, ilustrados por las figuras que se acompañan, entre las cuales:

- la figura 1 proporciona una representación del ciclo termodinámico de una central ETM cuya fuente caliente es mejorada en un diagrama entálpico,

15 - la figura 2 muestra esquemáticamente un sistema de realización de la invención,

- la figura 3 proporciona, en variante, una representación del ciclo termodinámico de una central ETM cuya fuente caliente es mejorada en un diagrama entálpico,

- la figura 4 muestra esquemáticamente una variante del sistema según la invención,

- la figura 5 ilustra una bomba de calor,

20 - la figura 6 ilustra una variante para un intercambio térmico entre dos niveles de turbinas.

La invención se basa por consiguiente en la división del trabajo entre el agua caliente y una fuente adicional de calor. El principio es el siguiente: el agua de mar caliente, poco costosa, asegura la vaporización del fluido de trabajo, luego otra fuente de calor aumenta la temperatura de este último.

25 Se obtiene el ciclo termodinámico por el razonamiento dado a continuación. La presión de la fuente fría es impuesta por la temperatura de esta última. En efecto, la presión debe ser suficiente para que la fuente fría pueda condensar el fluido de trabajo bajando simplemente su temperatura.

30 Una vez la presión de la fuente fría $P_{fría}$ determinada, se busca el punto de intersección entre el isentrópico que pasa por $T_{fría}$ y $P_{fría}$ (gaseoso) y la línea recta horizontal cuya temperatura es $T_{AguaCaliente}$ en la campana del diagrama entálpico. Se obtiene así la presión de la fuente de calor y el punto de intersección nos proporciona la temperatura $T_{Caliente}$ que optimiza el sistema.

Según este razonamiento y tomando las temperaturas de agua caliente y fría respectivamente de 303 K y 278 K, se traza en la figura 1 el ciclo termodinámico así obtenido con el amoniaco como fluido de trabajo.

35 La figura 2 presenta el esquema de base de una central ETM que funciona con un ciclo de Rankine y que comprende un intercambiador 1 de fuente caliente y una fuente de calor secundaria 2. La fuente de calor secundaria puede ser realizada con todas las fuentes que permiten alcanzar una temperatura superior a la temperatura del agua de mar de superficie (referencia 3) y suficiente para mejorar el ciclo termodinámico.

40 El sistema comprende un intercambiador de fuente fría 4 a partir del agua de mar fría (referencia 5) extraída en profundidad. De una forma equivalente, y sin salir de la presente invención, se puede utilizar un fluido frigoportador que transporta la energía del agua de mar de las profundidades hacia el intercambiador de fuente fría. El circuito del fluido motor, en el presente ejemplo del amoniaco, comprende un compresor 6 y una turbina 7 que acciona un generador 8.

Los valores de presión (P en bares) y temperatura (T en kelvin) dependen de las temperaturas del agua fría y del agua caliente, y de la naturaleza del fluido motor que está prácticamente totalmente vaporizado a la salida del intercambiador de fuente caliente.

45 Una variante del procedimiento consiste del mismo modo en “dividir el trabajo” entre el agua caliente y una fuente adicional de calor, pero con una solución que permite disminuir la energía proporcionada por la fuente secundaria de calor.

Se obtiene el ciclo termodinámico, para el amoniaco, por el razonamiento dado a continuación:

50 Como anteriormente, la presión de la fuente fría es impuesta por la temperatura de esta última. En efecto, la presión debe ser suficiente para que la fuente fría pueda condensar el fluido de trabajo bajando simplemente su

temperatura.

Una vez la presión de la fuente fría $P_{fría}$ determinada, se busca el punto de intersección entre el isentrópico que pasa por $T_{fría}$ y $P_{fría}$ (gaseoso) y la isoterma a la temperatura del agua caliente, para obtener así la segunda etapa del ciclo. Esta intersección permite determinar la presión intermedia. A partir de este último punto, se sigue la isobara hasta la curva de comienzo de cambio de fase. Se obtiene así la presión y la temperatura de salida de la primera fase.

Seguidamente, se busca la intersección entre el isentrópico que pasa por el último punto y la línea recta horizontal cuya temperatura es $T_{AguaCaliente}$ en la campana del diagrama entálpico. Se obtiene así la primera etapa del ciclo. Esta intersección permite determinar la alta presión.

Considerando las temperaturas de agua caliente y fría respectivamente de 303 K y 278 K, se ha trazado en la figura 3 el nuevo ciclo termodinámico así obtenido con el amoníaco como fluido de trabajo.

Esta variante puede ser considerada para recuperar la potencia en varias etapas de expansión. El fin es disminuir la energía aportada por la fuente de calor secundaria 2'. La figura 4 representa un sistema de dos etapas de recuperación de energía. En el caso de dicha central, el circuito del fluido motor, aquí el amoníaco, no experimenta ninguna diferencia entre la entrada del intercambiador de fuente fría 4 y la salida del intercambiador de fuente caliente 1a. Río abajo de este intercambiador, el circuito comprende una fuente de calor secundaria 2' que, en esta variante, proporciona menos energía. En este ejemplo, solo proporciona la mitad de la energía con relación al sistema según la figura 2. Después de esta fuente de calor secundaria 2', el fluido se descomprime en una primera turbina 7a. La temperatura del fluido motor al ser menos elevada que en el caso de una etapa, el porcentaje de descompresión es más bajo. La potencia recuperada es también más pequeña. En este ejemplo, representa la mitad de la recuperada en el sistema de la figura 2. A la salida de esta primera turbina 7a (HP), el fluido motor se recalienta en un intercambiador de fuente caliente 1b de la 2ª etapa. Luego, se descomprime en una segunda turbina 7b (BP). En el ejemplo, la segunda turbina permite recuperar la misma potencia que la primera. Cada turbina puede accionar un generador eléctrico, o las dos turbinas pueden estar sobre un solo eje de un mismo generador. Así, esta variante ilustra un procedimiento que permite recuperar al final la misma energía que el sistema de la figura 2, y ventajosamente con una disminución de la potencia requerida por la fuente de calor secundaria.

Ejemplos

La Tabla 1 proporciona los caudales de amoníaco, de agua de mar de la superficie caliente y de agua de mar profunda, fría para una central ETM sin fuente de calor secundaria, de 10 MW en la turbina.

Tabla 1

Caudal de amoníaco	Caudal de agua caliente	Caudal de agua fría
0,25 t/s	27 t/s	38 t/s

La Tabla 2 proporciona las potencias puestas en juego en los diferentes elementos del circuito del sistema de una central convencional. Los rendimientos del compresor y de la turbina han sido fijados en 0,9.

Tabla 2

Compresor	Turbina	Fuente fría	Fuente caliente	Rendimiento global
0,093 MW	10,045 MW	312 MW	322 MW	3,1%

La Tabla 3 presenta, las potencias puestas en juego y el rendimiento global del ciclo de una central con fuente de calor secundaria que permite comprobar las condiciones de temperatura y presión inscritas en la Figura 2. Los caudales de agua y de amoníaco con los mismos que para la central convencional según la Tabla 1.

Tabla 3

Compresor	Turbina	Fuente fría	Fuente caliente	Fuente caliente 2	Rendimiento
0,22 MW	20,4 MW	312 MW	322 MW	10,6 MW	6,1%

Se observa que un aporte de aproximadamente 10 MW de calor (correspondiente a un 3% de la fuente de calor) permite doblar el rendimiento, pero sobre todo permite doblar la potencia recuperada por la turbina. La casi totalidad de la potencia introducida por la segunda fuente caliente es transformada en trabajo en la turbina.

Nota: el rendimiento η está definido como
$$\eta = \frac{W_{Turbina}}{Q_{Caliente}} = \frac{W_{Turbina}}{Q_{Caliente_1} + Q_{Caliente_2}}$$

Variante de dos etapas:

La Tabla 4 proporciona las potencias puestas en juego y el rendimiento global del ciclo de una central con fuente de calor secundaria y de dos etapas, que permiten comprobar las condiciones de temperatura y presión de la figura 4. Los caudales de agua y de amoníaco son los mismos que para la central clásica. Las referencias corresponden a las referencias de la figura 4.

Tabla 4

Compresor (6)	Turbina HP (7a)	Turbina BP (7b)	Fuente fría (4)	Fuente caliente (1a)	Fuente caliente (2')	Fuente caliente (1b)	Rdt η
0,22 MW	10,1 MW	10,0 MW	312 MW	322 MW	4,8 MW	5,4 MW	6,1%

Se observa que la energía proporcionada por la fuente de calor secundaria es dividida por dos, mientras que el rendimiento global es el mismo.

El rendimiento η está definido como

$$\eta = \frac{W_{Turbina}}{Q_{Caliente}} = \frac{W_{Turbina_1} + W_{Turbina_2}}{Q_{Caliente_1} + Q_{Caliente_2} + Q_{Caliente_3}}$$

Fuentes de calor secundarias

Aunque la fuente secundaria de calor pueda ser asegurada por numerosos medios conocidos (a partir de carburantes fósiles o de energías renovables), la utilización de bomba de calor es particularmente ventajosa en el ámbito de las ETM donde fuentes fría y caliente se encuentran disponibles.

Una bomba de calor (PAC) es un dispositivo termodinámico que permite transferir el calor del medio más frío (y por consiguiente enfriarlo todavía) al medio más caliente (y por consiguiente calentarlo), mientras que, naturalmente, el calor se difunde más caliente hacia el más frío hasta igualar las temperaturas. La eficacia de las bombas de calor η_{pac} se define tal como:

Error! Los objetos no pueden ser creados a partir de los códigos de campos de conformación.

donde W_{pac} es la potencia proporcionada por la bomba de calor. La eficacia puede alcanzar valores de 7 en los mejores casos.

En el caso presente, la PAC puede tener como fuente fría, el agua caliente del océano, así la PAC puede proporcionar calor 24h/24h. Sin embargo, la bomba de calor tiene un consumo de energía propio para activar su compresor. Esto disminuirá por consiguiente inevitablemente el rendimiento del dispositivo.

La Figura 5 muestra el esquema de una PAC, cuyo fluido de trabajo es el amoníaco, que permite proporcionar 10 MW térmicos a 320 K, según el elemento de calor secundario 2 integrado en el circuito de la figura 2. La referencia 10 corresponde al circuito del fluido motor del circuito principal que es calentado por esta fuente de calor 2 (PAC) en un intercambiador "fuente fría" 11. El intercambiador "fuente caliente" 12 capta la energía térmica del agua caliente de mar de superficie 13. La PAC comprende un compresor 14 y un descompresor 15.

La Tabla 5 proporciona los resultados de cálculo de las potencias de los elementos, los caudales y eficacia del PAC, según las condiciones inscritas en el esquema del circuito de la PAC de la figura 5.

Tabla 5

Compresor	Fuente fría	Fuente caliente	Caudal	Eficacia
1,1 MW	10,4 MW	9,33 MW	9 Kg/s	8,5

Para una realización de una fuente de calor secundaria según el circuito de la figura 4, una PAC idéntica que funciona con un caudal de la mitad basta.

La figura 6 ilustra otra variante en la cual la fuente de calor secundaria está constituida a partir de una porción del fluido motor. El fluido motor de NH3 gaseoso a la salida de la segunda turbina 7b (BP) se separa en dos porciones en un divisor de flujo (Splitter) 17, con aproximadamente un 4% de flujo secundario que circula por el conducto A y un 96% por el conducto B.

ES 2 698 052 T3

El conducto A conduce a un compresor 9 y el flujo secundario intercambia calor en el intercambiador 1b río arriba de la segunda turbina 7b y río abajo de la primera turbina 7a. El flujo secundario se descomprime seguidamente en una válvula 16 antes de recombinarse con el flujo principal en un mezclador 18.

5 La figura 6 proporciona en ejemplo los valores de las presiones y temperaturas en diversos puntos del circuito de la fuente de calor secundaria, según esta variante.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de conversión de la energía térmica marina en el cual:

- 5 - se hace circular en circuito cerrado un fluido motor característico determinado entre una fuente fría (4) y una fuente caliente (1), estando las indicadas fuentes respectivamente constituidas por un intercambio térmico entre el fluido motor y el agua de mar fría de profundidad y un intercambio térmico entre el fluido motor y el agua de mar caliente de superficie,
- se comprime el fluido motor entre la fuente fría y la fuente caliente para que, habida cuenta de las condiciones termodinámicas de las fuentes y de la naturaleza del fluido motor, este sea sustancialmente totalmente vaporizado a la salida de la fuente caliente,
- 10 - se recupera en una turbina (7) la energía térmica del fluido motor vaporizado y calentado,
- se condensa el fluido motor en la fuente fría,

caracterizándose el procedimiento por que se calienta, río abajo de la fuente caliente, el indicado fluido motor vaporizado, con la ayuda de una bomba de calor cuya fuente caliente está constituida por intercambio térmico con el agua de mar caliente de superficie.

15 2. Procedimiento de conversión según la reivindicación 1, en el cual se recupera mediante dos niveles de turbinas la energía térmica del fluido motor vaporizado y calentado, y por que se calienta el fluido motor entre los dos niveles de turbinas mediante un intercambio térmico entre el fluido motor y el agua de mar caliente de superficie.

20 3. Procedimiento de conversión según la reivindicación 2, en el cual se calienta el indicado fluido motor entre los dos niveles de turbinas mediante un intercambio térmico entre el fluido motor y una porción del fluido motor extraída río abajo de la segunda turbina, recombinándose la indicada porción, después de la descompresión en el circuito principal del fluido motor.

4. Procedimiento de conversión según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual se constituye la fuente fría con un circuito cerrado de un fluido frigoportador que intercambia térmicamente con el agua de mar fría de profundidad.

25 5. Sistema de conversión de la energía térmica marina que comprende:

- 30 - medios de circulación en circuito cerrado de un fluido motor característico determinado entre una fuente fría (4) y una fuente caliente (1), estando las indicadas fuentes respectivamente constituidas por un intercambiador térmico entre el fluido motor y un fluido a la temperatura del agua de mar fría de profundidad y un intercambiador térmico entre el fluido motor y un fluido a la temperatura del agua de mar caliente de superficie,
- medios de compresión (6) del fluido motor entre la fuente fría y la fuente caliente para que, habida cuenta de las condiciones termodinámicas de las fuentes y de la naturaleza del fluido motor, el indicado fluido motor sea sustancialmente totalmente vaporizado a la salida de la fuente caliente,
- medios de calentamiento secundario (2), río abajo de la fuente caliente, de dicho fluido motor vaporizado,
- 35 - medios de recuperación de la energía térmica (7) del fluido motor vaporizado y calentado,
- medios de condensación del fluido motor en la fuente fría,

caracterizándose el sistema por que los medios de calentamiento secundarios (2, 2') comprenden una bomba de calor cuya fuente caliente está constituida por un intercambiador térmico (12) con agua de mar caliente de superficie.

40 6. Sistema de conversión según la reivindicación 5, en el cual los medios de recuperación de la energía térmica del fluido motor vaporizado y calentado comprenden dos niveles de turbinas (7a, 7b), y un intercambiador térmico (1b) entre el fluido motor y un fluido a la temperatura del agua de mar caliente de superficie, estando el indicado intercambiador situado entre los dos niveles de turbinas.

7. Sistema de conversión según una de las reivindicaciones 5 y 6, en el cual la fuente fría comprende un circuito cerrado por un fluido frigoportador que intercambia térmicamente con el agua de mar fría de profundidad.

45 8. Sistema de conversión según la reivindicación 6, en el cual el indicado intercambiador térmico situado entre los dos niveles de turbinas constituye un intercambio térmico entre el fluido motor y una porción del fluido motor (A) extraída río abajo de la segunda turbina por un divisor de flujo (17), comprimido en un compresor (9), luego después

de la descompresión en una válvula (16), re combinada en el circuito principal del fluido motor por un mezclador (18).

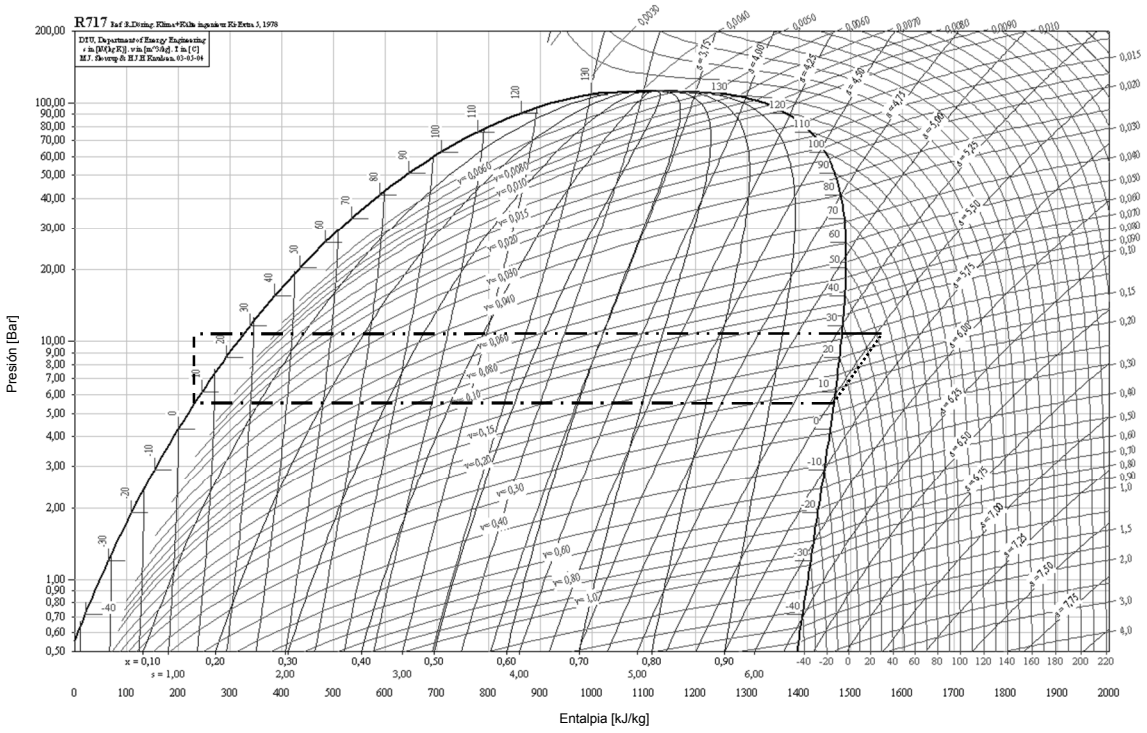


Figura 1

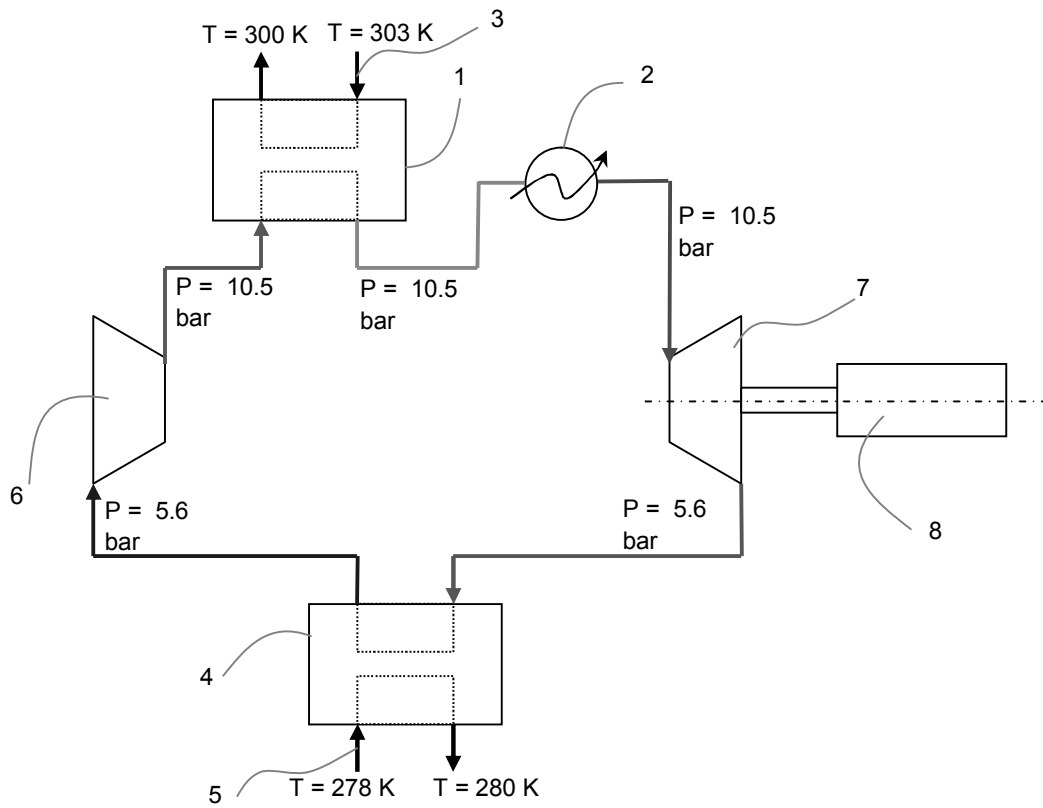


Figura 2

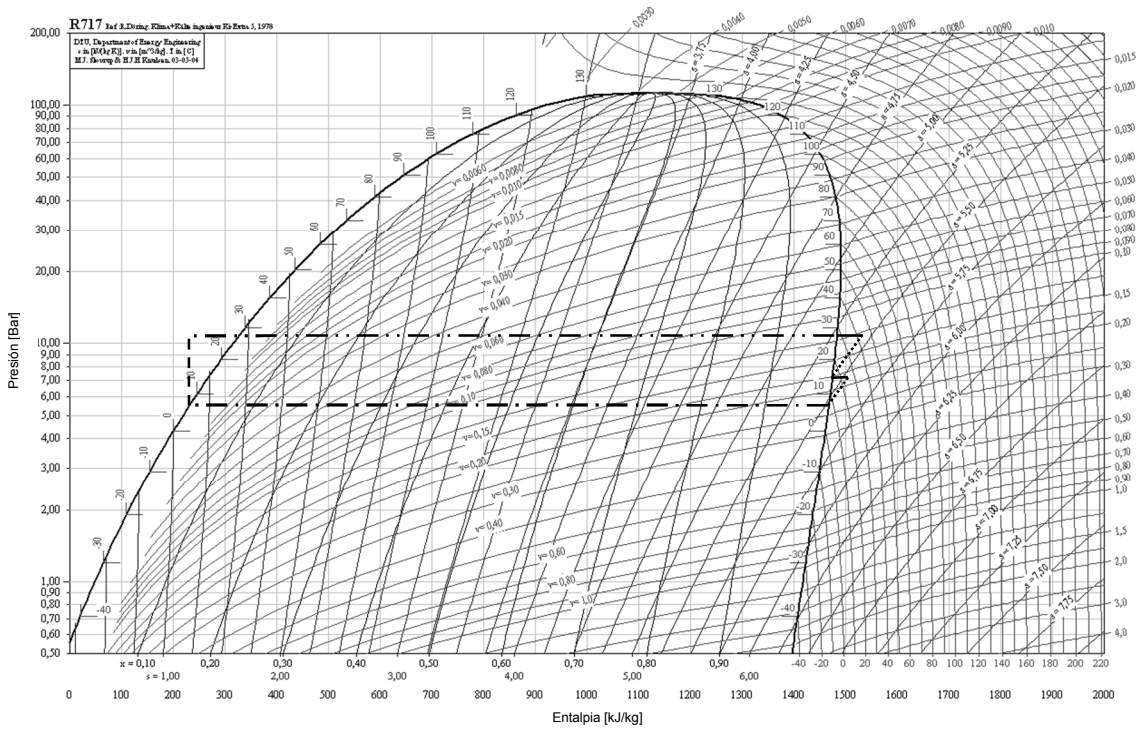


Figura 3

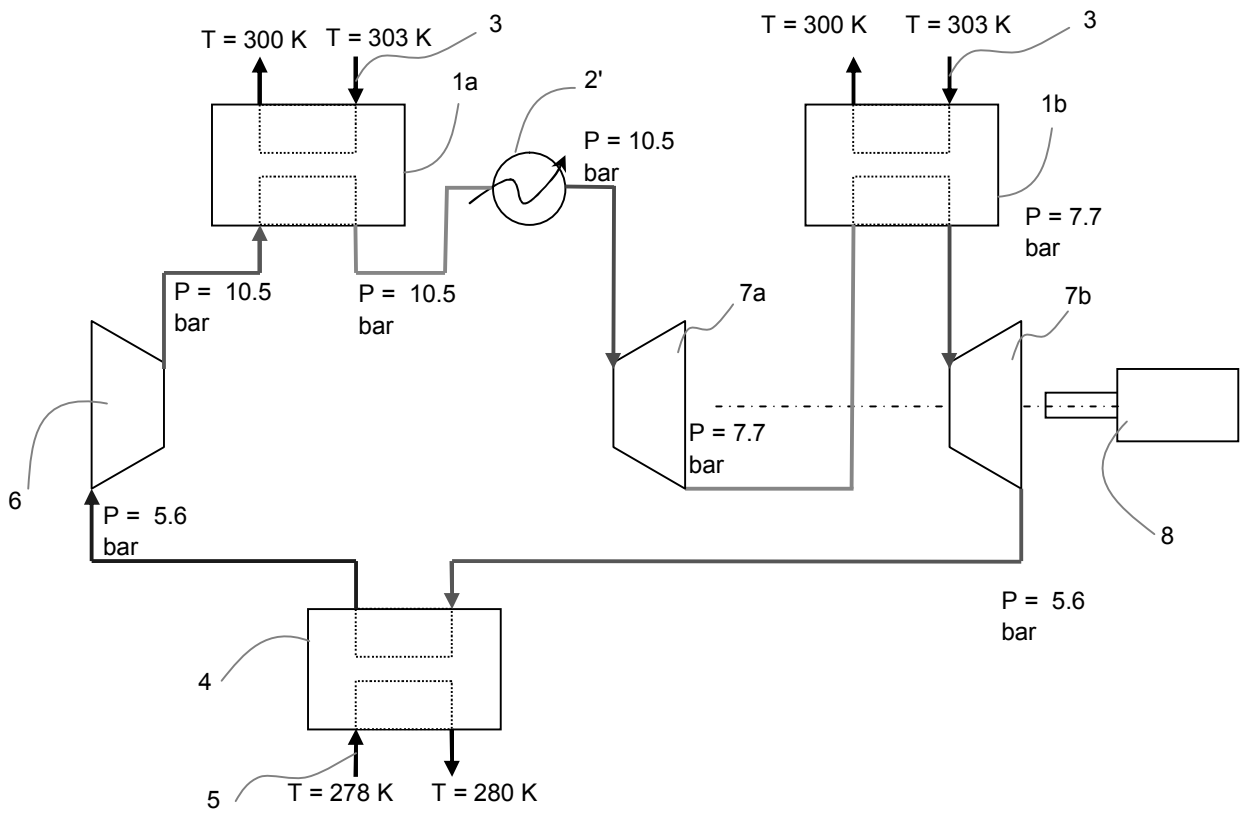


Figura 4

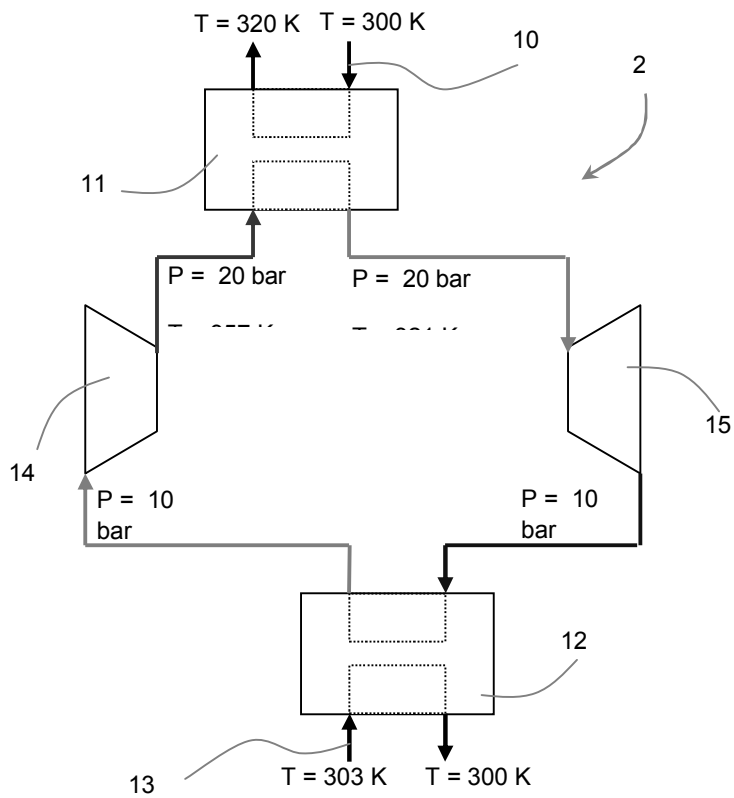


Figura 5

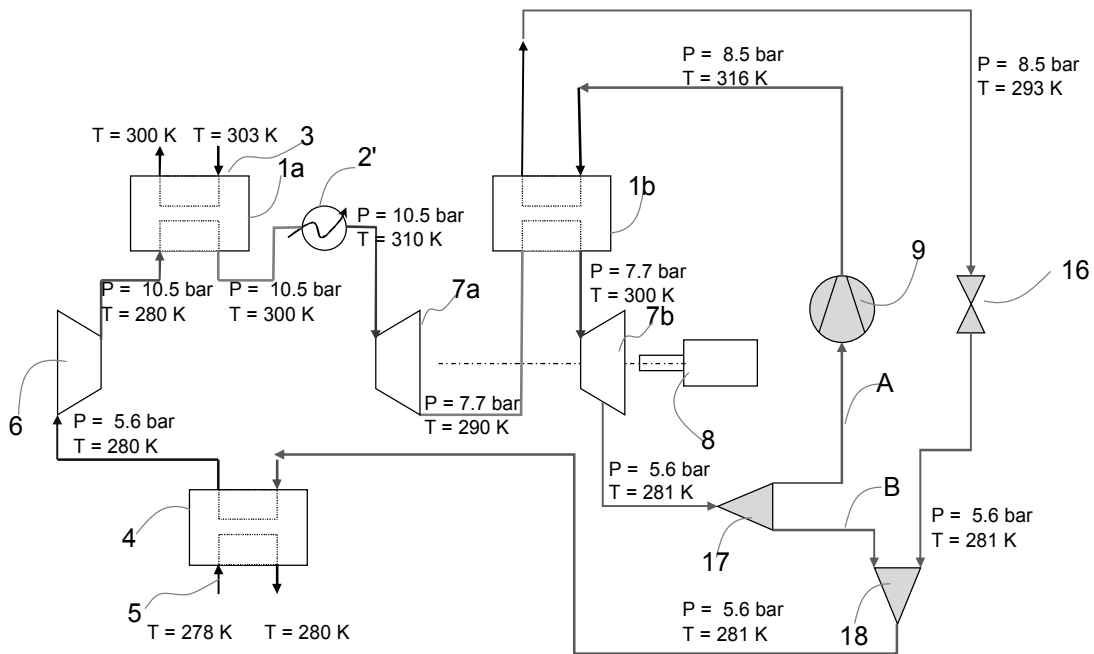


Figura 6