

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 970 574**

51 Int. Cl.:

F01K 25/08 (2006.01)

F01K 7/32 (2006.01)

F01K 23/06 (2006.01)

F01K 23/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.04.2021 PCT/US2021/029363**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.11.2021 WO21231078**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2021 E 21726272 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.11.2023 EP 4150196**

54 Título: **Ciclo de potencia de recondensación para la regasificación de fluidos**

30 Prioridad:

13.05.2020 US 202062704495 P

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

29.05.2024

73 Titular/es:

**JUST IN TIME ENERGY CO. (100.0%)
232 Philadelphia Pike Suite 2
Wilmington, DE 19809, US**

72 Inventor/es:

BERRY, JAMES E.

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 970 574 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

Ciclo de potencia de recondensación para la regasificación de fluidos

5 ANTECEDENTES

CAMPO DE LA INVENCION

10 La presente invención se relaciona a la generación de potencia y, más específicamente pero no exclusivamente, la generación de energía eléctrica utilizando turbinas de expansión y similares.

DESCRIPCIÓN DEL ARTE RELACIONADO

15 Esta sección presenta aspectos que pueden facilitar el conocimiento de la invención. Consecuentemente, las reivindicaciones de esta sección se deben de leer en este contexto y no se deben de entender como afirmaciones sobre lo que es y lo que no es arte previo.

20 Típicamente, la demanda de potencia eléctrica es mayor durante las horas diurnas y vespertinas que durante la noche. Durante la noche, las turbinas de viento suelen tener la capacidad de generar mayor cantidad de potencia que la requerida en la red eléctrica. En ocasiones durante las horas del día, las turbinas de viento y celdas solares tienen mayor capacidad de generación de energía de la que es requerida para satisfacer la demanda de energía. Pero, en otras ocasiones durante el día y sobre todo en la tarde, (aproximadamente de 6PM a 10PM) cuando el sol se ha puesto o se encuentra muy bajo sobre el cielo y hay viento ligero, se requieren de unidades de energía basadas en combustibles fósiles para satisfacer la demanda. Esto se acentúa durante climas cálidos con la alta demanda de aire acondicionado residencial.

25 Para lograr el uso eficiente de la energía renovable excedente generada, sería ventajoso proveer de un método para almacenar la energía para su uso en tiempos donde la oferta de potencia eléctrica se encuentra relativamente baja.

30 Una planta de regasificación de gas natural licuado (GNL) típicamente utiliza agua de mar o aire ambiental para proveer del calor necesario para gasificar GNL a presión cercana a atmosférica posterior a bombear el GNL a altas presiones, generalmente a una presión (después de considerar pérdidas de presión en el sistema) para igualar la presión de la tubería que se está abasteciendo. Algunos sistemas han integrado la generación de potencia aprovechando la energía fría presente en el GNL utilizándolo como disipador de calor por varios ciclos de potencia tipo Rankine o Brayton. Generalmente, estos son ciclos de Rankine orgánicos (CROs), ciclos de Brayton o ciclos de Rankine de vapor. Más frecuente es el uso de energía fría para enfriar la entrada de aire a turbinas de gas en plantas de potencia de ciclos combinados ubicados en el mismo sitio, incrementando la generación de potencia. Se ha utilizado pentano o varios refrigerantes como fluido de trabajo en los CROs. Estos sistemas tienen una eficiencia relativamente baja debido en parte a la inhabilidad de aprovechar al máximo las bajas temperaturas en el GNL para evitar presiones sub-atmosféricas durante el ciclo CRO.

40 Otro método actualmente utilizado para producir potencia eléctrica en una planta de regasificación de GNL (y en ocasiones en conjunto con los métodos previamente mencionados) es bombear el GNL a una presión significativamente mayor a la de las tuberías, calentar el fluido gasificado de alta presión y posteriormente expandirlo a través de un equipo de producción de potencia por expansión, como una turbina de expansión, a presiones cercanas a las de las tuberías abastecidas. Algunos de estos métodos reducen la cantidad de calor necesario proveniente de agua de mar o aire ambiental.

50 Se han sugerido varios conceptos para la producción y almacenamiento de aire líquido (AL) utilizando electricidad relativamente económica en horas valle y subsecuentemente utilizar este aire líquido para producir potencia eléctrica en horas punta de demanda energética. La mayoría de estos conceptos son similares al mencionado anteriormente para la producción de potencia a partir de GNL, donde el aire a presión atmosférica es bombeado a alta presión, gasificado, calentado y expandido a través de una turbina u otro equipo apropiado para la producción de potencia por expansión y, en algunos sistemas, integrando ciclos de potencia CRO utilizando el frío disponible y el proceso de gasificación como disipador de calor. El calor suministrado al AL gasificado puede provenir de varias fuentes como el calor residual de un proceso, calor de escape de una turbina, calor almacenado de un proceso de licuefacción de aire u otras fuentes. Ha sido propuesto que, en lugar de utilizar todo el frío para generar potencia, el frío liberado durante el proceso de cambio de fase de aire líquido a fluido supercrítico sea almacenado, usualmente en medio sólido como pellets de mineral de hierro, en un tanque criogénico a alta presión, donde el frío almacenado es posteriormente utilizado para reducir la potencia requerida para la producción del siguiente lote de aire líquido. El costo y limitación de presión de este equipo de almacenamiento tienen un efecto negativo en la economía del sistema.

60 Al no haber tubería de usuario como en el caso de un sistema de regasificación de GNL, el AL gasificado y calentado a alta presión es expandido a condiciones atmosféricas a través de una turbina u otro equipo de generación de potencia por expansión. La temperatura de esta corriente expandida puede ser tan baja como -128.9 °C (-200 °F) dependiendo de la temperatura a la cual es calentado el AL gasificado. El aire frío puede ser utilizado para enfriar el aire alimentado a una turbina de gas. Alternativamente, el mismo aire frío puede ser (i) dirigido a la alimentación de una turbina de gas para

incrementar el flujo másico y potencia de la turbina y/o (ii) utilizado para mejorar el rendimiento de un CRO o ciclo de potencia Brayton.

Se conoce un método de generación de potencia basado en el documento US2004/011038 A1 el cual utiliza ciclos de bucle en cascada. En uno de los sistemas descritos se utilizan dos fluidos, vapor y propano. En un intercambiador condensador/gasificador, el vapor es condensado contra el propano. Posteriormente se condensa el propano utilizando un refrigerante externo. Documento US2015/0076831 A1 describe tres ciclos distintos. En cada uno de estos ciclos, el fluido es condensado contra otro fluido.

RESUMEN

La invención es como se define en las reivindicaciones independientes siguientes. Las características opcionales se establecen en las reivindicaciones dependientes. Las limitaciones en el arte previo se abordan de acuerdo a los principios de la presente invención al almacenar la energía excedente en forma de un fluido en un estado líquido condensado, tal como gas natural licuado (GNL) o aire líquido (AL). Según ciertas implementaciones, cuando posteriormente se requiere de potencia eléctrica adicional, el fluido es inicialmente bombeado, inicialmente calentado y gasificado e inicialmente expandido en un aparato de expansión para generar una cantidad de potencia inicial. El fluido expandido resultante es posteriormente re-condensado contra sí mismo, re-bombeado, re-calentado y re-expandido en un segundo aparato de expansión para generar una segunda cantidad de potencia. Por ejemplo, en ciertas implementaciones, ambos el fluido inicialmente bombeado y el fluido inicialmente expandido pasan a través del mismo intercambiador de calor de tal manera que el fluido bombeado inicialmente es calentado y el fluido inicialmente expandido es re-condensado contra sí mismo.

Cuando el fluido es GNL, el gas natural gaseoso producido por la segunda expansión es dirigido a una tubería de gas o un sistema consumidor de gas como una planta de generación de potencia. Cuando el fluido es AL, la segunda expansión puede bajar a presión atmosférica y el aire expandido gaseoso es liberado a la atmósfera.

Nótese que, en aplicaciones con GNL, el gas natural licuado inicial puede provenir de una fuente de almacenamiento como una terminal de importación de GNL, una terminal de exportación de GNL, de una planta GNL dedicada para el uso del sistema propuesto, o de una planta existente para el recorte de consumo eléctrico en horas pico de GNL. Para aplicaciones de AL, el aire líquido inicial puede provenir de una planta dedicada de licuefacción de aire con tecnología convencional o parte del aire líquido proveniente de una planta de separación de aire puede ser dirigido al sistema de potencia de AL.

Ciertas implementaciones de la presente invención involucran el bombeo de un fluido licuado condensado, tal como GNL o AL, a alta presión (usualmente entre 6.9 - 13.8 MPa (1000-2000 psia)), calentando y gasificando el fluido (convirtiendo el fluido de un líquido comprimido a un fluido supercrítico), expandiendo el fluido gasificado de alta presión en una turbina de expansión u otro equipo de generación de potencia basado en expansión, y posteriormente re-condensar todo o una parte del fluido expandido, contra el fluido comprimido frío bombeado, para producir un fluido de presión intermedia. La re-condensación del fluido gasificado, calentado y expandido provee de calor necesario para gasificar el fluido comprimido licuado frío bombeado, donde el intercambio de calor causa la re-condensación del fluido expandido gasificado. La gasificación del fluido líquido comprimido frío bombeado y re-condensación del fluido calentado y expandido toma lugar en un intercambiador de calor gasificador/condensador.

La presión del fluido de presión intermedia es determinada por la presión de saturación del fluido a la temperatura a la cual se enfría el fluido en la región condensadora del intercambiador de calor gasificador/condensador y esta temperatura es dependiente en la temperatura de acercamiento en el intercambiador de calor y si el 100% del fluido comprimido licuado bombeado es re-condensado o si parte del mismo es derivado (menos del 100% re-condensado) o reciclado (más del 100% del fluido comprimido licuado es re-condensado). Asumiendo que el 100% del fluido comprimido licuado es re-condensado, la presión del flujo de presión intermedia re-condensada es de aproximadamente 3.59 MPa (520 psia) para el GNL y 3.14 MPa (455 psia) para el AL, proporcionando así una alta expansión en la turbina de generación de potencia.

El calor de cambio de fase en la región gasificadora del intercambiador de calor gasificador/condensador (es decir, el calor absorbido por el fluido frío bombeado al cambiar de líquido comprimido a un fluido supercrítico) es provisto por el fluido expandido gasificado durante la transición de su forma re-condensada para formar el fluido de presión intermedia.

El fluido de presión intermedia es bombeado a presión supercrítica, sobrecalentado y posteriormente expandido a través de una turbina de expansión u otro equipo de generación de potencia basado en expansión a la presión final del sistema (presión de tubería o usuario para el GNL o cercana a presión atmosférica para el AL). Desde la primera expansión del fluido calentado y gasificado hasta la presión del fluido re-condensado de presión intermedia es una fuente de potencia novedosa.

Es de importancia notar que parte del calor absorbido durante (i) el calentamiento el fluido frío de presión intermedia o (ii) el calentamiento del fluido frío en la salida de la región condensadora del intercambiador de calor gasificador/condensador, puede ser suministrado por la re-condensación del fluido de trabajo de un ciclo de potencia Rankine o el calor de rechazo de un ciclo de Brayton u otro tipo de ciclo de generación de potencia a partir de calor para incrementar la generación de potencia del ciclo. Algunos de estos ciclos de generación de potencia a partir de calor se describen en la patente US

9,359,919. La fuente de calor para el ciclo de generación de potencia a partir de calor puede provenir de una fuente de calor independiente a la fuente de calor por el ciclo de potencia principal o de la misma fuente de calor.

Ciertas implementaciones de la invención involucran bombear y calentar un fluido de entrada de baja presión para producir un fluido sobrecalentado supercrítico, expandiendo este fluido para generar potencia, re-condensando el fluido expandido contra sí mismo para producir un fluido licuado de presión intermedia y re-bombear, re-calentar y re-expandir este fluido de presión intermedia para generar potencia adicional. Ciertas implementaciones involucran la adición de un ciclo de Rankine, Brayton u otro ciclo de generación de potencia a partir de calor rechazado del ciclo de potencia a partir de calor para proveer una parte del calor transferido al fluido de presión intermedia después del paso de rebombeo.

El método descrito en el párrafo anterior, de re-condensar un flujo contra sí mismo de tal forma que un segundo bombeo, calentado y expansión puede ser logrado, no es limitado al caso donde el fluido frío a baja presión inicial es re-condensado contra sí mismo, ni limitado al caso donde el 100% del fluido cambiado de fase es re-condensado contra sí mismo. Por ejemplo, un flujo inicial de AL a baja presión puede ser bombeado, calentado y expandido para generar potencia, pero con el calor de cambio de fase provisto por otro fluido, siendo condensado por el frío absorbido del aire líquido durante su calentamiento, para formar un condensado el cual es bombeado para generar un flujo líquido comprimido de alta presión, convertido a un fluido sobrecalentado supercrítico en un intercambiador de calor condensador/evaporador, suministrado sobrecalentamiento adicional y expandido para generar potencia y un flujo sobrecalentado subcrítico con todo o una parte del flujo expandido siendo re-condensado contra el flujo líquido comprimido de alta presión, en un ciclo cerrado o parcialmente abierto. La parte siendo re-condensada suministrará todo el calor de cambio de fase requerido para convertir el otro fluido comprimido a un fluido supercrítico.

Los sistemas de energía de distrito se están haciendo cada vez más comunes en Estados Unidos. Dichos sistemas de energía pueden suministrar calefacción, energía y agua fría, por ejemplo, para aire acondicionado. Las técnicas de la presente invención, tanto en la configuración con GNL o AL, pueden ser integrados con dicho sistema de energía.

Los conceptos de esta invención no se limitan a gas natural y aire, pero también pueden ser aplicados a otros fluidos adecuados.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las implementaciones de la invención se detallarán en la siguiente descripción, las reivindicaciones anexadas y las figuras acompañantes en donde los números iguales de referencia identifican elementos similares o iguales.

La FIG. 1 es un diagrama representando un ciclo de potencia de acuerdo a una configuración posible de la invención.

La FIG. 2 es un diagrama representando un ciclo de potencia de acuerdo a otra configuración posible de la invención.

La FIG. 3 es un diagrama representando un ciclo de potencia con aún otra configuración posible de la invención.

La FIG. 4 es un diagrama representando un ciclo de potencia con aún otra configuración posible de la invención.

La FIG. 4A es un diagrama representando un ciclo de potencia con aún otra configuración posible de la invención.

La FIG. 5 es un diagrama representando un ciclo de potencia con aún otra configuración posible de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Cómo se utilizan aquí, las formas singulares de "un" y "la" se utilizan para incluir las formas plurales también, excepto en el caso de que el contexto indique específicamente lo contrario. También será entendido que los términos "consiste", "consisten", "contiene", "conteniendo", "incluye" y/o "incluyendo", especifican la presencia de características, pasos o componentes, pero no imposibilitan la presencia o adición de una u otras características, pasos o componentes. Se debería notar que, en algunas implementaciones alternativas, las funciones/eventos mostrados pueden ocurrir fuera del orden mostrado en las figuras. Por ejemplo, dos figuras mostradas en sucesión pueden ser ejecutadas en orden subsecuente o en orden inverso, dependiendo de las funciones/eventos involucrados.

La FIG. 1 es un diagrama representando un ciclo de potencia 100 de acuerdo con una posible aplicación de la invención. El ciclo de potencia 100 puede ser aplicado a un sistema de regasificación de GNL para producir potencia de manera eficiente y simultáneamente regasificar el GNL y reducir la cantidad de agua de mar o aire ambiental de enfriamiento requerido en la regasificación de GNL. Como se describe con mayor detalle a continuación, el ciclo de potencia 100 incluye la siguiente secuencia de equipos y procesos: 102, 104, 106, 108, 110, 112/114, 116, 118, 120, 114, 122, 106, 124, 126, 128, 122 y 130.

ES 2 970 574 T3

El GNL es suministrado al sistema desde el reservorio de baja presión 102, usualmente a presión atmosférica o cercana a atmosférica, pero por algunas aplicaciones de regasificación, particularmente para plantas de GNL para el recorte de consumo eléctrico en horas pico, podría ser a presión más alta si el costo menor de producir GNL a presiones mayores de reservorio justifica la potencia de expansión menor resultante y mayor costo del reservorio de alta presión.

La bomba 104 toma succión del reservorio 102 en la conexión 1 de la bomba y bombea el GNL, convirtiendo el GNL a un líquido comprimido de alta presión, usualmente en el rango de 6.9 MPa a 17.25 MPa (1000 a 2500 psia), descargando a través de la conexión 2 de la bomba y dirigiendo el líquido comprimido de alta presión a la conexión 3 del intercambiador de calor gasificador/condensador 106, donde el GNL líquido comprimido, por medio de intercambio de calor, es convertido a un fluido gasificado sobrecalentado supercrítico y dirigido desde la conexión 4 del intercambiador de calor 106 a la conexión 3 del intercambiador de calor calentador 108.

Se añade sobrecalentamiento adicional del fluido gasificado sobrecalentado supercrítico durante el tránsito del fluido entre la conexión 3 y 4 del intercambiador de calor 108 con el calor transferido desde el fluido calentador entrando en la conexión 1 y descargando desde la conexión 2 del intercambiador de calor 108. El fluido de calentamiento en el intercambiador de calor 108, transitando desde la conexión 1 a la conexión 2, es usualmente aire ambiental; agua de calentamiento, como agua de mar, río, lago, torre de enfriamiento, etc.; o un fluido de trabajo de un ciclo Rankine u otro ciclo de generación de potencia a partir de calor, en tal caso, el frío en el fluido sobrecalentado supercrítico es utilizado para enfriar o enfriar y recondensar el fluido de trabajo mientras calienta el fluido sobrecalentado supercrítico. Típicamente, el fluido sobrecalentado supercrítico abandona el intercambiador de calor 108 a través de la conexión 4 con una temperatura de aproximadamente 10 °C (50 °F) a 37.8 °C (100 °F) y dirigido al divisor de flujo 110.

Una parte del flujo entrante al divisor de flujo 110 es dirigido desde la conexión 3 del intercambiador de calor de turbina de gas de baja temperatura 112, y la parte restante es dirigida a la conexión 3 del intercambiador de calor de un recuperador de alta temperatura 114. La parte entrante al intercambiador de calor 112 desde la conexión 3 es sobrecalentado más por una corriente de escape proveniente de una turbina de gas de baja temperatura fluyendo desde la conexión 1 a la conexión 2 del intercambiador de calor 112, abandona el intercambiador de calor 112 en la conexión 4 y entra al mezclador de flujo 116 en la conexión 1.

La parte de la conexión 2 del divisor de flujo 110 viaja desde la conexión 3 hasta la conexión 4 del intercambiador de calor 114 y es aplicado en la conexión 2 del mezclador de flujo 116.

El mezclador de flujo 116 mezcla la parte del flujo dividido de la conexión 4 del intercambiador de calor 112 con la parte del flujo dividido desviado al intercambiador de calor del recuperador 114. El flujo combinado abandona el mezclador 116 en la conexión 3, es dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor de turbina de gas de alta temperatura 118, donde se le aplica sobrecalentamiento adicional al flujo por medio de transferencia de calor proveniente del escape de la turbina de gas de alta temperatura entrante de la conexión 1 del intercambiador de calor 118 y abandona el intercambiador de calor 118 en la conexión 4. El calor en el intercambiador de calor de turbina de gas de alta temperatura 118 es provisto por el escape de la turbina de gas de alta temperatura, el cual entra al intercambiador de calor 118 desde la conexión 1, se enfría por transferencia de calor del fluido siendo sobrecalentado y abandona el intercambiador de calor 118 en la conexión 2 mientras el flujo de escape de baja temperatura de la turbina de gas es dirigido a la conexión 1 del intercambiador de calor de escape de turbina de gas de baja temperatura 112. El flujo de escape de baja temperatura de la turbina de gas abandona el sistema hacia la atmósfera en la conexión 2 del intercambiador de calor 112.

El flujo sobrecalentado que abandona el intercambiador de calor 118 a través de la conexión 4 es dirigido a la conexión 1 de entrada de la turbina de expansión 120 y produce potencia y un flujo sobrecalentado expandido subcrítico durante su tránsito en la turbina de expansión 120 para su salida en la conexión 2, donde el flujo es dirigido a la conexión 1 del intercambiador de calor del recuperador 114 mencionado anteriormente. Típicamente, la turbina de expansión 120 alimentará un generador para producir potencia eléctrica.

El flujo expandido sobrecalentado subcrítico abandona el intercambiador de calor 114 a través de la conexión 2 aún como un fluido sobrecalentado subcrítico pero a menor temperatura que la de entrada en la conexión 1 debido a la transferencia de calor del fluido mencionado anteriormente transitando desde la conexión 3 hasta la conexión 4 del intercambiador de calor 114, donde se continúa sobrecalentando por el flujo expandido proveniente de la conexión 2 de la turbina de expansión 120 fluyendo de la conexión 1 a la conexión 2 del intercambiador de calor 114. En un modo de operación preferido, la temperatura del fluido de entrada al mezclador de flujo 116 en conexión 2 de la conexión 4 del intercambiador de calor 114 es igual a la temperatura del fluido de entrada al mezclador de flujo 116 en conexión 1 de la conexión 4 del intercambiador de calor 112.

El fluido de la conexión 2 del intercambiador de calor 114 (i) entra al intercambiador de calor del recuperador de baja temperatura 122 en la conexión 1, (ii) se enfría por transferencia de calor del fluido sobrecalentado subcrítico transitando por el intercambiador 122 de la conexión 3 a la conexión 4, y (iii) abandona a través de la conexión 2 del intercambiador de calor 122 aún como un fluido sobrecalentado subcrítico, pero a menor temperatura que la de entrada en la conexión 1.

- 5 El fluido de la conexión 2 del intercambiador de calor 122 entra a la conexión 1 del intercambiador de calor gasificador/condensador 106, donde el fluido sobrecalentado subcrítico es re-condensado a GNL de presión intermedia, la presión (usualmente de 3.59 MPa (520 psia)) siendo definida por la presión de saturación del fluido a la temperatura a la cual se enfría el fluido en el intercambiador de calor 106 a través del intercambio de calor con el líquido comprimido de alta presión mencionado anteriormente transitando a través del intercambiador 106 desde la conexión 3 a la conexión 4. El GNL re-condensado de presión intermedia es dirigido desde la conexión 2 del intercambiador de calor 106 a la conexión 1 de acumulador 124.
- 10 El GNL de presión intermedia abandona el acumulador 124 en la conexión 2, es dirigido a la conexión de succión 1 de la bomba 126 y abandona la bomba 126 en la conexión de descarga 2 como un fluido comprimido supercrítico a una presión más alta que la presión de la tubería de GN receptora o la presión del sistema de NG de usuario (usualmente a una presión de 3.45 a 10.35 MPa (500 a 1500 psi) más alta que la presión de la tubería NG receptora o la presión del sistema NG de usuario).
- 15 El fluido comprimido supercrítico que abandona la bomba 126 en la conexión 2 es dirigido al intercambiador de calor calentador 128 en la conexión 3 y, por medio de intercambio de calor, el fluido gana sobrecalentamiento, abandonando el intercambiador de calor 128 en la conexión 4. El fluido calentador en el intercambiador de calor 128, transitando de la conexión 1 a la conexión 2, es usualmente aire ambiental; agua calentadora tal como agua de mar, río, lago, torre de enfriamiento, etc.; o un fluido de trabajo de un ciclo Rankine u otro ciclo de generación de potencia a partir de calor en cuyo caso el frío en el fluido supercrítico es utilizado para enfriar o enfriar y re-condensar el fluido de trabajo mientras caliente el fluido supercrítico GN.
- 20 El fluido sobrecalentado supercrítico que abandona el intercambiador de calor 128 a través de la conexión 4 es dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor del recuperador de baja temperatura 122 donde se añade sobrecalentamiento adicional al fluido sobrecalentado supercrítico a través de un intercambio de calor con el flujo mencionado anteriormente transitando a través del intercambiador de calor 122 de la conexión 1 a la conexión 2 y abandona la conexión 4 del intercambiador de calor 122 como un fluido supercrítico adicionalmente sobrecalentado.
- 25 El fluido supercrítico adicionalmente sobrecalentado que abandona la conexión 4 del intercambiador de calor 122 es dirigido a la conexión de entrada 1 de la turbina de expansión 130, donde produce potencia y un fluido expandido a presión supercrítica o subcrítica sobrecalentado de GN a una presión igual o cercana a la presión de la tubería receptora o sistema utilizador de gas, mientras el fluido viaja a través de la turbina de expansión 130 para salir a través de la conexión 2 donde el flujo es dirigido a la tubería de gas natural o a la conexión de entrada de un sistema utilizador de gas.
- 30 Mientras que la FIG. 1 indica escape de turbina de gas (ESC TG) como el fluido de calentamiento entrante al intercambiador de calor 118 en la conexión 1, otros fluidos apropiados de alta temperatura en el rango aproximado de 204.4 °C (400 °F) a 1093.3 °C (2000 °F) pueden ser utilizados. Para temperaturas menores de aproximadamente 498.9 °C (930 °F), existe poco beneficio de dividir el flujo de salida del intercambiador de calor 108. En cambio, todo el flujo puede ser dirigido al intercambiador 114, y el intercambiador 112 puede ser eliminado.
- 35 Si el intercambiador de calor 128 es utilizado como disipador de calor para el fluido de trabajo de un CRO u otro ciclo de calor, entonces la temperatura del fluido sobrecalentado supercrítico que abandona el intercambiador de calor 128 a través de la conexión 4 puede ser suficientemente baja para ser utilizado, en un intercambiador de calor adicional, ya sea directamente o a través de un fluido de intercambio de calor intermedio, tal como metanol, para enfriamiento de la entrada de una turbina de gas u otros usos de enfriamiento, incluyendo ser utilizado como disipador de calor para un ciclo adicional de generación de potencia a través de calor.
- 40 Si un CRO u otro ciclo de calor es integrado al sistema de la FIG. 1, entonces el suministro de calor al CRO u otro ciclo de calor puede ser suministrado por una turbina de gas o motor de gas, o el flujo de escape de la turbina de gas o motor de gas suministrando el calor al intercambiador de calor 118 puede ser dividido entre el ciclo CRO y el intercambiador de calor 118.
- 45 Si un CRO u otro ciclo de calor es integrado al sistema de la FIG. 1, entonces el suministro de calor al CRO u otro ciclo de calor puede ser suministrado por una turbina de gas o motor de gas, o el flujo de escape de la turbina de gas o motor de gas suministrando el calor al intercambiador de calor 118 puede ser dividido entre el ciclo CRO y el intercambiador de calor 118.
- 50 Alguien familiarizado con el arte de ciclos de potencia a través de calor identificará que hay sitios donde el ciclo de potencia 100 de la FIG. 1 donde fuentes de calor adicionales pueden ser utilizados para incrementar la generación de potencia del ciclo. Por ejemplo, se puede añadir calor entre la conexión 4 del intercambiador 122 y la conexión 1 de la turbina de expansión 130 y/o entre la conexión 2 del divisor 110 y la conexión 3 del intercambiador 114, y/o entre la conexión 4 del intercambiador 108 y la conexión 1 del divisor 110. Por ejemplo, este calor puede ser suministrado por el escape de turbinas de gas de ciclo simple impulsando el proceso de GNL a la terminal de exportación. Alternativamente, si el escape de una turbina de gas con interenfriador es utilizada como fuente de calor para el intercambiador de calor 118, entonces el calor del interenfriador puede ser una segunda fuente de calor, o un motor de gas puede ser la fuente primaria de calor para el intercambiador 118 con agua de chaqueta y calor del postenfriador del turbocargador como fuente de calor secundaria. Alternativamente, la fuente de calor secundaria puede provenir de un fluido de transferencia de calor caliente calentado eléctricamente en horas valle utilizando calentamiento por resistencia para calentar el fluido de transferencia de calor.
- 55
- 60
- 65

ES 2 970 574 T3

Para aplicaciones de alta presión de tubería de gas (mayor a aproximadamente 5.87 MPa (850 psia)) y/o alta temperatura de entrada de la conexión 1 del intercambiador de calor 118 (aproximadamente arriba de 510 °C (950 °F)), puede ser benéfico añadir un intercambiador de calor de recuperador después de la conexión 2 de la turbina de expansión 130 y mover el calor recuperado a otra parte del ciclo como se describe anteriormente.

Para aplicaciones con GNL con presión de tubería inusualmente baja, podría ser benéfico realizar la expansión en la turbina de expansión 130 un proceso de dos etapas con recalentamiento entre las dos etapas.

Un quemador de conducto puede ser añadido entre la conexión de escape de la turbina de gas y la conexión 1 del intercambiador de calor 118.

El ciclo de potencia 100 de la FIG. 1 puede ser utilizado con aire líquido como líquido de baja presión en reservorio 102, con el escape de la turbina de gas 130 dirigido a la atmósfera. En este caso, la turbina de expansión 130 puede ser reemplazada con dos turbinas de expansión en serie con recalentado entre la salida de la primera turbina y la entrada de la segunda turbina.

Adicionalmente a la producción de energía eficiente al regasificar GNL en una terminal de importación, existen otros lugares donde el sistema de generación de potencia a partir de GNL de la FIG. 1 puede ser utilizado. Uno de estos casos es en terminales de exportación de GNL, donde parte del GNL producido puede ser utilizado para producir electricidad en horas pico si las tarifas fueran tales que hicieran sentido económico para utilizar parte del GNL para la generación de potencia en lugar de su exportación. Otra es para ubicaciones donde exista escasez de electricidad durante horas pico y una escasez de gas, donde, por ejemplo, debido a restricciones en construcción de tuberías, dichas ubicaciones están muy cercanas a no tener suficiente capacidad de tuberías en horas pico de demanda. En este caso, el sistema de producción de potencia a partir de GNL de la FIG. 1 puede ser utilizado tanto para el almacenamiento de potencia eléctrica y gas, regresando el gas al sistema de tuberías y electricidad a la red. Hay más de 50 plantas existentes de recorte de consumo en horas pico de GNL en EEUU, de las cuales muchas operan por pocos cientos de horas al año. Con la adición del sistema de generación de potencia a partir de GNL de la FIG. 1, estas plantas pueden producir ingresos durante 1000 horas al año o más.

La FIG. 2 es un diagrama representando un ciclo de potencia 200 de acuerdo a otra posible representación de la invención. El ciclo de potencia 200 puede ser aplicado a un sistema de generación de potencia de aire licuado. El AL es suministrado desde el reservorio de baja presión 202, usualmente a presión atmosférica o cercana a atmosférica, pero puede ser a presión más alta si el costo reducido de producir AL a mayor presión en el reservorio justifica la reducción de la potencia de expansión resultante.

Como se describe a continuación, el ciclo de potencia 200 incluye la siguiente secuencia de equipos y operaciones: 202, 204, 206, 208, 210, 212, 214, 206, 216, 218, 220, 214, 222, 224, 226, y tanto (i) 228,230 como (ii) 232, 234, 236, 238, 222, 210.

La conexión 1 de la bomba 204 toma succión del reservorio 202 y bombea el AL convirtiendo el AL a un líquido comprimido de alta presión, usualmente en el rango de 6.895 a 17.24 MPa (1000 a 2500 psia), descargando de la conexión 2 de la bomba donde es dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor gasificador/condensador 206, que convierte el AL comprimido, por medio de intercambio de calor, a un fluido gasificado sobrecalentado supercrítico saliente de la conexión 4 del intercambiador de calor gasificador/condensador 206 y dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor calentador 208.

Sobrecalentamiento adicional es añadido al aire sobrecalentado supercrítico durante el tránsito del flujo por el intercambiador de calor 208 desde la conexión 3 a la conexión 4 conforme el calor es transferido al fluido de calentamiento entrando a la conexión 1 y descargando a través de la conexión 2 del intercambiador de calor 208. El fluido de calentamiento en el intercambiador de calor 208, transitando de la conexión 1 a la conexión 2, es usualmente aire ambiental; agua de calentamiento como agua de mar, río, lago, torre de enfriamiento, etc.; o un fluido de trabajo de un ciclo Rankine u otro ciclo de generación de potencia a partir de calor, en cuyo caso el frío en el fluido gasificado sobrecalentado supercrítico es utilizado para enfriar o enfriar y condensar el fluido de trabajo conforme el fluido de trabajo calienta el aire sobrecalentado supercrítico. Típicamente, el aire sobrecalentado supercrítico abandona el intercambiador de calor 208 en la conexión 4 a alrededor de 10 °C (50°F) a 37.8 °C (100 °F).

El aire sobrecalentado supercrítico posterior a su salida de la conexión 4 del intercambiador de calor 208 es dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor quemador de conducto de baja temperatura 210 y, por medio de transferencia de calor de los productos de combustión del quemador de conducto de baja temperatura en tránsito del intercambiador 210 de la conexión 1 a la conexión 2, es suministrado calor adicional y abandona en la conexión 4 del intercambiador de calor 210 como aire sobrecalentado supercrítico a temperaturas más altas que las de entrada en la conexión 3. Los productos de baja temperatura del quemador de conducto, después de transferir calor al flujo de aire sobrecalentado supercrítico, abandonan el sistema en la conexión 2 del intercambiador de calor 210 a presión atmosférica.

La corriente de aire sobrecalentada supercrítica que abandona el intercambiador 210 a través de la conexión 4 es dirigido a la conexión de entrada 1 de la turbina de expansión 212, produciendo potencia y una corriente de aire expandida

- sobrecalentada a presión subcrítica que transita la turbina de expansión 212 para salir por la conexión 2, donde la corriente de aire expandida sobrecalentada a presión subcrítica es dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor de recuperador 214. Típicamente, la turbina de expansión 212 movería un generador eléctrico para producir potencia eléctrica.
- 5 La corriente de aire expandida sobrecalentada a presión subcrítica abandona el intercambiador de calor 214 a través de la conexión 2 aún como aire sobrecalentado a presión subcrítica, pero a menor temperatura que la de entrada en la conexión 1 debido a la transferencia de calor al corriente de fluido transitando intercambiador 214 desde la conexión 3 a la conexión 4.
- 10 La corriente de aire sobrecalentada a presión subcrítica que abandona el intercambiador de calor 214 a través de la conexión 2 es dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor gasificador/condensador 206, donde el aire sobrecalentado a presión subcrítica es re-condensado a una corriente de aire líquido de presión intermedia, la presión (usualmente de aproximadamente 3.17 MPa (460 psia)) siendo definida por la presión de saturación del aire a la temperatura a la cual el aire es enfriado en el intercambiador de calor 206 al intercambiar calor con la corriente de aire comprimido de alta presión mencionada anteriormente transitando a través de intercambiador 206 desde la conexión 3 hasta la conexión 4, el intercambio de calor convirtiendo la corriente de aire comprimido de alta presión a la corriente de aire gasificado sobrecalentando supercrítico mencionado anteriormente.
- 15 El aire líquido re-condensado de presión intermedia es dirigido de la conexión 2 del intercambiador de calor gasificador/condensador 206 a la conexión 1 del acumulador 216. El aire líquido de presión intermedia abandona el acumulador 216 a través de la conexión 2, es dirigido a la conexión de succión 1 de la bomba 218, y abandona la bomba 218 en la conexión de descarga 2 como un fluido supercrítico, el cual es dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor gasificador/condensador 220.
- 20 Por medio de transferencia de calor de un flujo mayormente de metano (e.g., mayor del 85% molar) sobrecalentado de presión subcrítica que abandona el intercambiador de calor de recuperador 252 a través de la conexión 2 de un ciclo de bucle de potencia Rankine 250 mayormente basado en metano y transitando de la conexión 1 hasta la conexión 2 del intercambiador de calor gasificador/condensador 220, el fluido supercrítico de la bomba 218 es convertido en una corriente de aire sobrecalentada supercrítica y dirigido desde la conexión 4 del intercambiador de calor condensador/evaporador 220 a la conexión 3 del intercambiador de calor de recuperador 214 mencionado anteriormente. El ciclo de bucle Rankine 250 incluye la siguiente secuencia de equipos y etapas: 254, 256, 258, 252, 236, 260, 262, 252, 220 y de regreso a 254.
- 25 Por medio de transferencia de calor del flujo expandido sobrecalentado de presión subcrítica transitando por el intercambiador 214 desde la conexión 1 hasta la conexión 2, la corriente de aire sobrecalentada supercrítica del intercambiador 220 es sobrecalentado más, abandonando el intercambiador 214 como una corriente de aire sobrecalentada supercrítica en la conexión 4 y dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor del quemador de conducto de alta temperatura 222.
- 30 Por medio de transferencia de calor de la corriente de productos de combustión de alta temperatura del quemador de conducto transitando desde la conexión 1 a la conexión 2 del intercambiador de calor 222, la corriente de aire sobrecalentada supercrítica del intercambiador de calor 214 es sobrecalentado más, abandonando el intercambiador 222 a través de la conexión 4, aún como una corriente de aire sobrecalentada supercrítica, pero a mayor temperatura que la de entrada en la conexión 3 del intercambiador de calor 222. La corriente de productos de combustión de alta temperatura del quemador de conducto abandona el intercambiador de calor 222 como la corriente de productos de combustión de baja temperatura del quemador de conducto en la conexión 2 y dirigido a la conexión 1 del intercambiador de calor del quemador de conducto de baja temperatura 210 mencionado anteriormente.
- 35 La corriente de aire sobrecalentada supercrítica que abandona el intercambiador de calor quemador de conducto de alta temperatura 222 es dirigida a la turbina de expansión 224, produciendo potencia y una corriente de aire expandida sobrecalentada conforme la corriente transita de la conexión 1 a la conexión 2 de la turbina de expansión 224, saliendo por la conexión 2 a una presión típicamente en el rango de 2.76 MPa hasta 0.690 MPa (400 psia a 100 psia) pero podría ser mayor, incluso arriba de presión supercrítica, y dirigido a la conexión 1 del divisor de flujo 226.
- 40 El divisor de flujo 226 divide el flujo de la turbina de expansión 224 en dos corrientes de aire sobrecalentadas, con una de las corrientes divididas saliendo por la conexión 2 del divisor de flujo 226 y dirigido, por medio de la válvula 228, a la conexión de entrada 1 de la turbina de expansión 230 y la otra corriente dividida abandonando el divisor de flujo 226 a través de la conexión 3 y dirigida a la conexión 1 de la cámara de combustión 232 de la turbina de combustión.
- 45 En la cámara de combustión 232 de la turbina de combustión, se añade combustible a la corriente sobrecalentada expandida y quemada, produciendo una corriente caliente de gases de combustión (típicamente en el rango de 871.1 °C (1600 °F) hasta 1315.6 °C (2400 °F)), la cual abandona la turbina de expansión 232 a través de la conexión 2 y es dirigida a la conexión 1 de la turbina de expansión 234 de la turbina de combustión, en donde la corriente caliente de gases de combustión es expandida para producir potencia y una corriente de menor temperatura de gases de combustión, típicamente en un rango de temperatura de 371.1 °C (700 °F) a 593.3 °C (1100 °F), y a una presión ligeramente mayor a
- 50
- 55
- 60
- 65

la atmosférica, abandonando la turbina de combustión 234 a través de la conexión 2 y dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor mayormente de metano 236.

5 En el intercambiador de calor 236, por medio de transferencia de calor, la corriente de gases de combustión de la turbina de combustión 234 con temperatura reducida es enfriada en su tránsito desde la conexión 1 hasta la conexión 2 del intercambiador de calor 236 y sale por la conexión 2 como una corriente enfriada de gases de combustión, mientras una corriente mayormente de metano adicionalmente sobrecalentada supercrítica entrando por la conexión 3 del intercambiador 236 es calentada, por la transferencia de calor de la corriente de gases de combustión de temperatura reducida, conforme transita entre la conexión 3 hasta la conexión 4, abandonando el intercambiador de calor 236 como
10 una corriente de alta temperatura mayormente de metano sobrecalentada supercrítica.

15 La corriente de gases de combustión enfriada abandona la conexión 2 del intercambiador 236 y es dirigida a la conexión 1 del quemador de conducto 238 donde se añade combustible y se realiza una combustión adicional, recalentando la corriente de gases de combustión enfriada formando la corriente de productos de combustión de alta temperatura del quemador de conducto el cual abandona el quemador de conducto 238 a través de la conexión 2 y es dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor del quemador de conducto de alta temperatura 222 mencionado anteriormente.

20 La corriente mayormente de metano sobrecalentada de presión subcrítica, mencionada anteriormente, transitando de la conexión 1 hasta la conexión 2 del intercambiador de calor gasificador/condensador 220, es enfriada por transferencia de calor proveniente de la corriente de aire supercrítica mencionado anteriormente transitando de la conexión 3 a la conexión 4 del intercambiador de calor 220, saliendo de la conexión 2 del intercambiador de calor 220 como líquido mayormente metano (GNL) a la presión de saturación asociada con la temperatura de salida como una corriente mayormente de metano calienta el aire supercrítica el cual, como se menciona anteriormente, abandona el intercambiador de calor 220 a través de la conexión 4 como una corriente de aire sobrecalentada supercrítica. El líquido mayormente metano (GNL) saliente de la conexión 2 del intercambiador de calor 220 es dirigido a la conexión 1 del acumulador de GNL 254.
25

30 El GNL abandona el acumulador 254 a través de la conexión 2, es dirigido a la conexión 1 de la bomba 256, y abandona la bomba 256 a través de la conexión 2 como una corriente mayormente de metano supercrítica dirigida a la conexión 3 del intercambiador de calor gasificador 258.

35 Por medio de transferencia de calor del fluido de calentamiento transitando a través del intercambiador de calor 258 desde la conexión 1 hasta la conexión 2, el fluido mayormente de metano supercrítico de la bomba 256 es sobrecalentado. El fluido de calentamiento en el intercambiador 258, transitando desde la conexión 1 hasta la conexión 2, es usualmente aire ambiental; agua de calentamiento tal como agua de mar, río, lago, torre de enfriamiento, etc.; o un fluido de trabajo de un ciclo Rankine u otro ciclo de generación de potencia a partir de calor, en cuyo caso, el frío en la corriente de metano supercrítica es utilizado para enfriar o enfriar y re-condensar el fluido de trabajo conforme sobrecalienta la corriente mayormente de metano supercrítica.

40 El fluido mayormente de metano sobrecalentado supercrítico abandona la conexión 4 del intercambiador de calor 258 y es dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor del recuperador 252, donde, por medio de transferencia de calor de la corriente mayormente de metano sobrecalentada supercrítica transitando desde la conexión 1 hasta la conexión 2 del intercambiador de calor 252, la corriente mayormente de metano gasificada sobrecalentada supercrítica es adicionalmente sobrecalentado para formar la corriente mayormente de metano adicionalmente sobrecalentada supercrítica mencionada anteriormente abandonando el intercambiador de calor 252 a través de la conexión 4 y dirigida a la conexión 3 del intercambiador de calor 236 mencionado anteriormente.
45

50 La corriente mayormente de metano sobrecalentada supercrítica abandona el intercambiador de calor 236 a través de la conexión 4 como una corriente mayormente de metano sobrecalentada supercrítica de alta temperatura y es dirigida a la conexión 1 del mezclador 260 y posteriormente de la conexión 3 del mezclador 260 a la conexión 1 de la turbina de expansión 262, donde la corriente es expandida, produciendo potencia y una corriente mayormente de metano sobrecalentada subcrítica saliendo de la conexión 2, dirigido a la conexión 1 del intercambiador de calor del recuperador 252 mencionado anteriormente, suministrando calor conforme la corriente transita de la conexión de salida 2 del intercambiador de calor 252, y posteriormente dirigido a la conexión 1 del intercambiador de calor condensador/evaporador 220 mencionado anteriormente, completando el ciclo de potencia en bucle Rankine mayormente de metano.
55

60 Nótese que el fluido mayormente de metano para llenar e iniciar el ciclo Rankine de potencia es obtenido de una fuente de GN a alta presión (usualmente de una tubería de GN) y entre en el ciclo de bucle Rankine 250 a través del inicio, llenado y apagado de la válvula de despresurización 264. Como es necesario tratar el gas natural en un sistema de tratamiento (no mostrado) para remover CO_2 y otros componentes que podrían congelar o oxidar el intercambiador criogénico previo a la licuefacción, podría ser económico diseñar el acumulador 254 como un tanque de almacenamiento para que, para el siguiente pase por el ciclo de potencia en bucle Rankine de energía 250, no sería necesario recibir gas natural nuevo al sistema excepto para compensar por cualquier fuga. Alternativamente, el tanque de almacenamiento/acumulador 254 puede ser llenado con GNL de otra fuente y eliminar la conexión a una fuente de gas
65 natural de alta presión y la necesidad de un sistema de tratamiento.

El fluido de trabajo de un ciclo de potencia en bucle Rankine 250 no se limita a metano.

La corriente dividida saliente del divisor de corriente 226 en la conexión 2 y dirigida por la válvula 228 a la turbina de expansión 230, es expandida en la turbina de expansión 230, produciendo potencia y una corriente de aire de baja temperatura saliente de la turbina de expansión 230 en la conexión 2 a baja presión, usualmente a presión atmosférica, y a una temperatura típicamente en el rango de 37.8 °C (100 °F) a 148.9 °C (300 °F) dependiendo de la presión y temperatura de entrada de la turbina. La turbina de expansión 230 no siempre se utiliza, en cuyo caso, todo el flujo del divisor de corriente 226 sería dirigido hacia la turbina de combustión 234 con flujo dirigido a la turbina de expansión 230 solo cuando la economía de operación lo dicte ya que la tasa de consumo de combustible y el flujo másico de aire líquido por unidad de potencia generada incrementa conforme al flujo a la turbina de expansión 230 aumenta.

Nótese que, en la implementación de FIG. 2, la turbina de combustión 234 no incluye un compresor de aire. Sin embargo, una turbina de gas convencional puede ser utilizada, en cuyo caso, el flujo de aire del compresor de turbina de gas podría ser mostrado esquemáticamente entre la conexión 3 del divisor de flujo 226 y la conexión 1 de la cámara de combustión 232. Utilizar una turbina de gas convencional significa que la mayoría de la corriente de aire entrando en la conexión 1 del divisor 226 saldría por la conexión 2 de la turbina de expansión 230, con el flujo de la turbina de gas convencional siendo definido por el límite de aceptación del fabricante de aire caliente comprimido en la cámara de combustión 232.

También debería de notarse que, para la configuración de la turbina de gas sin compresor de la FIG. 2, el flujo dividido a la turbina de expansión 230 podría ser alternativamente entre la conexión 4 del intercambiador 222 y la conexión 1 de la turbina de expansión 224.

Aquellos familiarizados con la tecnología podrán reconocer que el frío en las corrientes de fluido comprimido saliente de la conexión 2 de la bomba 256 y/o de la conexión 4 del intercambiador de calor 206 puede ser utilizado para absorber, en uno o dos intercambiadores de calor, el calor rechazado del fluido de trabajo de uno o más ciclos de Rankine u otros tipos de ciclos de generación de potencia a partir de calor, en lugar de rechazar todo este frío a los intercambiadores 208 y 258. Todo o una parte de este frío podría también ser utilizado para el enfriamiento de la entrada de una turbina de gas. Alternativamente, si el frío es utilizado para absorber el calor rechazado de un ciclo de generación de potencia a partir de calor, entonces puede haber suficiente frío después de este uso para proveer enfriamiento de entrada de turbina de gas.

También debería notarse que la implementación de la FIG. 2 es una de varias maneras de producir potencia de una corriente de aire supercrítica de alta presión saliente de la conexión 4 del intercambiador de calor 220. Por ejemplo, cualquiera de los métodos conocidos para extraer potencia de aire comprimido en un sistema de energía de aire comprimido (SEAC) puede ser aplicado para extraer potencia de esta corriente. Adicionalmente, existen varios métodos conocidos, más allá de la implementación de la FIG. 2, que pueden ser utilizados para calentar, expandir para producir potencia y recuperar calor de esta expansión, del flujo supercrítico saliente de la conexión 4 del intercambiador de calor 206. Del mismo modo, la implementación de la FIG. 1 revela una de varias maneras de calentar y producir potencia de las dos corrientes líquidas de aire comprimido de alta presión mostradas en FIG. 1.

FIG.3 es un diagrama representando un ciclo de potencia 300 de acuerdo a otra posible implementación de la invención. El ciclo de potencia 300 es aplicado en un sistema de generación de potencia a partir de aire licuado utilizando un motor reciprocante diesel, gas o de doble combustible como la fuente primaria de calor del ciclo. En particular, un motor turbocargado (no mostrado) podría ser utilizado en el cual el turbocargador no es utilizado, pero en su lugar el escape caliente del colector de escape del motor es dirigido al ciclo de potencia 300, y se regresa el aire presurizado al colector de aire de entrada del motor del ciclo de potencia 300 a la misma presión y temperatura conforme el motor pudiera haber recibido de su turbocargador después del enfriamiento en el postenfriador del turbocargador. En algunas implementaciones, tanto el escape como las entradas de aire del turbocargador y el postenfriador del turbocargador son desviados utilizando un sistema de válvulas de derivación, mientras, en otras implementaciones, el turbocargador y postenfriador son removidos del motor. Remover el turbocargador y el postenfriador del motor pueden proveer de una o más de las siguientes ventajas:

- Ahorra el costo del turbocargador y postenfriador;
- Provee el ciclo de potencia 300 con gas de escape entre 121.1 °C (250 °F) y 176.7 °C (350 °F) mayor que si se utilizara el escape del turbocargador. Esta temperatura mayor incrementa la potencia y eficiencia del ciclo de potencia 300; y
- Logra una pequeña ganancia en potencia del motor al reducir la contrapresión del escape del motor. Nótese que parte de la contrapresión es mantenida en el motor para mantener la velocidad de los gases salientes de las válvulas de escape del motor por debajo velocidades supersónicas.

Sin embargo, removerlos del motor limita el uso del motor para utilizar en este ciclo de generación de potencia.

La representación de la FIG. 3 incluye un ciclo CRO 350 utilizando una parte del frío residual del ciclo de potencia AL 300 para generar potencia adicional. Como se describe en mayor detalle a continuación, el ciclo de potencia AL 300 incluye la siguiente secuencia de equipos y operaciones: 302, 304, 306, 308, 310, 312, 306, 314, 316, 318, 320, 322, 324, 326,

ES 2 970 574 T3

328 y 310/330. El ciclo CRO 350 incluye la siguiente secuencia de equipos y operaciones: 352, 354, 356, 358, 360, 362, 358, 318 y de regreso a 352.

5 Se suministra aire líquido al ciclo de potencia 300 al reservorio de baja presión 302 usualmente a presión atmosférica o cercana a atmosférica, donde el AL es dirigido a la conexión 1 de succión de la bomba 304 y abandona la bomba 304 a través de la conexión 2 como un líquido comprimido, a una presión usualmente en el rango de 6.895 MPa a 17.24 MPa (1000 a 2500 psia).

10 El AL comprimido es dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor gasificador/condensador 306, donde, por medio de intercambio de calor entre el aire sobrecalentado a presión subcrítica fluyendo por el intercambiador 306 desde la conexión 1 hasta la conexión 2, el AL comprimido es convertido a un flujo de aire líquido sobrecalentado supercrítico saliente del intercambiador de calor gasificador/condensador 306 a través de la conexión 4 y dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor calentador 308.

15 Por medio de intercambio de calor con el fluido de calentamiento fluyendo de la conexión 1 a la conexión 2 del intercambiador de calor calentador 308, la corriente de aire líquido sobrecalentada supercrítica gana sobrecalentamiento adicional y abandona el intercambiador de calor calentador 308 a través de la conexión 4. El fluido de calentamiento puede ser aire ambiental; agua de mar, río, lago, torre de enfriamiento, agua de retorno de un sistema de energía distrital de agua de enfriamiento, etc.; o el fluido de trabajo de un ciclo Rankine condensando conforme fluye de la conexión 1 a la conexión 2. Alternativamente, el fluido frío de calentamiento saliente de la conexión 2 puede ser utilizado para enfriamiento en un sistema HVAC o bodega refrigerada, como ejemplos.

20 El aire supercrítico adicionalmente sobrecalentado saliente de la conexión 4 del intercambiador de calor calentador 308 es dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor del recuperador 310, donde, por medio de intercambio de calor, se añade sobrecalentamiento adicional al aire supercrítico previamente sobrecalentado, mientras el fluido más caliente transitando del intercambiador de calor del recuperador 310 desde la conexión 1 hasta la conexión 2 se enfría.

25 El aire sobrecalentado supercrítico saliente del intercambiador de calor del recuperador 310 en la conexión 4 es dirigido a la conexión de entrada 1 de la turbina de expansión 312 donde la corriente es expandida, produciendo potencia y una corriente de aire sobrecalentada a presión subcrítica saliente de la conexión 2 y dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor gasificador/condensador 306.

30 Por medio de intercambio de calor entre la corriente de aire líquido comprimido siendo convertido a un fluido sobrecalentado supercrítico conforme fluye a través del intercambiador de calor 306 desde la conexión 3 hasta la conexión 4 (como se describe anteriormente), la corriente de aire sobrecalentada a presión subcrítica es enfriada y re-condensada para formar una corriente de aire líquido de presión intermedia a aproximadamente 3.14 MPa (455 psia) de presión y una temperatura de aproximadamente -145.6 °C (-230 °F) conforme fluye desde la conexión 1 hasta la conexión 2, saliendo a través de la conexión 2 del intercambiador de calor condensador/evaporador 306 y dirigido a la conexión 1 del acumulador 314.

35 El aire líquido comprimido de presión intermedia abandona el acumulador 314 a través de la conexión 2 y es dirigido a la conexión 1 de la bomba 316, donde, por medio de la acción de bombeo, la presión del aire líquido comprimido de presión intermedia es incrementada, abandonando la bomba 316 a través de la conexión 2 como aire supercrítico a una presión típicamente en el rango de 6.895 MPa a 17.24 MPa (1000 psia a 2500 psia), pero no limitado a este rango, y es dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor condensador 318.

40 En el intercambiador de calor 318, el intercambio de calor entre el fluido de trabajo del CRO (preferentemente metano) transitando de la conexión 1 a la conexión 2 y el aire supercrítico fluyendo desde la conexión 3 hasta la conexión 4 del intercambiador de calor 318, enfría y condensa el fluido de trabajo mientras calienta el aire supercrítico de presión intermedia para producir una corriente de aire sobrecalentada supercrítica dirigida a la conexión 3 del intercambiador de calor 320 de sistema de enfriamiento de baja temperatura de motor, donde, por medio de intercambio de calor entre el fluido de baja temperatura del sistema de enfriamiento de motor (utilizado para enfriar el motor turbocargado mencionado anteriormente) y la corriente de aire sobrecalentada supercrítica, la temperatura del aire sobrecalentado supercrítico es aumentada, mientras la temperatura del fluido de baja temperatura de enfriamiento de motor es disminuida.

45 El fluido de baja temperatura de enfriamiento con temperatura reducida del motor abandona el intercambiador de calor 320 a través de la conexión 2 y es dirigido de regreso al motor, mientras que la corriente de aire sobrecalentada supercrítica de temperatura incrementada abandona el intercambiador de calor 320 a través de la conexión 4 y es dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor de alta temperatura 322 del sistema de enfriamiento de motor, donde se añade sobrecalentamiento adicional a la corriente de aire sobrecalentada supercrítica de la misma forma que en el intercambiador de calor 320.

50 La corriente de aire sobrecalentada supercrítica abandona el intercambiador de calor 322 a través de la conexión 4, a una temperatura dentro de -6.7 °C (20 °F) de acercamiento a la temperatura del fluido de alta temperatura del sistema de enfriamiento del motor (utilizado para enfriar el motor turbocargado descrito previamente) entrando al intercambiador de calor 322 a través de la conexión 1 y es dirigida a la conexión 3 del intercambiador de calor de escape de menor

temperatura 324, donde, por medio de intercambio de calor proveniente de la corriente de escape de menor temperatura fluyendo desde la conexión 1 a la conexión 2, la corriente de aire sobrecalentada supercrítica es sobrecalentado de nuevo a su temperatura final, mientras que la corriente de escape de menor temperatura es enfriada a su temperatura final y abandona el intercambiador de calor 324 (y el sistema) a través de la conexión 2.

5 La corriente de aire sobrecalentada supercrítica, a su temperatura sobrecalentada final, abandona el intercambiador de calor 324 a través de la conexión 4 y es dirigida a la conexión 1 de la turbina de expansión 326, donde la corriente es expandida, produciendo potencia y una corriente de aire sobrecalentada a presión subcrítica saliente de la turbina de expansión 326 en la conexión 2 a una presión ligeramente mayor a la presión de aire requerida del motor y dirigida a la conexión 1 del divisor de flujo 328.

15 Una parte de la corriente de aire sobrecalentada a presión subcrítica igual a la cantidad de aire requerido para el motor sale de la conexión 3 del divisor de flujo 328 y es dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor del recuperador 310 donde, por medio de intercambio de calor con el fluido transitando desde la conexión 3 hasta la conexión 4 del intercambiador de calor 310 (como se describe anteriormente), esta parte de la corriente de aire sobrecalentada a presión subcrítica es enfriado a la temperatura requerida por el motor turbocargado y abandona el intercambiador de calor 310 a través de la conexión 2 y es dirigida a colector de entrada del motor.

20 La parte restante del aire entrante al divisor de flujo 328 abandona el divisor de flujo 328 a través de la conexión 2 y es dirigido a la conexión 1 de la turbina de expansión 330, donde la corriente es expandida, produciendo potencia y una corriente de aire sobrecalentada a presión subcrítica saliente de la turbina de expansión 330, y el sistema, en la conexión 2 a presión atmosférica a menor temperatura que la de entrada en la turbina de expansión 330.

25 La corriente de escape del colector de escape del motor turbocargado (sin utilizar el turbocargador) ingresa al sistema en la conexión 1 del quemador de conducto 332 donde se añade combustible y se lleva a cabo la combustión, incrementando la temperatura de la corriente de escape entrante al quemador de conducto 332 en la conexión 1. La corriente de escape abandona el quemador de conducto 332 a través de la conexión 2 como una corriente de escape de alta temperatura (típicamente, pero no limitado a, entre 593.3 °C (1100 °F) y 982.2 °C (1800 °F)), y con ligeramente mayor masa y diferente composición química debido al proceso de combustión que al entrar en el quemador de conducto 332.

30 La corriente de escape de alta temperatura es dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor de escape de mayor temperatura 360 donde, por medio de intercambio de calor con un fluido de trabajo sobrecalentado supercrítico de un ciclo CRO (preferentemente metano) transitando la conexión 3 a la conexión 4 del intercambiador de calor, la corriente de escape caliente es enfriada y la corriente de metano del CRO es calentada, con la corriente de metano siendo calentada a aproximadamente entre 315.6 °C (600 °F) y 537.8 °C (1000 °F) y abandonando el intercambiador de calor 360 a través de la conexión 4. La corriente de escape caliente del quemador de conducto 332 es enfriada dentro del intercambiador de calor 360 a una temperatura dentro del rango de aproximadamente 426.7 °C (800 °F) a 593.3 °C (1100 °F), abandona el intercambiador de calor 360 a través de la conexión 2, y es dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor de escape de menor temperatura 324.

35 La corriente de aire sobrecalentada supercrítica (proveniente de la conexión 4 del intercambiador de calor 322) fluyendo a través del intercambiador de calor 324 de la conexión 3 a la conexión 4 es calentada por la corriente de escape del motor fluyendo a través del intercambiador de calor 324 de la conexión 1 a la conexión 2, donde el escape enfriado del motor es liberado a la atmósfera. Así, en el ciclo de potencia 300 de la FIG. 3, el aire de escape caliente directo del colector de escape del motor turbocargado (sin pasar a través del turbocargador) es utilizado para calentar tanto el fluido del ciclo CRO 350 en el intercambiador de calor 360 como la corriente de aire de aire sobrecalentada supercrítica del ciclo de potencia 300 en el intercambiador de calor 324 previo a la ventilación de escape enfriado del motor a la atmósfera, mientras que una parte del aire re-expandido del ciclo de potencia 300 es regresado al motor turbocargado directo al colector de entrada a un flujo másico, temperatura y presión apropiado a través del intercambiador de calor 310.

40 El metano calentado saliente de la conexión 4 del intercambiador de calor de mayor temperatura de escape 360 es dirigido a la conexión de entrada 1 de la turbina 362 del ciclo CRO, donde la corriente de metano es expandida, produciendo potencia y una corriente de metano sobrecalentada a presión subcrítica saliente de la turbina de expansión del ciclo CRO 362 a través de la conexión 2 y dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor del recuperador 358 del ciclo CRO, donde, por transferencia de calor, la corriente de metano sobrecalentada a presión subcrítica pierde parte de su sobrecalentamiento mientras incrementa el sobrecalentamiento de una corriente de metano adicionalmente sobrecalentada supercrítica transitando desde la conexión 3 hasta la conexión 4 del intercambiador de calor del recuperador 358 del ciclo CRO, saliendo por la conexión 4, y dirigida a la conexión 3 del intercambiador de calor de escape de mayor temperatura 360 mencionado anteriormente.

45 La corriente de metano sobrecalentada a presión subcrítica abandona el intercambiador de calor del recuperador 358 del CRO a través de la conexión 2 manteniéndose como una corriente de metano sobrecalentada a presión subcrítica, pero a menor temperatura que al entrar al intercambiador de calor 358 y es dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor condensador 318 mencionado anteriormente.

65

Por medio de transferencia de calor del aire supercrítico transitando del intercambiador 318 desde la conexión 3 hasta la conexión 4 (como se describe anteriormente), la corriente de metano sobrecalentada a presión subcrítica es recondensada a metano líquido, abandona el intercambiador de calor condensador evaporador 318 a través de la conexión 2 a una temperatura y presión de aproximadamente -90°C (-130 °F) y 3.65 MPa (530 psia), y es dirigida a la conexión 1 del acumulador de metano líquido 352. El metano líquido abandona el acumulador 352 a través de la conexión 2 y es dirigido a la conexión 1 de la bomba 354, donde el metano líquido es bombeado a presión supercrítica, típicamente en el rango de 6.895 (MPa) a 17.24 MPa (1000 psia a 2500 psia), abandonando la bomba 354 a través de la conexión 2 como metano ligeramente sobrecalentado supercrítico y dirigido a la conexión 3 del intercambiador de calor calentador 356, donde, por medio de intercambio de calor con el fluido de calentamiento fluyendo desde la conexión 1 a la conexión 2 del intercambiador de calor calentador 356, se añade calor a la corriente de metano sobrecalentada supercrítica fluyendo desde la conexión 3 a la conexión 4, abandonando la conexión 4 a una temperatura de sobrecalentamiento mayor que la de entrada en la conexión 3 como una corriente adicionalmente sobrecalentada de metano sobrecalentado supercrítico. El fluido de calentamiento podría ser aire ambiental, agua de río, lago, torre de enfriamiento, agua de retorno de un sistema de energía distrital de agua de enfriamiento, etc.; o el fluido de trabajo de un ciclo de Rankine re-condensando conforme transita desde la conexión 1 hasta la conexión 2. Alternativamente, el fluido de calentamiento frío saliente de la conexión 2 podría ser utilizado por enfriamiento en un sistema HVAC o una bodega refrigerada, como ejemplos.

La corriente de metano adicionalmente sobrecalentada supercrítica abandona la conexión 4 del intercambiador de calor calentador 356 y es dirigida a la conexión 3 del intercambiador de calor del recuperador 358 del CRO, así completando el bucle de proceso del sistema CRO 350.

En lugar de utilizar un motor turbocargado, la representación de la FIG. 3 puede ser implementada con una turbina de gas modificada en donde la sección del compresor ha sido removida, o con una turbina de gas que incluya una cámara de combustión y turbina de expansión pero sin compresor de aire, con el aire abandonando la conexión 3 del divisor de flujo 328 y, siendo dirigido a la cámara de combustión de la turbina de gas modificada o la cámara de combustión de la turbina de gas, con el escape de cualquiera de estas máquinas siendo dirigido a la conexión 1 del quemador de conducto 332. El intercambiador de calor 310 es removido y la corriente de la conexión 4 del intercambiador de calor 308 sería dirigida a un intercambiador de escape de gas de menor temperatura adicional utilizando la corriente de escape saliente de la conexión 2 del intercambiador de calor 324 para calentar la corriente saliente de la conexión 4 del intercambiador de calor 308 previo a su entrada a la conexión 1 de la turbina de expansión 312. Alternativamente, una turbina de gas interenfriada, tal como una turbina de gas LMS100 de General Electric de Boston, Massachusetts, con el compresor de aire de primera etapa removido, podría ser utilizado en lugar del motor reciprocante con su turbocargador removido u omitido, y aire a aproximadamente la misma presión y temperatura como hubiera sido regresado a la entrada de aire de la segunda etapa de la turbina de gas desde el interenfriador de la turbina de gas sería suministrado desde la conexión 2 del intercambiador de calor 310, así incrementando la potencia de la turbina de gas, con el escape de la turbina de gas siendo dirigido a la conexión 1 del quemador de conducto 332. La potencia que pudo haber sido utilizada para mover el compresor de primera etapa sería utilizada para mover un generador. Cuando se utiliza con una turbina de gas modificada, turbina de gas sin compresor de aire, o turbina de gas interenfriada sin su compresor de primera etapa, los intercambiadores de calor 320 y 322 podrían ser eliminados ya que el fluido de enfriamiento de motor no estaría disponible y un intercambiador de calor calentador de fluidos sería instalado en su lugar.

Un quemador de conducto podría ser instalado entre la conexión 2 del divisor 328 y la conexión 1 de la turbina de expansión 330 para incrementar la potencia en la turbina de expansión 330. Esto sería de gran valor combinado con la modificación mencionada previamente, debido a que la presión de entrada en la turbina 330 sería mucho mayor cuando se combina con la turbina de gas comparado a un motor turbocargado. Alternativamente, en lugar de un quemador de conducto, un intercambiador de calor podría ser instalado entre el divisor 328 y la turbina de expansión 330 con un fluido caliente de sal fundida siendo utilizado como la fuente de calor con la sal fundida siendo calentada en horas valle con precios bajos de potencia eléctrica y almacenado hasta que sea necesitado en horas pico de demanda de potencia. Alternativamente, una combinación en serie del calentamiento a bajas temperaturas con sal fundida y el quemador de conducto manejando cualquier incremento en temperaturas mayores a aproximadamente 454.4°C (850 °F) podría ser utilizado.

El flujo de aire a través del ciclo de potencia 300 de la FIG. 3 es determinado por la velocidad de la bomba 218 y la temperatura entrante al intercambiador de calor de escape de temperatura menor 324. Esta temperatura es controlada controlando la temperatura de salida del quemador de conducto 332 (incrementando o disminuyendo el combustible entrante al quemador de conducto 332) u omitiendo parte del flujo caliente de escape por el lado caliente del intercambiador de calor de escape de temperatura alta 360 o una combinación de estos métodos de control. Al controlar el flujo de aire a través del sistema para igualar el flujo de aire requerido por el motor (o la turbina de gas en el caso de la modificación mencionada anteriormente), no habría necesidad de la turbina de expansión 330, o la turbina de expansión 330 podría ser conectada o desconectada del ciclo de potencia 300 conforme se ajusta el flujo para alcanzar la generación de potencia deseada.

Desde un punto de vista mecánico, para un sistema utilizando tanto la turbina de expansión 326 como la 330, un solo generador podría ser instalado entre ambas turbinas de expansión y movido por ambas turbinas. Para el caso donde la turbina de expansión 330 trabaja en ocasiones y no trabaja en otras ocasiones, un embrague de desconexión/reconexión

podría ser instalado entre los ejes de la turbina de expansión 330 y el generador, tal como el embrague de engranes autosincronizado sobrerrevolucionado de la SSS Clutch Company, New Castle, DE.

Nótese que, en el ciclo de potencia 300 de la FIG. 3, parte del aire que fue originalmente el aire líquido en el reservorio 302 puede ser liberado a la atmósfera en la salida de la turbina de expansión 330, mientras que el resto del aire es dirigido desde la conexión 2 del intercambiador de calor 310 al colector de entrada del motor turbocargado. Además, el escape caliente resultante del colector de escape del motor turbocargado es aplicado en la conexión 1 del quemador de conducto 332 y finalmente liberado a la atmósfera en la salida del intercambiador de calor 324 en conjunto con los productos de combustión del combustible quemado en el quemador de conducto 332.

En el ciclo de potencia 300 de la FIG. 3, parte del calor de entrada al ciclo es dirigido al ciclo CRO 350 a través del intercambiador de calor 360. Sin embargo, este intercambiador de calor podría ser eliminado y el ciclo CRO 350 podría tener una fuente de calor separada del ciclo de potencia 300 o utilizar calor del ciclo de potencia 300 además de calor de una o más fuentes.

La FIG. 4 es un diagrama representando un ciclo de potencia 400, de acuerdo a otra posible representación de la invención. El ciclo de potencia 400 puede ser aplicado a un sistema de almacenamiento de aire líquido (AL) para producir potencia de manera eficiente mientras se re-gasifica el AL almacenado. El ciclo de potencia 400 incluye la siguiente secuencia de equipos y pasos: 402, 404, 406, 408, 410, 412, 414, 406, 416, 418, 422, 414, 424, 426, 428, 430 y 410.

El aire líquido en el reservorio 402 es dirigido a la bomba 404, bombeado a una presión supercrítica, posteriormente dirigido a al intercambiador de calor gasificador/condensador 406, luego dirigido al intercambiador de calor calentador 408 como un fluido sobrecalentado supercrítico, abandonando el intercambiador de calor 408 con sobrecalentamiento adicional, luego dirigido y sobrecalentado en el intercambiador de calor del recuperador 410, dirigido a la turbina de expansión 412, produciendo potencia y un fluido sobrecalentado a presión subcrítica, el cual es dirigido al intercambiador de calor del recuperador 414, donde el fluido es enfriado, dirigido de regreso al intercambiador de calor 406, donde el fluido es re-condensado, dirigido al acumulador 416, luego a la bomba 418 y bombeado de nuevo a presión supercrítica, luego dirigido al intercambiador de calor 420 (el cual es un condensador para un ciclo de Rankine orgánico - no mostrado), donde el fluido se calienta y el fluido del ciclo de Rankine orgánico se enfría y se condensa.

El fluido calentado abandona el intercambiador de calor 420 como un fluido sobrecalentado supercrítico y es dirigido al intercambiador de calor calentador 422, que, como las representaciones previamente descritas, podría tener un fluido calentador de varias fuentes. La temperatura del fluido es incrementada en el intercambiador de calor 422 y posteriormente dirigido al recuperador 414, donde el fluido es nuevamente calentado a una temperatura aún mayor, luego dirigido a un intercambiador de calor de escape de turbina de gas 424, donde el fluido alcanza su temperatura más alta en el ciclo, posteriormente es dirigido a la turbina de expansión de alta presión 426, donde se genera potencia y la temperatura y presión del fluido disminuye durante la expansión del fluido. El fluido ingresa al quemador de conducto 428 donde el combustible es quemado en la corriente de aire fluido, incrementando la temperatura del fluido a alrededor de 371.1 °C (700 °F) a 593.3 °C (1100 °F). El fluido caliente (aire con productos de combustión) es dirigido a la turbina de expansión de baja presión 430, donde se genera potencia adicional, mientras que la temperatura y presión del fluido disminuyen, con el fluido abandonando la turbina de expansión 430 a presión ligeramente mayor que atmosférica y dirigido al intercambiador de calor del recuperador 410, donde el fluido es enfriado a su temperatura final de salida a alrededor de 37.8 °C (100 °F) a 121.1 °C (250 °F).

Esta representación es adecuada para altas temperaturas de escape, turbinas de gas de alta eficiencia como la turbina de gas SGT-800 de Siemens Energy de Alemania, pero el sistema no se limita al uso de la turbina de gas 432 como fuente de calor. Cuando se utiliza una turbina de gas de alta temperatura y alta eficiencia como fuente de calor, el sistema de potencia 400, incluyendo el CRO usando una parte (entre 25% - 30%) de la corriente de escape, producirá alrededor de 1.5 veces la potencia que el generador de turbina de gas 432. Controlando la división de la corriente de gas de escape entre el CRO y el ciclo de aire líquido, la generación total de potencia, relación energética (i.e. la cantidad total de energía utilizada para producir el AL dividido entre la cantidad total de energía producida) y el consumo de combustible puede ser ajustado para optimizar la economía del sistema.

La turbina de expansión 434, con las líneas punteadas representando una conexión desde el punto de temperatura intermedia 5 entre las conexiones 3 y 4 del intercambiador de calor 424 y una conexión a la conexión de entrada de una turbina de gas, es una turbina de expansión opcional que expandiría una parte extraída del flujo entrante en la conexión 3 del intercambiador de calor 424 y expandiría esa parte extraída a presión cercana a atmosférica produciendo potencia y una corriente de aire frío saliente de la conexión 2 de la turbina de expansión opcional 434. Esta corriente fría podría estar a una temperatura de entre -51.1 °C (-60 °F) a alrededor de 4.4 °C (40 °F) dependiendo de la ubicación del punto de extracción 5 entre la conexión 3 y la conexión 4 del intercambiador de calor 424 y la presión de la bomba de descarga 418. Esta corriente fría podría ser dirigida a la alimentación de aire en la turbina de gas 432 alimentando el escape caliente de la turbina de gas a la conexión 1 del intercambiador de calor 424. Esta corriente fría podría proveer todo o una parte del aire requerido por la turbina de gas 432. Alternativamente, la corriente de aire frío podría ser dirigida a otra alimentación de aire de una turbina de gas. El propósito de suministrar este aire frío a la alimentación de una turbina de gas (ya sea que la turbina de gas 432 suministre el calor de escape al intercambiador 424 u otra turbina de gas) es incrementar la

densidad y así el flujo másico del aire entrante a la turbina de gas, incrementando su potencia y masa en la corriente de escape. Este arreglo opcional podría ser aplicado a cualquiera de los ciclos de AL descritos.

5 La FIG. 4A es un diagrama representando el ciclo de potencia 400A de acuerdo a otra posible representación de la invención. El ciclo de potencia 400A es una modificación del ciclo de potencia 400 de la FIG. 4, donde el quemador de conducto 428 ahora se convierte en la cámara de combustión directamente conectado 428 de una turbina de gas donde se ha removido el compresor de aire, y la turbina de expansión 430 es la turbina de expansión de esa turbina de gas con su compresor de aire removido.

10 Como se puede ver en la FIG. 4A, la corriente de salida de la conexión 2 de la turbina de expansión 430 ahora se dirige al quemador de conducto añadido 436, que, por la combustión de combustible, calienta la corriente la cual es dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor de escape de turbina de gas 424. El flujo de la conexión 2 del intercambiador de calor de escape de turbina de gas 424 ahora se dirige a lo que fue el intercambiador de calor del recuperador 410, pero ahora se convierte en el intercambiador de calor de escape de turbina de gas de baja temperatura 410. El flujo de aire entrante del ciclo de potencia desde el reservorio 402 más los productos de combustión obtenidos en la cámara de combustión 428 y quemador de conducto 436, abandonan la conexión 2 del intercambiador de calor de escape de gas de baja temperatura 410.

20 Para potencia adicional, otra turbina de expansión podría ser añadida a este ciclo tomando una parte del flujo de la turbina de expansión 426 y bajar su presión a presión atmosférica por medio de expansión y saliendo del sistema en la conexión de escape de esta turbina de expansión añadida. Mientras se produce potencia adicional, el flujo másico de aire líquido por unidad de potencia generada incrementa. Sin embargo, en algunas situaciones, cuando los precios de potencia en horas pico son inusualmente altos, el motivo económico puede justificar esta turbina de expansión adicional.

25 La gran ventaja de utilizar una turbina de gas con su compresor removido como la fuente primaria de calor y potencia para el ciclo de potencia 400A de la FIG. 4A comparado al ciclo de potencia 400 de la FIG. 4 en donde una turbina de gas completa 432 es la fuente primaria de calor y potencia, es que el compresor de la turbina de gas absorbe alrededor de la mitad de la potencia generada en la turbina de expansión de la turbina de gas.

30 Para la mayoría de turbinas de gas, es un reto de ingeniería remover el compresor de aire, debido a que la mayoría de las turbinas de gas utilizadas para la generación de potencia tienen un solo eje extendiéndose desde el extremo de entrada del compresor de aire, a través del centro de la sección de la cámara de combustión, al extremo de la sección de la turbina, con dos soportes sujetando el eje, uno en la entrada del compresor y el otro en el extremo del escape de la turbina. Una excepción es la turbina de gas SGT-A05 de Siemens Energy de Alemania, la cual es de diseño modular con dos baleros sujetando la turbina con un eje estriado conectando la turbina con el compresor, el cual también es sujetado por dos baleros, haciéndolo mucho más fácil separar la turbina y la cámara de combustión del compresor, reconociendo que se debería diseñar una sección de entrada de aire y un mecanismo de balanceo de empuje.

40 Nótese que, en el ciclo de potencia 400 de la FIG. 4, el calor intercambiado en el intercambiador de calor 424 proviene del escape caliente del motor de la turbina de gas 432, donde el escape enfriado del motor resultante es liberado a la atmósfera desde la conexión 2 del intercambiador de calor 424, mientras que el aire del reservorio de AL 402 es liberado a la atmósfera desde la conexión 2 del intercambiador de calor 410 junto con productos de combustión del combustible quemado en el quemador de conducto 428. En el ciclo de potencia 400A de la FIG. 4A, por otro lado, el calor intercambiado en el intercambiador de calor 424 proviene de la quema de combustible en el quemador de conducto 436, donde el aire tanto de la cámara de combustión 428 como el quemador de conducto 436 proviene del reservorio de AL 402. En este caso, el aire liberado a la atmósfera desde la conexión 2 del intercambiador de calor 410 incluye productos de combustión tanto de la cámara de combustión 428 como del quemador de conducto 436.

50 La FIG. 5 es un diagrama representando un ciclo de potencia 500 de acuerdo a otra posible representación de la invención. El ciclo de potencia 500 puede ser aplicado a un sistema de almacenamiento de gas y energía eléctrica almacenando gas natural como GNL en momentos de exceso de gas y energía eléctrica y regresando ambos potencia eléctrica a la red y gas al sistema de tuberías en horas pico de demanda. En esta representación, el escape de un motor recíproco turbocargado (con su turbocargador en su lugar y en uso) es la fuente primaria de calor para el ciclo, y aire de la conexión de descarga del turbocargador, a alrededor de 0.31 MPA (45 psia) y 232.2 °C (450 °F), el cual normalmente es conectado al postenfriador el cual enfriaría el aire del turbocargador previo a su entrada al colector de entrada de aire del motor, es la fuente de calor del ciclo de potencia secundaria. En este caso, se omite el postenfriador, dado que el aire caliente del turbocargador es regresado al colector de entrada del aire del motor, posterior a la transferencia de calor desde la corriente de aire caliente al ciclo de potencia, a una temperatura equivalente a la temperatura de aire normal del postenfriador. El ciclo también incluye fuentes de calor de menor temperatura. El ciclo de potencia 500 incluye la siguiente secuencia de equipos y operaciones: 502, 504, 506, 508, 510, 512, 514, 516, 518, 520, 522, 506, 524, 526, 528, 530, 532, 522, 534, 536, 538, 514 y 510.

65 El gas natural licuado (GNL) en el reservorio 502 es dirigido a la bomba 504, bombeado a presión supercrítica y dirigido al intercambiador de calor gasificador/condensador 506, luego dirigido al intercambiador de calor calentador 508 como un fluido sobrecalentado supercrítico, abandonando el intercambiador de calor 508 a través de la conexión 4 con sobrecalentamiento adicional, luego dirigido al intercambiador de calor del recuperador de baja temperatura 510 y

calentado de nuevo, posteriormente dirigido al intercambiador de calor de escape de baja temperatura 512 recibiendo calor adicional y dirigido al intercambiador de calor del recuperador de alta temperatura 514, de nuevo recibiendo calor adicional y dirigido al intercambiador de calor recuperador 516, recibiendo calor adicional y luego dirigido al intercambiador de calor de escape de alta temperatura 518 donde el fluido sobrecalentado supercrítico es calentado a su temperatura más alta (típicamente entre 371.1 °C (700 °F) y 593.3 °C (1100 °F)), y luego dirigido a la turbina de expansión 520, produciendo potencia y un fluido sobrecalentado a presión subcrítica dirigido al intercambiador de calor del recuperador de alta temperatura 516 mencionado anteriormente, donde el fluido se enfría, luego dirigido al intercambiador de calor del recuperador de baja temperatura 522, donde el fluido se enfría nuevamente, luego dirigido de regreso al intercambiador de calor gasificador/condensador 506 donde el fluido es re-condensado, dirigido al acumulador 524, luego a la bomba 526 y bombeado de nuevo a presión supercrítica y dirigido al intercambiador de calor calentador 528 que puede ser un condensador para un ciclo de Rankine orgánico. El fluido se calienta en el intercambiador de calor 528 conforme el fluido del ciclo de Rankine se enfría y se condensa. El fluido calentado abandona el intercambiador de calor 528 como un fluido sobrecalentado supercrítico y dirigido al intercambiador de calor refrigerante de motor 530, en donde el refrigerante de motor se enfría conforme el fluido sobrecalentado supercrítico se calienta y luego dirigido al intercambiador de calor del turbocargador de aire de baja temperatura 532 donde el fluido se calienta nuevamente a una temperatura aún mayor y dirigida al intercambiador de calor del recuperador de baja temperatura 522, donde se añade calor adicional al fluido y se dirige al intercambiador de calor de aire del turbocargador 534 donde se calienta de nuevo el fluido, y dirigido al intercambiador de calor de escape de gas de temperatura media 536 donde la corriente re-condensada y bombeada alcanza su temperatura más alta, abandonando el intercambiador de calor 536 y dirigido a la turbina de expansión 538, donde se genera potencia y la temperatura y presión del fluido disminuye conforme se expande el fluido. Posteriormente el fluido ingresa al intercambiador de calor del recuperador de alta temperatura 514, donde el fluido se enfría aún más y se dirige al intercambiador de calor del recuperador de baja temperatura 510, donde el fluido se enfría a su temperatura final conforme abandona el sistema, usualmente siendo dirigido a una tubería de gas natural.

El aire caliente de la conexión de descarga del turbocargador del motor turbocargado ingresa al ciclo de potencia 500 en la conexión 1 del quemador de conducto 540 donde se añade combustible y sucede una combustión aumentando la temperatura del aire y añadiendo parte de los productos de combustión en la corriente de aire. La corriente de aire con productos de combustión abandona el quemador de conducto 540 a través de la conexión 2 e ingresa a la conexión 1 del intercambiador de calor de alta temperatura del turbocargador 534, saliendo de la conexión 2 y dirigida a la conexión 1 del intercambiador de calor del turbocargador de baja temperatura 532. El aire del turbocargador con una cantidad pequeña de productos de combustión sale de la conexión 2 del intercambiador de calor del turbocargador de baja temperatura 532 y es dirigido de regreso al colector de entrada de aire del motor.

La corriente de escape de la conexión de escape del turbocargador del motor turbocargado ingresa al ciclo de potencia 500 en la conexión 1 del quemador de conducto 542 donde se añade combustible a la corriente de escape incrementando la temperatura de la corriente conforme se quema el combustible. La corriente calentada de escape, con los productos de combustión añadidos, es dirigida al intercambiador de calor de gas de escape caliente 518, saliendo como una corriente de gas de escape de temperatura intermedia y dirigida al intercambiador de calor de gas de escape intermedio 536, donde la corriente de gas de escape es enfriada, abandonando el intercambiador de calor 536 como una corriente de gas de escape de baja temperatura y dirigida al intercambiador de calor de gas de escape de baja temperatura 512, donde la corriente de gas de escape es enfriada a su temperatura más baja, abandonando el ciclo de potencia 500 a través de la conexión 2 del intercambiador de calor 512.

La representación de la FIG. 5 podría también funcionar bien con una turbina de gas interenfriada, tal como la turbina LMS100 de General Electric de Boston, Massachusetts, en donde el escape de la turbina de gas reemplazaría el escape del motor, y el aire caliente descargando del compresor de aire de primera etapa reemplazaría el aire del turbocargador.

Los quemadores de conducto 540 y 542 mejoran el rendimiento económico, pero usualmente provocan un incremento en el consumo de combustible, y su inclusión en el sistema dependería de las consideraciones económicas. Sin el quemador de ducto 540, el intercambiador de calor 534 podría no aportar al rendimiento del sistema. Si se omite el intercambiador de calor 534, entonces el aire (proveniente de un motor o el compresor de primera etapa de una turbina de gas) entraría en la conexión 1 del intercambiador de calor 532.

El aire caliente suministrado por la descarga de aire del turbocargador a la conexión 1 del quemador de conducto 540, o la conexión 1 del intercambiador de calor 534 si el quemador de conducto 540 no es utilizado, podría provenir tanto de (i) el motor suministrando el escape caliente al quemador de conducto 542 como de (ii) la descarga de aire del turbocargador de uno o más motores tal como uno o más motores suministrando calor de escape a un CRO y/o suministrando calor de escape tanto al CRO como al ciclo de potencia 500. El aire sería regresado a estos motores desde la conexión 2 del intercambiador de calor 532. Este mismo concepto podría ser aplicado cuando una turbina de gas interenfriada (como se menciona anteriormente) sea la fuente de calor de escape y aire caliente.

La necesidad del intercambiador de calor del recuperador de baja temperatura 510 es dependiente de la temperatura de la corriente de gas saliente de la conexión 2 del intercambiador de calor 514. A temperaturas menores de aproximadamente 37.8 °C (100 °F), el intercambiador de calor 510 provee de poco o ningún beneficio.

- 5 El fluido de calentamiento en los intercambiadores de calor 508 y 528, transitando desde la conexión 1 hasta la conexión 2, es usualmente aire ambiental; agua de calentamiento, tal como agua de un océano, río, lago, torre de enfriamiento, etc.; o un fluido de trabajo de un ciclo de Rankine u otro ciclo de potencia basado en calor, en cuyo caso, el frío en el fluido sobrecalentado supercrítico gasificado es utilizado para enfriar o enfriar y re-condensar el fluido de trabajo conforme calienta el fluido sobrecalentado supercrítico.
- 10 El calor provisto por el quemador de conducto 540 podría ser alternativamente suministrado por un intercambiador de calor utilizando calor de otra fuente, particularmente de una sal fundida caliente calentada con energía fuera de horas pico. Esto evitaría la adición de gases de combustión a la corriente de aire regresada al motor (o turbina de gas).
- 15 Aquellos con habilidad ordinaria en el arte podrían reconocer que existen otros sitios donde el ciclo de potencia 500 podría utilizar calor de otras fuentes para mejorar el rendimiento del ciclo, y esta representación no se limita al uso exclusivo mostrado en el diagrama o el uso de calor únicamente en los puntos mostrados en el diagrama.
- 20 La representación de la FIG. 5 podría ser utilizada como un sistema de energía de aire líquido utilizando aire líquido como el fluido en el reservorio 502. En el modo aire líquido, la expansión en la turbina de expansión 538 probablemente se manejaría en dos etapas de expansión en serie con una fuente de calor, tal como un quemador de conducto o un intercambiador de calor de sal fundida, calentando la corriente de aire entre las etapas de expansión.
- 25 Para todas las representaciones mencionadas anteriormente, un sistema de control (no mostrado en las figuras) con una o más válvulas de control, válvulas de alivio, válvulas de contrapresión, válvulas de recirculación, controladores, orificios, sensores, instrumentación, sistemas de tratamiento de gases, etc., como se conocen por alguien con habilidad ordinaria en el área es utilizado para controlar la presión, temperatura, limpieza y flujos de los fluidos en los sistemas.
- 30 Los intercambiadores de calor gasificadores/condensadores adecuados para las varias representaciones de esta invención incluyen, pero no se limitan, a intercambiadores de calor en espiral e intercambiadores de calor de aluminio soldado comúnmente utilizados en plantas de separación de aire y plantas de GNL. Las turbinas de expansión adecuadas para las varias representaciones de esta divulgación incluyen, pero no se limitan, a turbinas radiales y turbinas de palas similares a turbinas de vapor de reacción o acción excepto diseñadas para manejar gas natural o aire, en lugar de vapor.
- 35 En al menos algunas situaciones, el término "condensar" significa cambiar estado de fase de un fluido desde un gas inicial o fase supercrítica a un líquido fase final.
- 40 En al menos algunas situaciones, el término "turbina de combustión" significa un equipo de generación de potencia a partir de calor consistiendo esencialmente de un flujo de cámara de combustión conectado a una turbina de expansión de alta temperatura con la cámara de combustión diseñada para (i) aceptar una corriente de aire a alta presión (entre un rango de 0.690 a 13.79 MPa (100 a 2000 psia)) en su entrada, (ii) quemar la corriente de aire con combustible inyectado a la cámara de combustión y (iii) descargar la corriente caliente quemada a la turbina de expansión, donde la energía es producida conforme la corriente caliente quemada se expande a la presión de descarga de la turbina de expansión la cual típicamente se encuentra cerca de la presión atmosférica.
- 45 En al menos algunas situaciones, el término "turbina de expansión" significa cualquiera de varios equipos que convierten energía en una corriente de un fluido gaseoso o supercrítico a energía mecánica. En ocasiones, el término "turbina de expansión" es utilizado en lugar del término "turbina" para indicar que el fluido transitando a través de la turbina se expande en volumen, comparado a una turbina manejando un líquido en cuyo caso no hay cambios de volumen a través de la turbina.
- 50 En al menos algunas situaciones, el término "gasificar" significa cambiar un fluido, por medio de calentamiento, de un líquido fluido a un fluido gaseoso o supercrítico.
- 55 En al menos algunas situaciones, el término "turbina de gas" significa una turbina de combustión, pero también incluyendo un compresor de aire para proveer el aire presurizado a la cámara de combustión.
- 60 En al menos algunas situaciones, el término "gas natural licuado" o "GNL" es gas natural que ha sido licuado después de su tratamiento para remover componentes que podrían dañar o tapar el equipo de licuado. El GNL es típicamente en su mayoría metano con un porcentaje menor de etano, aún menor porcentaje de propano y butano y cantidades ínfimas de nitrógeno.
- 65 En al menos algunas situaciones, el término "corriente mayormente de metano" significa una corriente de fluido consistiendo de GNL tanto en estado líquido, gaseoso o supercrítico.
- En al menos algunas situaciones, el término "fluido supercrítico" significa un fluido en donde tanto la presión como la temperatura se encuentran por encima de la presión y temperatura crítica del fluido.
- En ciertas representaciones, la presente invención es un método para producir potencia utilizando un fluido en un estado condensado frío. Este método consiste en: (a) bombear el fluido para formar un fluido inicialmente bombeado; (b)

- 5 calentando el fluido inicialmente bombeado para formar un fluido inicialmente calentado; (c) expandiendo el fluido inicialmente calentado en un primer equipo de expansión para formar un fluido inicialmente expandido; (d) re-condensar el fluido inicialmente expandido contra el fluido inicialmente bombeado para formar un fluido re-condensado en estado líquido. (e) bombear el fluido re-condensado para formar un fluido re-bombeado; (f) calentar el fluido re-bombeado para formar un fluido recalentado; y (g) expandir el fluido recalentado en un segundo equipo de expansión para formar un fluido re-expandido, donde por lo menos uno de los equipos de expansión se utiliza para generar potencia.
- 10 En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el primero y segundo equipos de expansión se utilizan para encender generadores para producir energía eléctrica.
- 15 En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el fluido inicialmente expandido es re-condensado contra el fluido inicialmente bombeado en un intercambiador de calor gasificador/condensador.
- 20 En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el fluido inicialmente bombeado ingresa al intercambiador de calor gasificador/condensador a presión supercrítica y abandona el intercambiador de calor gasificador/condensador como un fluido sobrecalentado supercrítico; y el fluido inicialmente expandido ingresa al intercambiador de calor gasificador/condensador como un fluido sobrecalentado a presión subcrítica y abandona el intercambiador de calor gasificador/condensador como el fluido re-condensado.
- 25 En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el paso (a) consiste en bombear el fluido para formar un fluido inicialmente bombeado por arriba de la presión crítica del fluido; y el paso (e) consiste en bombear el fluido para formar el fluido re-bombeado por arriba de la presión crítica del fluido.
- 30 En al menos algunas representaciones mencionadas previamente, el paso (f) consiste en calentar el fluido re-bombeado utilizando calor en una corriente de escape de un motor turbocargado sin la corriente de escape pasando a través del turbocargador.
- 35 En al menos algunas representaciones mencionadas previamente, el fluido es aire; y al menos una parte del aire re-expandido es regresado al motor turbocargado como aire de combustión sin pasar a través del turbocargador.
- 40 En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el paso (f) consiste en calentar el fluido re-bombeado utilizando calor de escape de una turbina de gas interenfriada sin utilizar el compresor de aire de primera etapa de la turbina.
- 45 En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el fluido es aire; y al menos una parte del aire re-expandido es aplicado a la entrada de aire del compresor de segunda etapa de la turbina interenfriada.
- 50 En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, al menos uno de los pasos (b) y (f) contiene un fluido calentador utilizando una corriente de escape caliente de un motor turbocargado; y al menos uno de los pasos (b) y (f) contiene un fluido calentador utilizando una corriente de descarga de aire del turbocargador del motor turbocargado, donde al menos parte del aire es regresado al colector de entrada de aire del motor turbocargado, omitiendo un postenfriador del motor turbocargado.
- 55 En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, al menos uno de los pasos (b) y (f) contiene un fluido calentador utilizando una corriente caliente de escape de una turbina de gas interenfriada; y al menos uno de los pasos (b) y (f) contiene un fluido calentador utilizando una corriente de descarga de aire de la descarga de aire del compresor de primera etapa de la turbina de gas interenfriada, omitiendo un compresor de aire de primera etapa y un interenfriador de la turbina de gas.
- 60 En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el fluido es aire; y al menos uno de los pasos (c) y (g) consiste en expandir utilizando una turbina de gas sin utilizar un compresor de la turbina de gas.
- 65 En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el líquido es gas natural para aplicaciones de almacenamiento combinado de gas y energía eléctrica.
- En ciertas representaciones, la presente invención es un ciclo de potencia para producir potencia utilizando un fluido en un estado condensado frío. El ciclo de potencia consiste en una bomba inicial configurada para bombear el fluido para formar un fluido inicialmente bombeado; uno o más intercambiadores de calor iniciales configurados para calentar el fluido inicialmente bombeado para formar un fluido inicialmente calentado; un equipo de expansión inicial configurado para expandir el fluido inicialmente calentado para formar un fluido inicialmente expandido; un intercambiador de calor gasificador/condensador configurado para re-condensar el fluido inicialmente expandido contra el fluido inicialmente bombeado para formar un fluido re-condensado en estado líquido; una segunda bomba configurada para bombear el fluido re-condensado para formar un fluido re-bombeado; uno o más segundos intercambiadores de calor configurados para calentar el fluido re-bombeado para formar el fluido re-calentado; y un segundo equipo de expansión configurado para expandir el fluido re-calentado para formar un fluido re-expandido, donde al menos uno del primer y segundo equipo de expansión se utilizan para generar potencia.

En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el ciclo de potencia consiste además en un motor turbocargado configurado para ser utilizado sin un turbocargador para generar calor de escape utilizado para calentar el fluido re-bombeado.

5

En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el ciclo de potencia consiste además en una turbina de gas interenfriada configurada para ser utilizada sin el compresor de aire de primera etapa para generar calor de escape utilizado para calentar el fluido re-bombeado.

10

En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el ciclo de potencia consiste además en un motor turbocargado configurado para generar (i) una corriente caliente de escape utilizada para calentar al menos uno de los fluidos inicialmente bombeados y el fluido re-bombeado y (ii) una corriente de descarga de aire utilizada para calentar al menos uno de los fluidos inicialmente bombeados y el fluido re-bombeado, donde el ciclo de potencia es configurado para regresar al menos una parte del aire al colector de aire de entrada del motor turbocargado, omitiendo un postenfriador del motor turbocargado.

15

En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el ciclo de potencia consiste además en una turbina de gas interenfriada configurada para generar (i) una corriente caliente de escape utilizada para calentar al menos una de los fluidos inicialmente bombeados y el fluido re-bombeado y (ii) una corriente de descarga de aire utilizada para calentar al menos una de los fluidos inicialmente bombeados y el fluido re-bombeado, donde el ciclo de potencia es configurado para regresar al menos una parte del aire a la turbina, omitiendo el postenfriador de la turbina.

20

En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el fluido es aire; y al menos uno del primero y segundo equipo de expansión es una turbina de gas configurada para ser utilizada sin un compresor.

25

En al menos algunas de las representaciones mencionadas previamente, el líquido es gas natural para aplicaciones de almacenamiento combinado de gas y energía eléctrica.

30

También para propósitos de esta invención, los términos "acoplar", "acoplado", "acoplamiento", "conectar", "conectando" o "conectado" se refieren a cualquier método conocido en el arte o posteriormente desarrollado en donde un flujo o corriente de fluido es permitido ser transferido usualmente por tubería entre dos o más elementos, y la interposición de uno o más elementos adicionales y tuberías es contemplado, pero no requerido. En cambio, los términos "directamente acoplado", "directamente conectados", *etc.*, implican la ausencia de tales elementos y tuberías adicionales. Como se utiliza aquí, el término "transferencia de calor" se refiere a la transferencia de energía térmica de una sustancia a otra.

35

A menos que se indique explícitamente lo contrario, cada valor numérico y rango debería ser interpretado como un aproximado como si las palabras "alrededor de" o "aproximadamente" antecederan el valor o rango.

40

Además se debe de comprender que varios cambios en los detalles, materiales y configuraciones de las partes que han sido descritas e ilustradas con el objetivo de explicar las representaciones de esta invención pueden ser realizados por aquellos con habilidad en el área sin alejarse de las representaciones de la invención dentro del marco de las siguientes reivindicaciones.

45

En esta especificación incluyendo cualquier reivindicación, el término "cada" puede ser utilizado para referirse a una o más características especificadas de una pluralidad de elementos o pasos previamente mencionados. Cuando se utiliza con el término abierto "consistiendo", el uso del término "cada" no excluye elementos o pasos adicionales o no mencionados. De este modo, se entenderá que un aparato puede tener elementos adicionales no mencionados y un método puede tener pasos adicionales no mencionados, donde los elementos o pasos adicionales no mencionados no tienen una o más características especificadas.

50

El uso de números de figura y/o etiquetas de referencia de figura en las reivindicaciones tiene el propósito de identificar una o más posibles representaciones de la materia reivindicada para facilitar la interpretación de las reivindicaciones. Dicho uso no debe de ser necesariamente interpretado como limitando el alcance de esas reivindicaciones mostradas en las figuras correspondientes.

55

Debe de entenderse que los pasos de los métodos ejemplares presentados aquí no necesariamente se deben de aplicar en el orden descrito, y el orden de los pasos de dichos métodos deberían de ser entendidos solo como ejemplos. Asimismo, se pueden añadir pasos adicionales en dichos métodos, y ciertos pasos pueden ser omitidos o combinados, en métodos consistentes con varias representaciones de la invención.

60

A pesar de que los elementos en las siguientes reivindicaciones de método, si lo hubiera, son mencionados en una secuencia particular con etiquetado correspondiente, al menos que las reivindicaciones de otra manera implican una secuencia particular para implementar alguno o todos los elementos, no es la intención que aquellos elementos son limitados a ser implementados en esa secuencia particular.

65

5 Cualquier referencia aquí presente a “una aplicación” significa que un atributo, estructura, o característica particular descrita en relación con la representación puede ser incluida en al menos una representación de la invención. Las apariciones de la frase “en una aplicación” en varios lugares de la especificación no necesariamente se refieren a la misma representación, ni representaciones separadas o alternas que son mutuamente exclusivas de otras representaciones. Lo mismo aplica al término “implementación”.

10 Como se utiliza aquí y en las reivindicaciones, el término “proveer” con respecto a un equipo o con respecto a un sistema, aparato o componente abarca el diseño o fabricación del aparato, sistema, equipo o componente; causando que el aparato, sistema, equipo o componente sea diseñado o fabricado; y/o obteniendo el aparato, sistema, equipo o componente por medio de compra, arrendamiento, renta u otro arreglo contractual.

15 Al menos que se especifique lo contrario aquí, el uso de los adjetivos ordinales “primero”, “segundo”, “tercero”, etc., para referirse a un objeto de una pluralidad de objetos similares solo indica que se refiere a diferentes instancias de dichos objetos similares, y no tiene la intención de indicar que los objetos similares así referidos deben de estar en un orden o secuencia correspondiente, ya sea temporalmente, espacialmente, en clasificación, ni en ninguna otra manera.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir energía utilizando un fluido inicial (102, 202, 302, 402, 502) en un estado condensado, el método consistiendo de:
- 5 (a) bombear (104, 204, 304, 404, 504) fluido derivado del fluido inicial para formar un fluido bombeado a presiones superiores a la presión crítica del fluido.
 - (b) calentar (106/108/112/114/118, 206/208/210, 306/308/310, 406/408/410, 506/508/510/512/514/516/518) fluido derivado del fluido bombeado para formar un fluido sobrecalentado supercrítico calentado.
 - 10 (c) expandir (120, 212, 312, 412, 520) fluido derivado del fluido sobrecalentado supercrítico calentado en al menos un primer paso de generación de potencia a través de expansión para formar un fluido expandido sobrecalentado de presión subcrítica; y
 - (d) enfriar y re-condensar fluido expandido derivado del fluido sobrecalentado a presión subcrítica
- CARACTERIZADO POR:**
- 15 el fluido derivado del fluido expandido sobrecalentado de presión subcrítica es enfriado y re-condensado contra el fluido derivado del fluido bombeado en un intercambiador de calor gasificador/condensador (106, 206, 306, 406, 506) para formar un fluido re-condensado en estado líquido, donde la re-condensación del fluido derivado del fluido expandido sobrecalentado de presión subcrítica provee del calor para gasificar el fluido derivado del fluido bombeado en el intercambiador de calor gasificador/condensador; y el método adicionalmente consiste en:
- 20 (e) bombear (126, 218, 316, 418, 526) fluido derivado del fluido re-condensado para formar un fluido re-bombeado a una presión mayor que la presión crítica del fluido;
 - (f) calentar (128/122, 220/214/222, 318/320/322/324, 420/422/414/424, 528/530/532/522/534/536) fluido derivado del fluido re-bombeado a presión superior a su presión crítica para formar fluido re-calentado; y
 - (g) expandir (130, 224/230/234, 326/330, 426/430, 538) fluido derivado del fluido re-calentado en por lo menos un
 - 25 segundo paso de generación de potencia a través de expansión para formar un fluido re-expandido, con (232, 428) o sin (228, 328) recalentamiento entre los pasos de expansión si el paso (g) consiste en más de un segundo paso de generación de potencia a través de expansión (224/234, 224/230), (326/330, 426/430).
2. El método de la reivindicación 1, donde al menos uno de los pasos (b) y (f) consisten en:
- 30 calentar (512/518/536) el fluido utilizando una corriente caliente de escape de un motor turbocargado, con (542) o sin un quemador de conducto en la corriente de escape caliente;
 - calentar (532/534) el fluido utilizando una corriente de descarga de aire de la descarga de aire del turbocargador de un motor turbocargado, con (540) o sin un quemador de conducto en la corriente de descarga de aire, donde por lo menos parte del aire (532-2) es regresado al colector de aire de entrada del motor turbocargado, omitiendo un postenfriador del motor turbocargado;
 - 35 calentar (512/518/536) el fluido utilizando una corriente de escape caliente de una turbina de gas interenfriada; o
 - calentar (534/532) el fluido utilizando una corriente de descarga de aire de la descarga de aire del compresor de aire de primera etapa de una turbina de gas interenfriada, donde por lo menos parte del aire (532-2) es regresado a la turbina de gas, omitiendo un interenfriador de la turbina de gas.
- 40 3. El método de la reivindicación 1, donde:
- el fluido es aire (202, 302, 402);
 - por lo menos una o más expansiones del paso (g) consisten en utilizar una turbina de gas (234) sin utilizar un compresor de la turbina de gas; y
 - 45 Por lo menos una parte del calentamiento de paso (f) es logrado utilizando la cámara de combustión de la turbina de gas al quemar (232) combustible en la corriente de fluido derivado del fluido re-bombeado a presión superior de la presión crítica del fluido.
4. El método de la reivindicación 1, donde el fluido inicial en el estado condensado es (i) gas natural licuado (GNL) (102, 502) para aplicaciones de almacenamiento combinado de gas natural y energía eléctrica o regasificación de GNL o (ii) aire líquido (202, 302, 402).
- 50 5. El método de la reivindicación 1, adicionalmente consistiendo de uno o más pasos de enfriamiento (114/122, 214, 414, 516/522) posterior a la expansión de paso (c) y previo al enfriamiento y re-condensación de paso (d) con parte del calor de uno o más pasos de enfriamiento siendo regresado a un ciclo de potencia correspondiente al método.
- 55 6. El método de la reivindicación 1, adicionalmente consistiendo de uno o más pasos de enfriamiento (222/210, 310, 410, 514/510) posterior a la expansión de paso (g) con parte del calor de uno o más pasos de enfriamiento siendo regresado a un ciclo de potencia correspondiente al método.
- 60 7. El método de la reivindicación 1, donde uno o más ciclos de potencia a partir de calor utilizan frío para absorber calor de rechazo de una o más corrientes de fluido de uno o más ciclos de potencia a partir de calor, donde el frío proviene de uno o más de:
- (i) El fluido bombeado gasificado (106-4, 206-4, 306-4, 406-4, 506-4) del fluido de gasificación/condensación de paso (b);
 - (ii) El fluido re-bombeado (126-2, 218-2, 316-2, 418-2, 526-2) de paso (e); y
 - 65 (iii) Una o más corrientes de fluido de uno o más ciclos de potencia a partir de calor posterior al rechazo de calor en uno o más de (i) y (ii).

8. El método de la reivindicación 1, donde por lo menos una parte del calentamiento en pasos (b) y/o (f) son de una fuente de calor almacenado y/o de una fuente de calor residual.
- 5 9. El método de la reivindicación 1, donde por lo menos una parte del fluido re-expandido de paso (g) es dirigido a una entrada de turbina de gas.
10. Un ciclo de potencia para producir potencia utilizando un fluido inicial (102, 202, 302, 402, 502) en un estado condensado, el ciclo de potencia consistiendo en:
- 10 una primera bomba (104, 204, 304, 404, 504) configurada para bombear fluido derivado del fluido inicial para formar fluido bombeado a una presión superior a la presión crítica del fluido;
- uno o más primeros intercambiadores de calor (106/108/112/114/118, 206/208/210, 306/308/310, 406/408/410, 506/508/510/512/514/516/518) configurados para calentar fluido derivado del fluido bombeado inicial para formar un fluido sobrecalentado supercrítico calentado; y
- 15 por lo menos un primer equipo de generación de potencia a través de expansión inicial (120, 212, 312, 412, 520) configurado para expandir fluido derivado del fluido sobrecalentado supercrítico calentado para formar un fluido sobrecalentado expandido de presión subcrítica, **CARACTERIZADO POR:**
- el uno o más primeros intercambiadores de calor consisten en un intercambiador de calor gasificador/condensador (106, 206, 306, 406, 506) configurado para enfriar y re-condensar fluido derivado del fluido expandido contra el fluido derivado del fluido bombeado para formar un fluido re-condensado en un estado líquido; y el ciclo de potencia adicionalmente
- 20 consistiendo de:
- una segunda bomba (126, 218, 316, 418, 526) configurado para bombear fluido derivado del fluido re-condensado para formar un fluido re-bombeado a una presión superior a la presión crítica del fluido;
- uno o más segundos intercambiadores de calor y/o al menos un quemador de conducto (128/122, 220/214/222, 318/320/322/324, 420/422/414/424, 528/530/532/522/534/536) configurado para calentar fluido derivado del fluido re-
- 25 bombeado para formar un fluido re-calentado; y
- por lo menos un segundo equipo de generación de potencia a través de expansión (130, 224, 326, 426, 538) configurado para expandir fluido derivado del fluido re-calentado para formar un fluido re-expandido, con (232, 428) o sin (230, 328/330) recalentamiento entre el segundo equipo de generación de potencia a través de expansión si el ciclo de potencia
- 30 consiste en más de un segundo equipo de generación de potencia a través de expansión (224/234, 224/230, 326/330, 426/430), con cualquier recalentamiento provisto por intercambiadores de calor y/o quemadores de conducto.
11. El ciclo de potencia de la reivindicación 10, adicionalmente consistiendo de:
- Un motor turbocargado configurada para generar, con (542) o sin un quemador de conducto:
- 35 (i) Una corriente de escape caliente utilizada para calentar (512/518/536) por lo menos uno de (a) el fluido derivado del fluido bombeado (512/518) y (b) el fluido derivado del fluido re-bombeado (536); o
- (ii) Una corriente de descarga de aire de la descarga de aire del turbocargador de un motor turbocargado, con (540) o sin un quemador de conducto en la corriente de descarga de aire, utilizada para calentar (532/534) por lo menos uno de (a) el fluido derivado del fluido bombeado y (b) el fluido derivado del fluido re-bombeado (532/534), donde el ciclo de potencia
- 40 es configurado para regresar por lo menos parte del aire (532-2) al colector de aire de entrada del motor turbocargado, omitiendo un postenfriador del motor turbocargado; o
- Una turbina de gas interenfriada configurada para generar:
- (i) Una corriente de escape caliente, con (542) o sin un quemador de conducto, utilizado para calentar (512/518/536) por lo menos uno de (a) el fluido derivado del fluido bombeado (518/536) y (b) el fluido derivado del fluido (512); o
- 45 (ii) Una corriente de descarga de aire de la descarga del compresor de primera etapa de la turbina de gas, con (540) o sin un quemador de conducto, utilizado para calentar (534/532) al menos uno de (a) el fluido derivado del fluido bombeado y (b) el fluido derivado del fluido re-bombeado, donde el ciclo de potencia es configurado para regresar por lo menos parte del aire a la turbina de gas, omitiendo un postenfriador de la turbina de gas.
- 50 12. El ciclo de potencia de la reivindicación 10, donde:
- el fluido es aire (202, 302, 402); y
- por lo menos uno del primero y segundo equipos de expansión es una turbina de gas (234) configurada para ser utilizada sin un compresor.
- 55 13. El ciclo de potencia de la reivindicación 10, donde el fluido inicial en el estado condensado es (i) gas natural licuado (GNL) (102, 502) para aplicaciones de almacenamiento combinado de gas y energía eléctrica o regasificación de GNL o (ii) aire líquido (202, 302, 402).
14. El ciclo de potencia de la reivindicación 10, adicionalmente consistiendo de, entre el al menos uno del primer equipo de generación de energía a través de expansión y el intercambiador de calor gasificador/condensador, uno o más intercambiadores de calor adicionales (114/122, 214, 414, 516/522) configurados para enfriar fluido derivado del fluido expandido para formar un fluido enfriado, donde:
- 60 parte del calor proveniente de uno o más intercambiadores adicionales de calor es regresado al ciclo de potencia; y el intercambiador de calor gasificador/condensador es configurado para adicionalmente enfriar y re-condensar fluido derivado del fluido enfriado contra solo el fluido bombeado para formar un fluido re-condensado en el estado líquido.
- 65

15. El ciclo de potencia de la reivindicación 10, consistiendo adicionalmente de, posterior del al menos un segundo equipo de generación de potencia a través de expansión, uno o más intercambiadores de calor adicionales (222/210, 310, 410, 514/510) configurados para enfriar fluido derivado del fluido re-expandido, donde parte del calor proveniente de uno o más intercambiadores de calor adicionales es regresado al ciclo de potencia.

FIG. 1

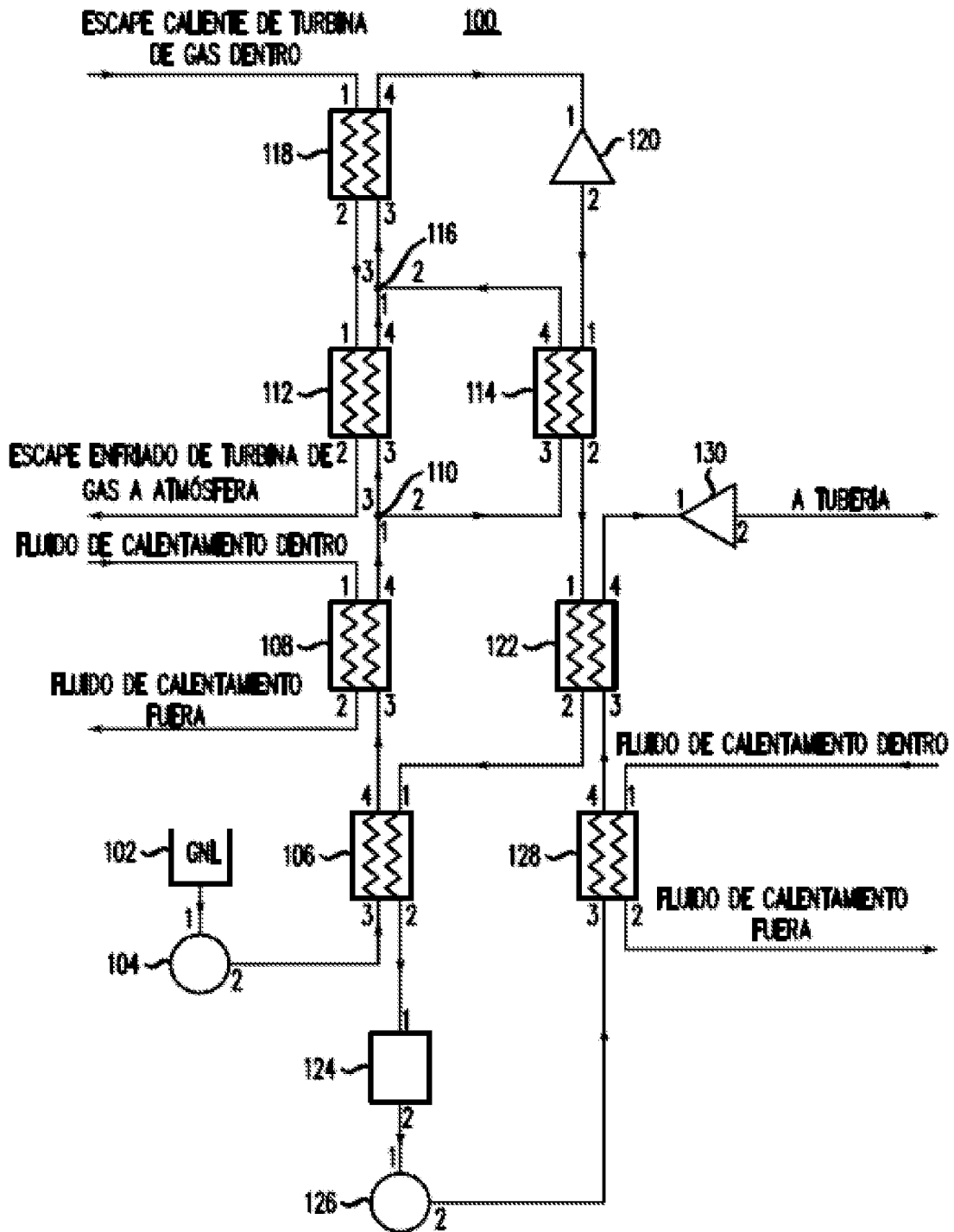


FIG. 2

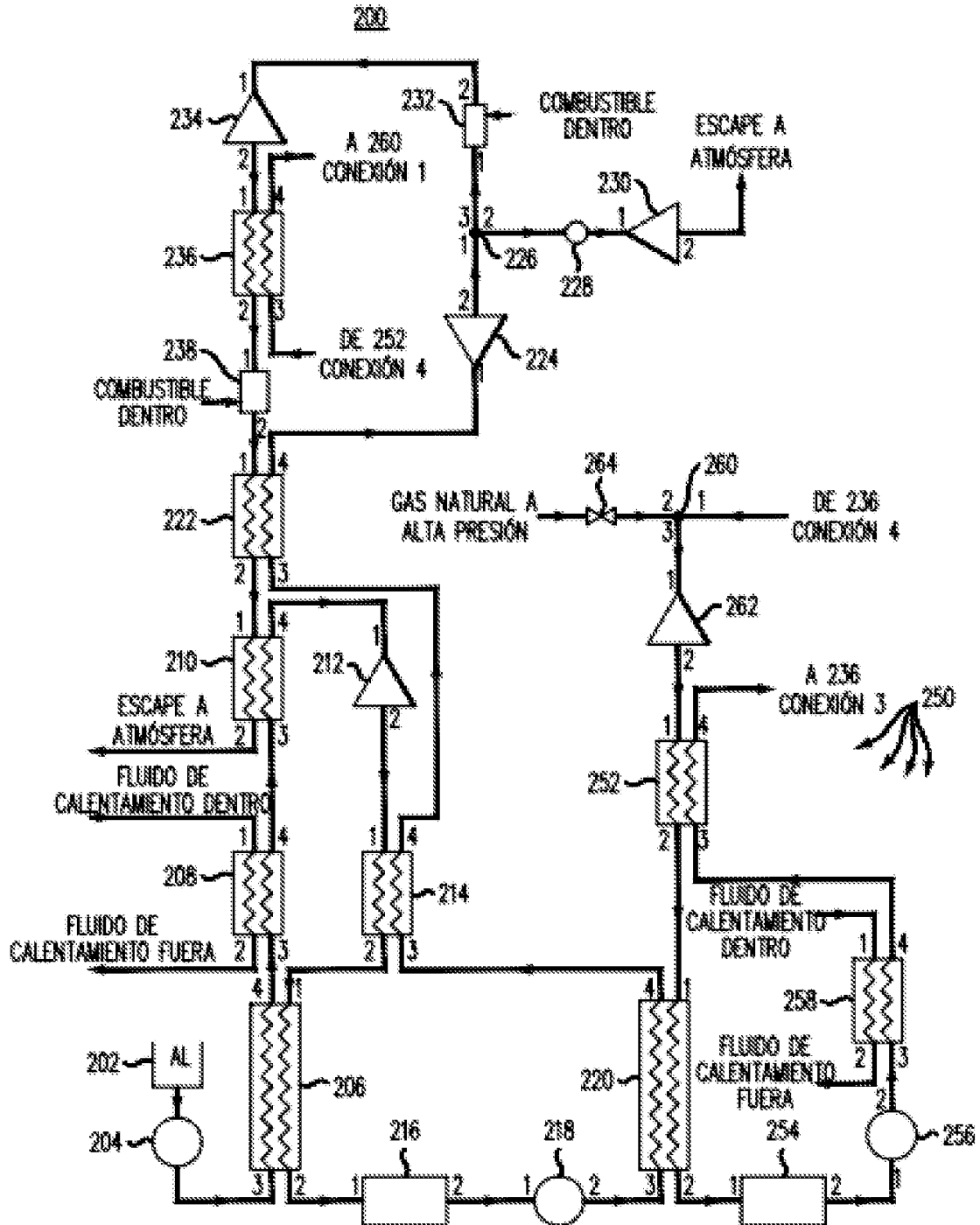
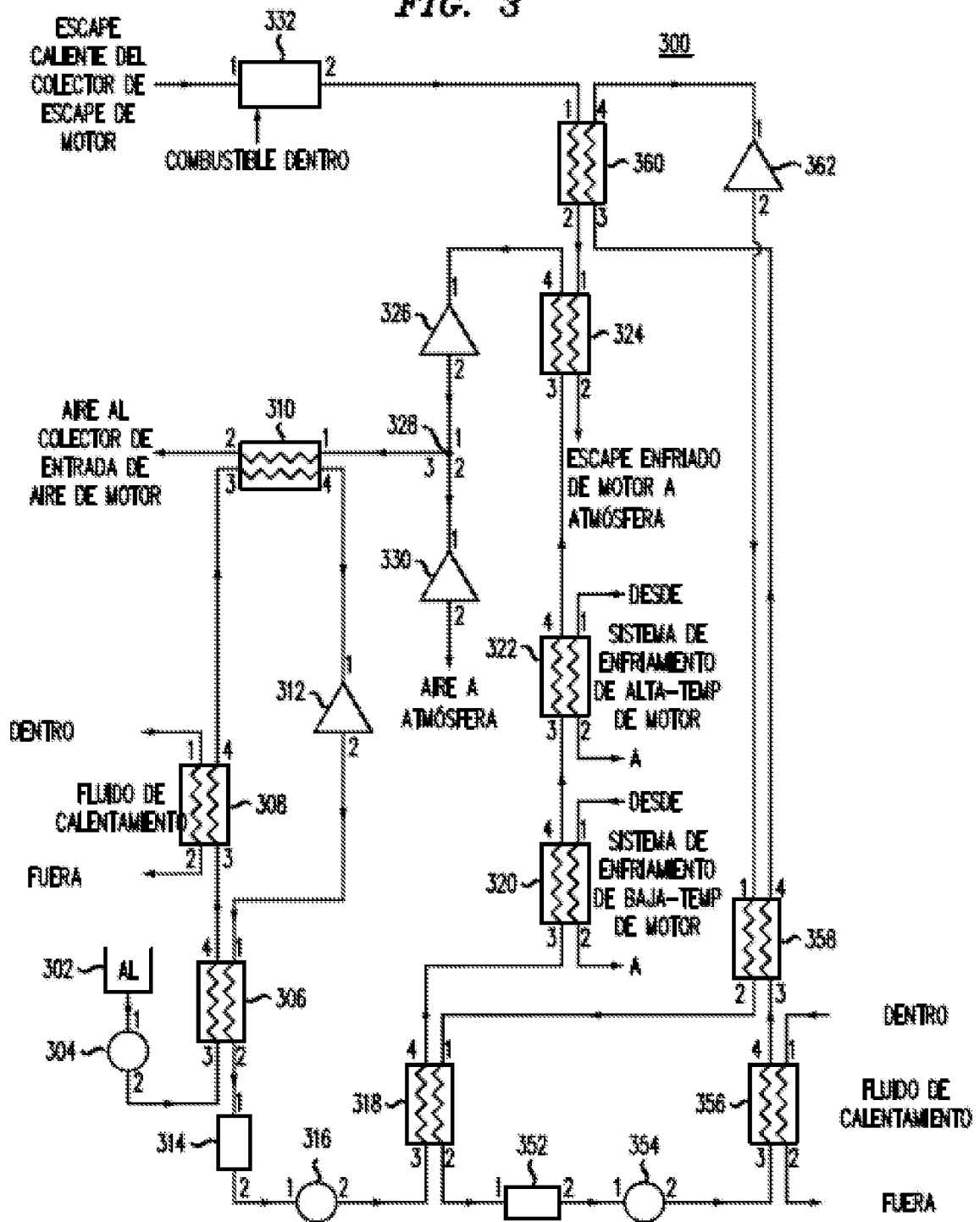


FIG. 3



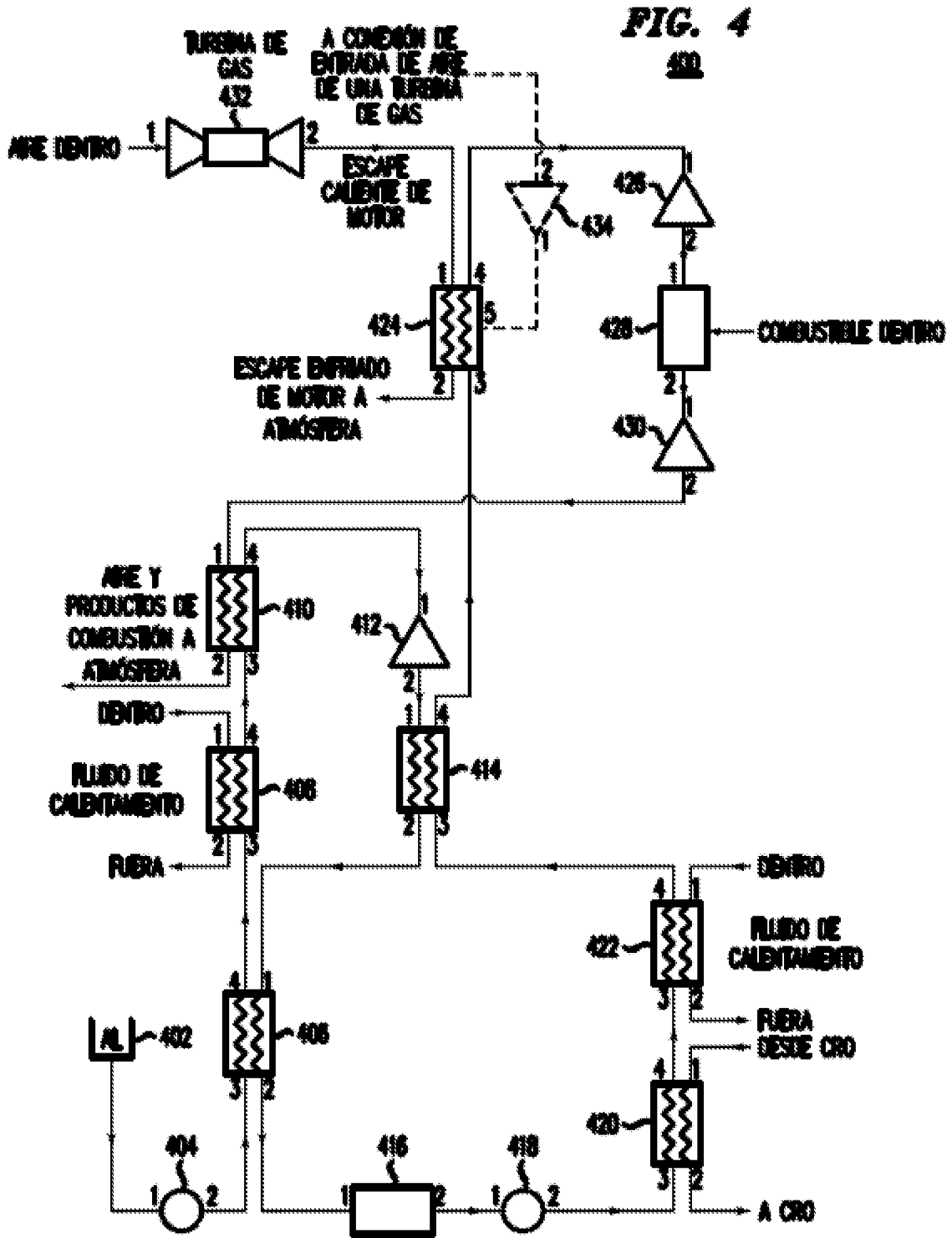


FIG. 4A

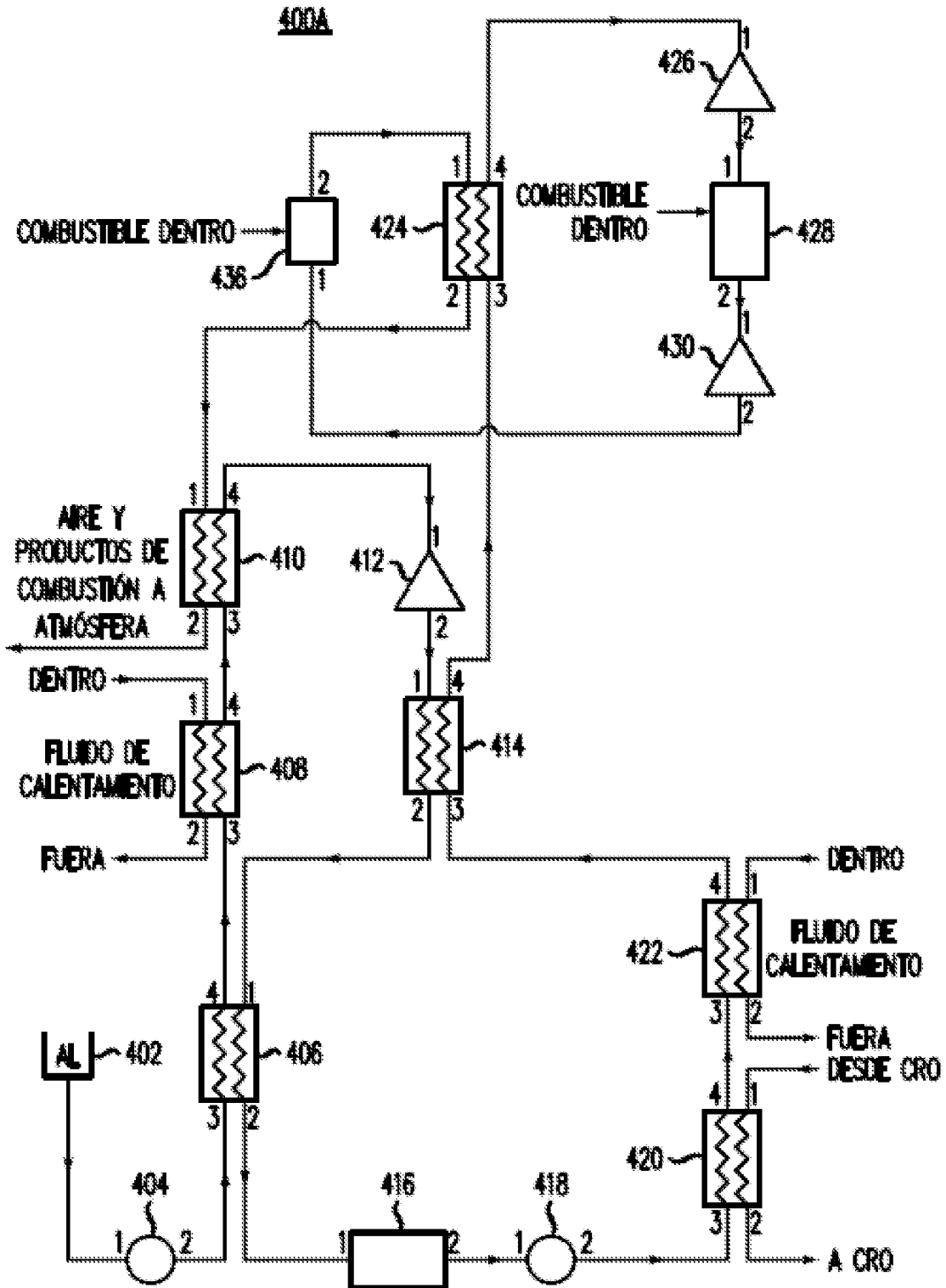


FIG. 5

