

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 736 963**

21 Número de solicitud: 201800160

51 Int. Cl.:

**F25J 1/02** (2006.01)

**F25J 1/00** (2006.01)

**F01K 23/02** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**03.07.2018**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**09.01.2020**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDADE DA CORUÑA (100.0%)  
OTRI-Edificio de Servicios Centrales de  
Investigación. Campus de Elviña s/n  
15071 A CORUÑA ES**

72 Inventor/es:

**BLANCO MANTIÑAN, Daniel;  
ROMERO GÓMEZ, Javier;  
ROMERO GÓMEZ, Manuel y  
BAALIÑA INSUA, Álvaro**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

54 Título: **Planta de compresión para instalaciones de separación de aire con conversión de energía residual, en potencia eléctrica y refrigeración mediante ciclo de absorción**

57 Resumen:

En la presente invención denominada "planta de compresión para instalaciones de separación de aire con conversión de energía residual en potencia eléctrica y refrigeración mediante ciclo de absorción" se presenta la disposición de un ciclo APC integrado en un proceso ASU. Se aprovecha el calor residual de varios procesos termodinámicos del proceso ASU principal en el ciclo de absorción con objeto de obtener energía eléctrica y capacidad de refrigeración.

Dentro del ciclo APC se establece una rama de generación de potencia eléctrica mediante turbina/generador y otra de generación de energía fría o refrigeración. Es posible variar la cantidad de fluido de trabajo que se envía a cada rama de forma que la operación del ciclo APC priorice la generación eléctrica o la refrigeración. La energía eléctrica y el frío industrial generado se emplean con el objeto de reducir el consumo específico de la planta ASU.

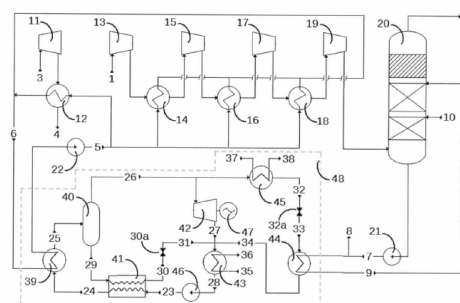


FIGURA 3

ES 2 736 963 A1

**DESCRIPCIÓN**

**PLANTA DE COMPRESIÓN PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE  
CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y  
REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN**

5

**CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION**

La presente invención pertenece al campo técnico de los procesos de separación de aire del tipo ASU (Air Separation Unit). Una ASU tipo involucra, entre otros, procesos de compresión y enfriamiento de los que resulta energía residual no aprovechada.

Este invento se basa en el aprovechamiento de energía residual (Waste heat o Low Grade Thermal Energy) mediante su conversión en energía eléctrica y capacidad de generación de refrigeración mediante un ciclo termodinámico de absorción, APC (Absorption Power Cycle), en el que se emplean fluidos de trabajo multi-componente como las disoluciones Li-Br, Li-Cl o Ca-Cl, entre otros, caracterizadas por su relativamente baja, múltiple y variable temperatura de ebullición.

**OBJETIVO DE LA INVENCION**

20

El objetivo de la presente invención denominada "PLANTA DE COMPRESIÓN PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN" es la reducción del consumo específico en las unidades de separación de aire criogénicas. El consumo específico de una ASU, se define como la energía consumida necesaria para generar cada unidad de producto final (gases industriales de alta pureza).

La reducción del consumo específico obedece al aprovechamiento de la energía térmica residual en los procesos de separación de aire tipo ASU y a la integración de un ciclo de potencia por absorción operando con un fluido de relativamente baja temperatura de ebullición tal como una disolución de Litio-Bromuro (LiBr). El APC permite la conversión de energía térmica residual a eléctrica vía energía mecánica mediante su rama de potencia y la conversión simultánea de energía térmica residual en producción frigorífica mediante su rama de refrigeración, por lo que se le califica aquí como dual. De este modo, la rama de potencia aprovecha la cualidad del vapor

para generar potencia eléctrica a través de un conjunto turbina-alternador mientras que la rama de refrigeración disminuye la temperatura del agua de refrigeración (en adelante Chilled Cooling Water o CCW), la cual se emplea en diversos puntos de la ASU para mejorar termodinámicamente diversos procesos y reducir, de esta forma, el consumo específico.

### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Las ASUs (plural de ASU), se entienden aquí como aquellas cuyos procesos se desarrollan a temperaturas criogénicas y que obtienen como producto final diversos gases constitutivos de la atmósfera de manera segregada. Son considerados criogénicos, orientativamente, los procesos que llegan a desarrollarse a temperaturas inferiores al rango de -100 a -150 °C.

Las plantas de destilación de aire criogénicas tienen muchos elementos comunes y típicos aún dentro de distintos modelos o tipos. Ejemplos de referencias históricas de estos procesos y que pueden ser aclaratorios en este invento son, entre otros, US2048076A (Process for separating low boiling gas mixtures), US3127260A (separation of air into nitrogen, oxygen and argon), US3216206A (Low temperature distillation of normally gaseous substances), US3261168A (Separation of oxygen from the air), US3327488 (Refrigeration system for gas liquefaction), US4817393A (Companded total condensation lox-boil air distillation) donde se emplea el término "companded" como referencia al proceso realizado por un "compander", EP0321163A2 (Separating argon/oxygen mixtures) donde se cita el "Waste Gas", EP0341854A1 (Air separation process using packed columns for oxygen and argon recovery), US3358460A (Nitrogen liquefaction with plural work expansion of feed as refrigerant) donde se describe un sistema de licuación de nitrógeno y en el que se emplea el término "make-up" para el gas de procedente del compresor homónimo, de manera que precede al compresor principal del sistema de licuación o "recycle", EP0717249A2 (Air Separation), US4746343A (Method and apparatus for gas separation), US4883518A (Process for air fractionation by low-temperature rectification), US6116027A (Supplemental air supply for an air separation system) donde se habla de la importancia de la compresión inicial en las ASU y se contribuye con un método de suplementario de suministro de aire.

35

En las plantas ASU se emplea como materias primas principales, pero no necesariamente exclusivas, el aire y la energía eléctrica. Además, en todas ellas existen procesos termodinámicos de elevado consumo de energía específica como la compresión inicial del aire hasta la presión adecuada para el proceso de destilación.

5

El principal sumidero de energía de una ASU típica es el compresor principal de aire, Main Air Compressor o MAC, situado en la sección inicial llamada "front-end" según el arte que caracteriza estas plantas. Las ASU de destilación de aire instaladas en la actualidad, en general, no recuperan el calor residual fruto de procesos termodinámicos de alto consumo energético, tales como la compresión principal e inicial del aire en el MAC o en compresores de línea auxiliares (compresores de gases industriales de alta pureza como producto final, típicamente -pero no limitante- oxígeno y nitrógeno gaseosos). Se denomina GOX al oxígeno gaseoso y GAN al nitrógeno gaseoso.

10

15

Además, algunas plantas de separación de aire criogénicas están dotadas de maquinaria de refrigeración mecánico-eléctrica con objeto de enfriar agua de refrigeración mediante un ciclo por compresión-laminación de vapor clásico. Se establece aquí la diferencia entre el agua de refrigeración habitual (Cooling Water o CW) y el agua de refrigeración enfriada (CCW). La CW habitualmente agua dulce o salada, es el fluido empleado en entornos industriales que se utiliza para refrigerar procesos industriales y que, en general, se enfría hasta temperaturas próximas a la atmosférica mediante torres de refrigeración de tiro natural o forzado. El agua de refrigeración enfriada (CCW) obtenida en el APC se envía al enfriador por contacto directo tras la última etapa de compresión del MAC conocido en el arte técnico que caracteriza estas instalaciones como Direct Contact After-Cooler (DCAC) y que hace las veces de enfriador de última etapa del MAC. En el enfriador por contacto directo las corrientes de CW y CCW entran en contacto directo con el aire, a contracorriente, con objeto de refrigerarlo y realizar cierto lavado de partículas y componentes indeseados.

20

25

30

En otras ASUs, se emplea una corriente de gas compuesto mayoritariamente por nitrógeno, procedente de la sección de destilación, pero que no cumple las especificaciones para enviarla a línea como producto final de alta pureza (conocido en el arte del que se trata como "Waste Gas") para obtener CCW en una torre de

35

enfriamiento adecuada (conocido en el arte en el que se trata este tipo de instalaciones como "Waste Chilling Tower". El CCW obtenido así, también se envía al DCAC. El enfriamiento que se produce en la "Waste Chilling Tower" también puede ser sustituido, total o parcialmente, por la capacidad de refrigeración de este invento.

5

En el estado actual de la tecnología todavía no existe un diseño de planta industrial prevista para la operación conjunta de los procesos de compresión de una ASU con el sistema de generación de potencia eléctrica y frío industrial mediante APC. Muchos de estos procesos criogénicos se caracterizan por tener como sumidero energético el agua de refrigeración u otro fluido de evacuación energética cuya característica es disponer de una temperatura relativa baja. La energía residual de baja calidad se considera caracterizada por encontrarse a temperaturas de entre los 60 a los 140°C como rango orientativo, pero no limitativo. Además, en este invento, se especifican diversos usos termodinámicamente beneficiosos, en términos de consumo energético, de la CCW generada dentro del proceso ASU.

10  
15

En consecuencia a todo lo anterior, no se conocen plantas como la que se detalla en la presente invención, donde se involucran procesos de compresión y enfriamiento de aire y sus componentes, con conversión de energía térmica residual en energía eléctrica y refrigeración mediante un sistema dual de potencia-refrigeración por absorción en combinación en un entorno de destilación criogénica de aire.

20

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

En esta invención se presenta la disposición de una planta térmica que integra un ciclo APC de absorción en un proceso principal ASU para aprovechamiento de energía residual y generación de frío industrial.

25

Como el mayor sumidero de energía en una ASU es el MAC, una importante fuente de energía residual son sus intercambiadores refrigeradores inter-etapas. En este invento, dicha energía es recuperada mediante un lazo de refrigeración intermedio que, tras calentarse, sirve como fluido caliente en el evaporador del APC. Existen varias fuentes de energía residual de importancia relativa, además del MAC y en los procesos de tipo ASU, que son también tenidas en cuenta. También se contemplan los posibles usos de la CCW generada en el APC. El invento se caracteriza por

30

35

comprender,

a) Un ciclo de potencia por absorción o Absorption Power Cycle (APC), formado, no limitativamente, por:

5

- Una sección de generación de potencia eléctrica por medio de un conjunto turbina/alternador.

- Una sección de generación de frío industrial formada por un intercambiador-condensador y un intercambiador- evaporador.

10

- Una sección común con un intercambiador-absorbedor, bomba, intercambiador-recuperador, intercambiador- evaporador, tanque de separación de fase.

b) Un compresor de aire que, formando parte de este invento en conjunto con el sistema APC, realiza la función de MAC integrado en una instalación ASU. Está caracterizado por comprender, entre otros y en función de las necesidades de la planta ASU, por los componentes siguientes:

15

- Un sistema motriz del tipo motor eléctrico o un motor alternativo de combustión interna o una turbina de vapor o una turbina de gas. En el caso de la turbina de vapor, también se incluye el condensador del vapor correspondiente.

20

- Un número "n" de etapas compresión, siendo "n" las etapas necesarias y no limitativas para mantener el caudal, temperaturas y relación de compresión adecuadas en el arte que caracteriza los procesos termodinámicos de compresión en el estado actual de la técnica.

25

- Un número "n-1" de intercambiadores-refrigeradores interetapas.

- Una torre de contacto directo aire-agua que realiza la función de enfriador tras la última etapa de compresión con inyección de CW o CCW o ambas.

30

c) Un lazo de fluido refrigerador que adquiere energía térmica en todas las fuentes de energía residual especificadas en este invento y la entrega en el intercambiador- evaporador de la sección común del ciclo APC.

35 Es posible variar la cantidad de fluido de trabajo que se envía a cada rama de forma

que la operación del ciclo APC priorice la generación eléctrica, la generación de frío industrial o una combinación de ambas con el porcentaje deseado de cada una. La posibilidad de generar frío industrial en el ciclo APC encaja con las necesidades de refrigeración específica en el DCAC empleado en muchas plantas ASU. Esta capacidad no se limita al uso en este elemento y puede ser empleado en la mejora termodinámica de procesos en otras zonas de una ASU típica.

Este invento se plantea empleando como fluido de trabajo para el APC una disolución LiBr (pero no limitativamente). Es posible variar la concentración del fluido para adaptarla a las condiciones de operación más adecuadas. Las condiciones de operación más adecuadas con respecto a la concentración del LiBr son aquellas que permiten recuperar la mayor cantidad de energía residual posible. Además, el uso de fluidos de trabajo multi-componente permite que, para una composición y presión determinadas, el punto de ebullición-condensación del fluido no sea fijo, sino que varíe dentro de un rango. La consecuencia de ello es que, en los intercambiadores de calor, en especial en evaporadores y condensadores, las temperaturas de aproximación "pinch points" sean más próximas y duraderas en el proceso de transferencia de calor.

20

### **DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

En esta sección se incluyen, a modo ilustrativo y no limitativo, los componentes de las figuras 1, 2, 3, 4 y 5 para mostrar y facilitar la comprensión de la invención.

25

Figura 1. Sistema MAC de ASU con post-enfriador DCAC que emplea CW y CCW mediante enfriador convencional de compresión-laminación. Figura de arte previo.

30

Figura 2. Sistema MAC de ASU con post-enfriador DCAC que emplea CW y CCW enfriada mediante "Waste Chilling Tower". Figura de arte previo.

35

Figura 3. "PLANTA DE COMPRESIÓN PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN".

Figura 4. "PLANTA DE COMPRESIÓN PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN" añadidas diversas fuentes de energía residual y sumideros de frío industrial.

5

Figura 5. Representación parcial de una ASU genérica, de interés para compresión del presente invento. Figura de arte previo.

Los números referenciados en la figura 1 (Fig. 1) se identifican como sigue:

10

- (1) Aire atmosférico en la espiración del MAC (Main Air Compressor).
- (2) Aire comprimido y enfriado tras el post-enfriador DCAC.
- (3) Entrada de vapor de agua a la turbina motriz del MAC.
- (4) Agua condensada tras paso por el condensador de la turbina del MAC.
- 15 (5) Agua de refrigeración (CW) que se dirige a refrigerar fuentes de calor residual.
- (6) Retorno del agua de refrigeración desde las fuentes residuales de calor.
- (7) Conjunto torre de refrigeración y bomba de agua de refrigeración.
- (8) Agua de refrigeración tras su paso por el DCAC.
- (9) Agua de refrigeración enfriada CCW procedente del enfriador mecánico-  
20 eléctrico.
- (10) Agua de refrigeración (CW) de la torre de refrigeración.
- (11) Turbina motriz del MAC.
- (12) Condensador de la turbina motriz del MAC.
- (13) Primera etapa del MAC.
- 25 (14) Intercambiador refrigerador de la primera etapa del MAC.
- (15) Segunda etapa del MAC.
- (16) Intercambiador refrigerador de la segunda etapa del MAC.
- (17) Tercera etapa del MAC.
- (18) Intercambiador refrigerador de la tercera etapa del MAC.
- 30 (19) Cuarta etapa del MAC.
- (20) DCAC (Direct Contact Aftercooler), post-enfriador de contacto directo aire-agua.
- (21) Bomba de retorno de CW a la torre de refrigeración desde el DCAC.

35 Números referenciados en la figura 2 (Fig. 2), no coincidentes con los de la figura 1,

se identifican como sigue:

- (9) Agua de refrigeración enfriada CCW procedente de la "Waste Chilling Tower".
  - (22) Torre de enfriamiento por "Waste gas" o "Waste Chilling Tower".
  - 5 (23) "Waste gas" caliente a la salida de la "Waste Chilling Tower".
  - (24) CW hacia la "Waste Chilling Tower".
  - (25) "Waste Gas" procedente de la columna de destilación criogénica hacia la "Waste Chilling Tower".
- 10 La numeración referenciada en la figura 3 se identifica como sigue:
- (1) Aire atmosférico en la aspiración del MAC (Main Air Compressor).
  - (2) Aire comprimido y enfriado tras el DCAC.
  - (3) Entrada de vapor de agua a la turbina motriz del MAC.
  - 15 (4) Agua condensada tras paso por el condensador de la turbina del MAC.
  - (5) Aguade refrigeración (CW) que se dirige a refrigerar fuentes de calor residual.
  - (6) Retorno del agua de refrigeración hacia el evaporador del APC.
  - (7) CW desde el DCAC hacia el evaporador del APC y/o torre de refrigeración.
  - (8) Agua de refrigeración caliente hacia torre de refrigeración (no representada).
  - 20 (9) Agua de refrigeración enfriada (CCW) procedente del evaporador del APC.
  - (10) Agua de refrigeración (CW) de la torre de refrigeración al DCAC.
  - (11) Turbina motriz del MAC.
  - (12) Condensador de la turbina motriz del MAC.
  - (13) Primera etapa del MAC.
  - 25 (14) Intercambiador refrigerador de la primera etapa del MAC.
  - (15) Segunda etapa del MAC.
  - (16) Intercambiador refrigerador de la segunda etapa del MAC.
  - (17) Tercera etapa del MAC.
  - (18) Intercambiador refrigerador de la tercera etapa del MAC.
  - 30 (19) Cuarta etapa del MAC.
  - (20) DCAC (Direct Contact Aftercooler), post-enfriador de contacto directo aire-agua.
  - (21) Bomba auxiliar de CW a la salida del DCAC
  - (22) Bomba de CW a la salida del evaporador del APC hacia fuentes de calor.
  - 35 (23) Disolución LiBr hacia recuperador de calor del APC

- (24) Disolución LiBr hacia el evaporador del APC.
- (25) Disolución LiBr hacia el separador de fase del ciclo APC.
- (26) Vapor de disolución de LiBr hacia ramas de potencia y de frío del APC.
- (27) Vapor de disolución de LiBr en exhaustación de turbina hacia absorbedor del  
5 APC.
- (28) Disolución LiBr tras el absorbedor del APC hacia la bomba de circulación del APC.
- (29) Disolución LiBr desde el separador de fase al recuperador de calor del APC.
- (30) Disolución LiBr hacia válvula de laminación.
- 10 (30a) Válvula de laminación a entalpía constante.
- (31) Disolución LiBr desde válvula de laminación hacia exhaustación de turbina del APC.
- (32) Vapor de disolución de LiBr a válvula de laminación del APC.
- (32a) Válvula de laminación a entalpía constante.
- 15 (33) Disolución LiBr desde válvula de laminación hacia Evaporador del APC.
- (34) Vapor de LiBr hacia exhaustación de la turbina del APC.
- (35) CW al absorbedor del APC.
- (36) CW desde el absorbedor del APC hacia la torre de refrigeración (no representada).
- 20 (37) CW al condensador del APC.
- (38) CW del condensador del APC hacia la torre de refrigeración (no representada).
- (39) Evaporador del APC.
- (40) Separador de fase del APC.
- (41) Recuperador de calor del APC.
- 25 (42) Turbina del APC.
- (43) Absorbedor del APC.
- (44) Evaporador del APC.
- (45) Condensador del APC.
- (46) Bomba de circulación del APC.
- 30 (47) Generador eléctrico del ciclo APC.
- (48) Sección del equipo APC.

Explicación de la numeración de la figura 4 no coincidentes con los de la figura 3:

- 35 (5a) CW que se dirige a recibir calor residual (intercambiadores refrigeradores

inter-etapas de compresores de línea de GAN y GOX).

(5b) CW que se dirige a recibir calor residual (Motor alternativo o eléctrico del MAC).

5 (5c) CW que se dirige a recibir calor residual (Sistema de licuación de GAN, compresores "make-up" y "recycle" o "reciclo").

(5d) CW que se dirige a recibir calor residual (Compresor sistema Brayton inverso).

(6a) CW desde fuente de calor residual (Compresores de GAN y GOX).

(6b) CW desde fuente de calor residual (Motor alternativo o eléctrico del MAC).

10 (6c) CW desde fuente de calor residual (Sistema de licuación de GAN).

(6d) CW desde fuente de calor residual (Compresor sistema Brayton inverso).

(9a) CCW hacia aspiración del MAC.

(9b) CCW hacia refrigeración del condensador del MAC.

(9c) CCW hacia la torre de refrigeración de agua (CW).

15 (49) Conjunto de posibles corrientes de CW que se dirigen a aprovechar fuentes de calor residual.

(50) Conjunto de posibles corrientes de CCW que se dirigen a enfriar procesos en la planta ASU.

20 Explicación de la numeración de la figura 5:

(51) Conjunto compresor-turbina conocido como "compander".

(52) Compresor final de línea de GOX.

(53) Compresor final de línea de GAN.

25 (54) Conjunto de destilación.

(55) MAC de la sección de la ASU genérica representada.

### **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

30 En el caso ejemplo de la figura 1 (Fig. 1), se representa la zona de compresión principal e inicial de una instalación ASU, sin aplicar la mejora que supone este invento. La figura no es limitativa. Cada planta ASU tiene su propia configuración con ligeros cambios respecto a la figura 1, la cual representa la zona de compresión principal inicial de aire. Uno de los sistemas de propulsión del MAC más comunes en  
35 las ASUs es mediante un motor eléctrico, aunque no es exclusivo. El número de

etapas de compresión también varía. Sin embargo, el uso de un enfriador de contacto tipo DCAC después de la última etapa del MAC está difundido casi en la totalidad de este tipo de instalaciones criogénicas.

5 En esta figura1 (caso-escenario no limitativo), el aire atmosférico es aspirado en el punto (1) por la primera etapa del compresor (13). Como consecuencia de la compresión, el aire ve elevada su temperatura y presión. Para disminuir dicha temperatura, se dispone un intercambiador refrigerador inter-etapas (14). A la salida de ese intercambiador se disponen la segunda (15) y tercera (17) etapas de compresión y con sus correspondientes intercambiadores refrigeradores interetapas 10 (16) y (18). La cuarta etapa de compresión (19) dispone de un DCAC (20). El aire sale del DCAC y se dirige al resto del proceso ASU (2).

Una corriente de agua de refrigeración (CW) (5) procedente de la torre de refrigeración (7), se dirige a la zona de compresión. La CW actúa en los 15 intercambiadores refrigeradores inter-etapas, así como en el condensador (12) de la turbina motriz (11) del MAC y retorna a la torre de refrigeración (6). La turbina citada se mueve por medio de vapor de agua. El vapor de exhaustación de la turbina (3) es condesado en el condensador (12) saliendo en estado líquido (4). También hay una corriente de CW entrante (10) en el DCAC que retorna a la torre de refrigeración de la ASU bombeada por la bomba (21). Además, hay una corriente (9) de agua de refrigeración enfriada (CCW), con temperatura menor a la del CW, entrante en el DCAC. El CCW utiliza agua, habitualmente de la torre de refrigeración (CW) de la ASU, que se enfría o bien con refrigeradores de compresión-expansión eléctricos 20 tradicionales o bien con una corriente auxiliar de gas del proceso ASU tal y como se explica en la figura 2.

La figura 2 representa otro caso-escenario, no limitativo, similar al de la figura 1 pero con el añadido de la "Waste Chilling Tower". En muchas instalaciones ASU, se 30 emplea una corriente de gas de composición mayoritaria nitrógeno, procedente de la sección de destilación y pasante por el MHE o "Main Heat Exchanger" como se le conoce en el arte que caracteriza estas instalaciones, pero que no cumple las especificaciones para enviarla a línea como producto final (conocido en el arte en el que se trata estas instalaciones como "Waste Gas" para obtener CCW en la "Waste Chilling Tower"). El enfriamiento que se produce en esta torre es resultado del 35

contacto directo entre el "Waste Gas" y el CW. Por lo tanto, la "Waste Chilling Tower" sustituye a los enfriadores eléctricos para la obtención de CCW en muchas instalaciones ASU. El enfriamiento que produce esta torre puede ser sustituido, total o parcialmente, por la capacidad de refrigeración de este invento, liberando total o parcialmente el potencial de refrigeración de la corriente "Waste gas". El elemento (9) de esta figura es CCW que ha sido enfriada en la "Waste Chilling Tower" (22) mediante "Waste Gas" (25) por contacto directo. La corriente (24) es CW entrante a (22) y (23) el "Waste Gas" caliente tras enfriar la CW y saliente de la "Waste Chilling Tower".

10

La figura 3 es la PLANTA DE COMPRESIÓN PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN. Las fuentes de calor residual de las figuras 1 y 2 son los intercambiadores inter-etapas del MAC y el condensador de su turbina motriz. El aire atmosférico es aspirado en el punto (1) por la primera etapa del compresor (13). Como consecuencia de la compresión, el aire ve elevada su temperatura y presión. Para disminuir dicha temperatura, se dispone un intercambiador refrigerador inter-etapas (14). A la salida de ese intercambiador se disponen la segunda (15) y tercera (17) etapas de compresión y sus correspondientes intercambiadores refrigeradores inter-etapas (16) y (18). La cuarta etapa de compresión (19) dispone de un DCAC (20). El aire sale del DCAC y se dirige al resto del proceso ASU (2).

15

20

25

30

La bomba de CW (22) envía el agua de refrigeración hacia las fuentes de calor residual (5) en un circuito de transferencia energética tipo lazo, con objeto de ganar calor en el condensador de la turbina del MAC (12) y en los intercambiadores inter-etapas (14), (16) y (18). Posteriormente, la CW retorna (6) hacia el evaporador del APC (39) para ceder este calor. El ciclo APC (48) es un sistema de aprovechamiento de energía residual mediante absorción que genera energía eléctrica y capacidad de refrigeración. En este invento que diseña una planta conjunta de sistemas que emplea una disolución de litio-bromuro (LiBr) como fluido de trabajo en el ciclo APC. Dentro de este ciclo APC (48) mostrado en la figura 3 y con fines explicativos no limitativo, se distingue entre:

35

- a) Sección común formada por elementos (39), (40), (41), (43), (46) y (30a).

- b) Sección de generación potencia formada por los elementos (42) y (47).
- c) Sección de generación de frío industrial formada por los elementos (44), (45) y (32a).

5 La CW caliente que ha adquirido calor en las fuentes de calor residual de la ASU, cede dicha energía en el evaporador (39) del APC. Desde el evaporador el LiBr calentado (25) mediante la energía residual, se dirige a un recipiente separador (40) donde se produce una separación de fase líquida-vapor (parte inferior y superior respectivamente). Parte del vapor (principalmente componentes más volátiles) del  
 10 LiBr (26) se dirige a la rama de potencia del ciclo APC y la otra parte a la rama de refrigeración. La cantidad de LiBr circulada por la rama de potencia o de refrigeración de la APC puede ser variada según las necesidades operativas, de manera que se priorice una, la otra o una combinación de ellas.

15 La rama de potencia aprovecha la cualidad del vapor para generar potencia eléctrica a través de un conjunto turbina (42) - alternador (47). En la turbina existe un proceso de transformación del estado del LiBr caracterizado por una entalpía específica relativamente alta en potencia mecánica y ésta en energía eléctrica en el generador movido por la turbina. En la exhaustación de la turbina (27), el LiBr tiene una entalpía  
 20 específica relativamente baja, pero todavía se caracteriza por ser una mezcla bifásica líquido-vapor. La condensación de esta corriente se produce en el absorbedor del ciclo APC (43), produciéndose el proceso contrario al del evaporador, tanto en términos de cambio de fase como en términos de concentración de los componentes volátiles. El enfriamiento tiene lugar mediante una corriente de CW entrante en el  
 25 absorbedor (35). Una vez condensado, el LiBr (28) es bombeado mediante la bomba (46) del ciclo APC. El LiBr a alta presión (23) se dirige al intercambiador recuperador de calor (41). En este equipo la corriente de LiBr sufre un calentamiento previo al evaporador (39).

30 Desde la parte inferior del separador de fase (40) la corriente de LiBr caliente (29) se dirige al intercambiador recuperador de calor para ceder energía. A la salida del intercambiador recuperador, la corriente LiBr (30) sufre una laminación a entalpía constante mediante la válvula (30a), disminuyendo su temperatura, para dirigirse a la exhaustación de la turbina (27).

35

La rama de refrigeración disminuye la temperatura de agua de refrigeración de manera que pueda ser empleada posteriormente (9) en el enfriador de última etapa o post-enfriador del MAC (20), nominalmente en un enfriador de contacto directo aire-agua de contacto directo (DCAC), en este caso no limitativo, de manera que integra el ciclo APC con la ASU o en cualquiera de los otros sistemas contemplados en la figura 4. El enfriamiento de CW para obtener CCW se realiza en varios pasos. El primer paso es el condensador (45) donde la disolución LiBr se refrigera con CW entrante (37) hasta conseguir el cambio de fase a líquido (32). Esta corriente líquida sufre una laminación a entalpía constante mediante una válvula adecuada a ello (32a), obteniéndose así una corriente de CW enfriada o CCW (33). Esta corriente fría de LiBr absorbe calor de la corriente de CW saliente del DCAC (20) que es impulsada (7) por la bomba correspondiente (21) en el evaporador (44). En función de las necesidades operativas, parte o toda de esta agua de refrigeración puede ser retornada a la torre de refrigeración (8), en vez de al evaporador y retornar al DCAC por la vía (10). La corriente de LiBr que ha absorbido calor en el evaporador (44), se dirige (34) a la exhaustación de la turbina de la rama de potencia (27). En la exhaustación de la turbina se unen tres corrientes, (27), (31) y (34) que, como una misma corriente se dirige en estado licuado (28) a la bomba del sistema (46) tras el paso por el absorbedor (43).

Además de ser posible controlar el paso del LiBr por la rama de potencia y/o de refrigeración del sistema APC, es posible variar la concentración de la solución LiBr en función de las necesidades operativas que, en general pero no limitativamente, busca obtener las condiciones más favorables en criterios termodinámicos para maximizar la recuperación energética, siempre y cuando se evite la cristalización del fluido. La naturaleza de la composición bi-componente del LiBr hace que la condensación o evaporación se produzca como función de la concentración de cada uno de ellos en la mezcla.

En la figura 4, se representa mediante el conjunto (49) las corrientes de CW que se dirigen a aprovechar fuentes de calor residual alternativas a las representadas en la figura 3 y típicas en las instalaciones ASU.

El elemento (5a) hace referencia a la posibilidad de recuperar calor residual del motor eléctrico refrigerado motriz del MAC, cuando éste lleve este tipo de motores

refrigerados como elemento motriz. Otra opción es enviar CW al motor de combustión interna alternativo que mueve el MAC, en el caso que se disponga este tipo de elemento motriz. La opción del motor eléctrico y la del motor de combustión interna, así como la mostrada en la figura 3 o la 4 de turbina de vapor, son excluyentes por lo que, en general, sólo existe una funcionando como elemento motriz del MAC, en una misma planta ASU y al mismo tiempo. El elemento (5b) hace referencia a la posibilidad de calor residual del sistema de refrigeración del compresor de línea de producto final de GOX (oxígeno gaseoso) -número (52) en figura 5- y del compresor de línea de producto final de GAN (nitrógeno gaseoso) - número (53) en figura 5- que habitualmente equipan a las plantas ASU. En términos generales, el aprovechamiento es similar al de los enfriadores inter-etapas del MAC. El elemento (5c) hace referencia a la posibilidad de recuperar calor residual del compresor "make-up" y del compresor "reciclo" (tal y como se los conoce en el arte que caracteriza estas plantas criogénicas) del sistema de licuación de GAN que equipa a muchas de las plantas ASU con este sistema de obtención de LIN (nitrógeno líquido). En términos generales, el aprovechamiento es similar al de los enfriadores inter-etapas del MAC.

El elemento (5d) indica la posibilidad de recuperar el calor residual del CW que se envía a la refrigeración del aire tras el compresor del ciclo de Brayton abierto e inverso en el conjunto compresor-turbina (conocido comúnmente como "compander" en el arte que caracteriza estas instalaciones) y que se emplea con asiduidad en las plantas ASU previa entrada del aire a la columna de destilación criogénica de baja presión (LPC). El "compander" está representado en la figura 5 con el número (51). Como existe un intercambio de calor tras el compresor con el MHE, se antepone un enfriador con CW para refrigerar en la medida de lo posible el aire tras el compresor y antes del MHE. El MHE es el intercambiador de calor principal en una planta ASU y está representado en la figura 5 sin numeración. Las columnas de destilación de alta presión (HPC) y baja presión (LPC) están representadas de manera simplificada en la figura 5 dentro del conjunto (54).

El aprovechamiento de las fuentes de calor residual sigue una lógica selectiva, es decir, pueden aprovecharse todas, una, ninguna o una combinación a voluntad de ellas para el funcionamiento de este invento, siempre que no sean excluyentes. Téngase en cuenta que tal y como están representadas, el uso de una turbina motriz

en el MAC haría innecesaria la conexión (5a), diseñada para sistemas motrices alternativos. Los elementos (6a), (6b), (6c) y (6d) corresponden a los retornos calientes hacia el evaporador del APC de la CCW previamente enviada desde el conjunto (49). El grupo (50) hace referencia al conjunto de usos que puede tener el  
5 CCW procedente del evaporador (44) del APC. Consta de los elementos (9a), (9b) y (9c).

El elemento (9a) hace referencia a la opción de enviar CCW a la aspiración del MAC, con objeto de enfriar el aire aspirado por él. Por razones termodinámicas obvias,  
10 realizar un enfriamiento previo a la compresión reduce la cantidad de energía necesaria para ello. Esto es especialmente cierto en climas cálidos, donde es interesante el enfriamiento del aire aspirado en el MAC para reducir la energía necesaria para la compresión. Lo anterior es una vía clara para la reducción del consumo específico de la planta ASU. El elemento (9b) hace referencia a la opción  
15 de enviar CCW al condensador de la turbina del MAC, en el caso de ser ese el método de propulsión de este. Enviar CCW en lugar de CW a refrigerar el condensador, disminuye la temperatura de condensación tras la exhaustación de la turbina. Esto resulta en un aumento del salto entálpico ( $\Delta h$ ) en la misma. El aumento del  $\Delta h$  disponible implica que para las mismas necesidades de compresión en el  
20 MAC, el caudal de vapor requerido para dicha compresión disminuya. Esto, por tanto, también conduce a la reducción del consumo específico de la ASU. El elemento (9c) hace referencia a enviar CCW hacia el sistema de retorno a la torre de refrigeración.

Los elementos (7a), (7b) y (7c) corresponden a los retornos calientes, hacia el  
25 evaporador de la rama de frío del APC, de la CCW previamente enviada desde el conjunto (50), siendo la (7c) la aportación desde la torre de refrigeración.

La figura 5 propone un ejemplo, no limitativo y simplificado de disposición del “front-end” de una ASU genérica, donde además se incluyen los compresores finales de  
30 línea de GOX (52) y GAN (53) y parte de la zona de destilación (54). Téngase en cuenta que la configuración puede cambiar de una ASU a otra. Por ejemplo, los compresores de GAN y GOX pueden variar en su número de etapas. Por lo tanto, esta figura debe servir como elemento para mejorar la descripción del invento en su contexto de destilación de aire, pero no limitarla. El “compander” (51) es el conjunto  
35 de compresor/turbina que configura un sistema de refrigeración de Brayton inverso y

abierto, habitualmente empleado en ASUs, y cuyo principal propósito es el de pre-enfriar el aire antes de su entrada en la columna de destilación de baja presión en el ejemplo de esta figura.

5 **DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERENTES DE LA INVENCIÓN**

En coherencia con la descripción del invento con las figuras 3 y 4, se resalta una realización preferente de la invención “PLANTA DE COMPRESIÓN PARA  
10 INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA  
RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE  
ABSORCIÓN” correspondiente a la figura 3.

**REIVINDICACIONES**

1ª PLANTA DE COMPRESIÓN PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE  
5 CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y  
REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN **caracterizada** por  
comprender:

10 a) Un ciclo de potencia por absorción o Absorption Power Cycle (APC), formado, no  
limitativamente, por:

- Una sección de generación de potencia eléctrica por medio de conjunto  
turbina/alternador.
- Una sección de generación de frío industrial formada por un intercambiador-  
15 condensador y un intercambiador-evaporador.
- Una sección común con un intercambiador-absorbedor, bomba,  
intercambiador-recuperador, intercambiador-evaporador, tanque de  
separación de fase.

20 b) Un compresor de aire que, formando parte de este invento en conjunto con el  
sistema APC, realiza la función de MAC integrado en una instalación ASU. Está  
caracterizado por comprender, entre otros y en función de las necesidades de la  
planta ASU, por los componentes siguientes:

- 25 - Un sistema motriz del tipo motor eléctrico o un motor alternativo de  
combustión interna o una turbina de vapor o una turbina de gas. En el caso de  
la turbina de vapor, también se incluye el condensador del vapor  
correspondiente.
- Un número "n" de etapas compresión, siendo "n" las etapas necesarias y no  
30 limitativas para mantener el caudal, temperaturas y relación de compresión  
adecuadas en el arte que caracteriza los procesos termodinámicos de  
compresión en el estado actual de la técnica.
- Un número "n-1" de intercambiadores-refrigeradores interetapas.
- Una torre de contacto directo aire-agua que realiza la función de enfriador  
35 tras la última etapa de compresión con inyección de CW o CCW o ambas.

c) Un lazo de fluido refrigerador que adquiere energía térmica en todas las fuentes de energía residual especificadas en este invento y la entrega en el intercambiador-evaporador de la sección común del ciclo APC.

5

d) Una torre de refrigeración de agua.

2ª El procedimiento de operación de la PLANTA PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN según reivindicación 1ª, **caracterizada** por operar la rama de refrigeración del ciclo APC para generar la mínima CCW necesaria para mantener la temperatura de salida del aire del DCAC de la ASU en el nivel deseado, con ayuda de la CW. La energía residual restante del proceso ASU se emplea para generar energía eléctrica en la rama de potencia del APC.

15

3ª PLANTA DE COMPRESIÓN PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN según cualquier combinación (inclusiva o exclusiva) de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por emplear, además, a discreción y en función de su disponibilidad las siguientes fuentes de energía residual:

20

a. Intercambiadores refrigeradores de los compresores finales de GAN (nitrógeno gaseoso) y GOX (oxígeno gaseoso).

25

b. Intercambiadores refrigeradores de los compresores “make-up” y “reciclo” o “recycle” de los sistemas de licuación de GAN típico de las plantas ASU de manera similar a lo que se hace con los compresores de GAN y GOX de línea del apartado a.

30

c. Intercambiador refrigerador posterior al compresor del sistema de Brayton inverso y abierto previo a la columna de destilación y perteneciente al “componder” o conjunto compresor-turbina típico en las plantas ASU.

4ª PLANTA DE COMPRESIÓN PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y

35

REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN según cualquier combinación (inclusiva o exclusiva) de las reivindicaciones anteriores **caracterizada** por emplear el agua de refrigeración enfriada (CCW) a discreción y en función de las necesidades en los siguientes objetivos:

5

- a. A un sistema de enfriamiento de aire en la aspiración del MAC.
- b. Al condensador de la turbina motriz del MAC, en el caso de existir.
- c. A la torre de refrigeración o fuente del CW correspondiente.

10 5ª PLANTA DE COMPRESIÓN PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN según cualquier combinación (inclusiva o exclusiva) de las reivindicaciones anteriores **caracterizada** por emplear como fluido de trabajo del ciclo APC uno de los siguientes, en lugar del  
15 LiBr:

- a. Solución acuosa de Litio-Cloruro (LiCl).
- b. Solución acuosa de Calcio-Cloruro (CaCl<sub>2</sub>).
- c. Solución agua-amoniaco.
- 20 d. Líquidos iónicos.
- e. Fluidos orgánicos tales como amil-acetato, propano-decano o isobutano-decano en combinación con otros refrigerantes como el dióxido de carbono.

25 6ª PLANTA DE COMPRESIÓN PARA INSTALACIONES DE SEPARACIÓN DE AIRE CON CONVERSIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN POTENCIA ELÉCTRICA Y REFRIGERACIÓN MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN según cualquier combinación (inclusiva o exclusiva) de las reivindicaciones anteriores **caracterizada** por enviar el fluido de trabajo del ciclo APC directamente a las fuentes de calor residual de la ASU como fluido de absorción de energía y en la que, por tanto, los  
30 intercambiadores de calor residual hacen la función de evaporador en el sistema APC.

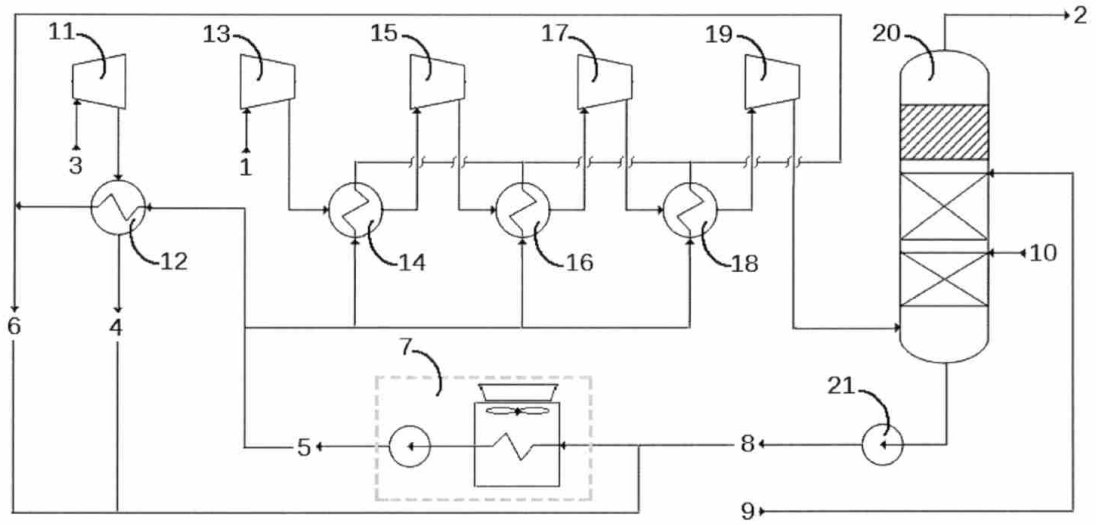


FIGURA 1

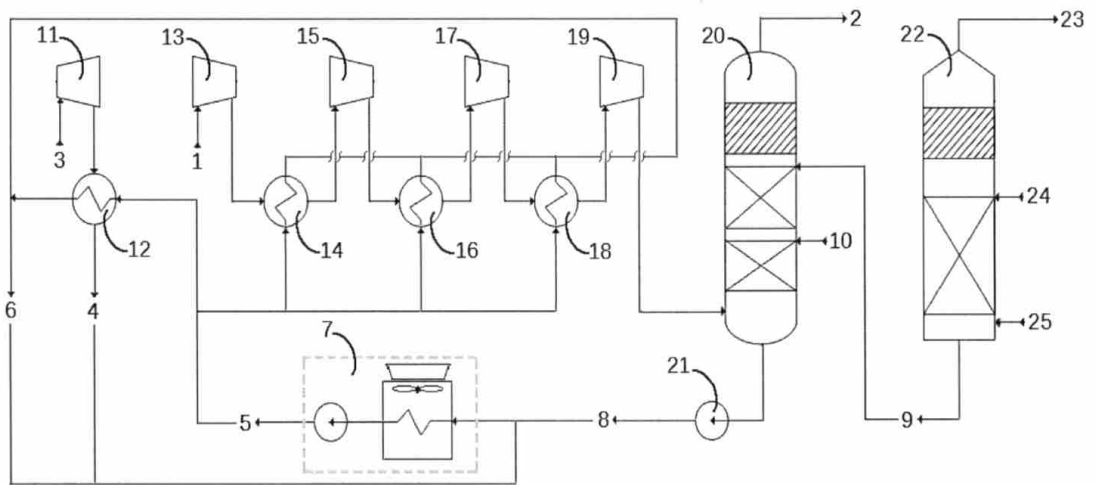


FIGURA 2

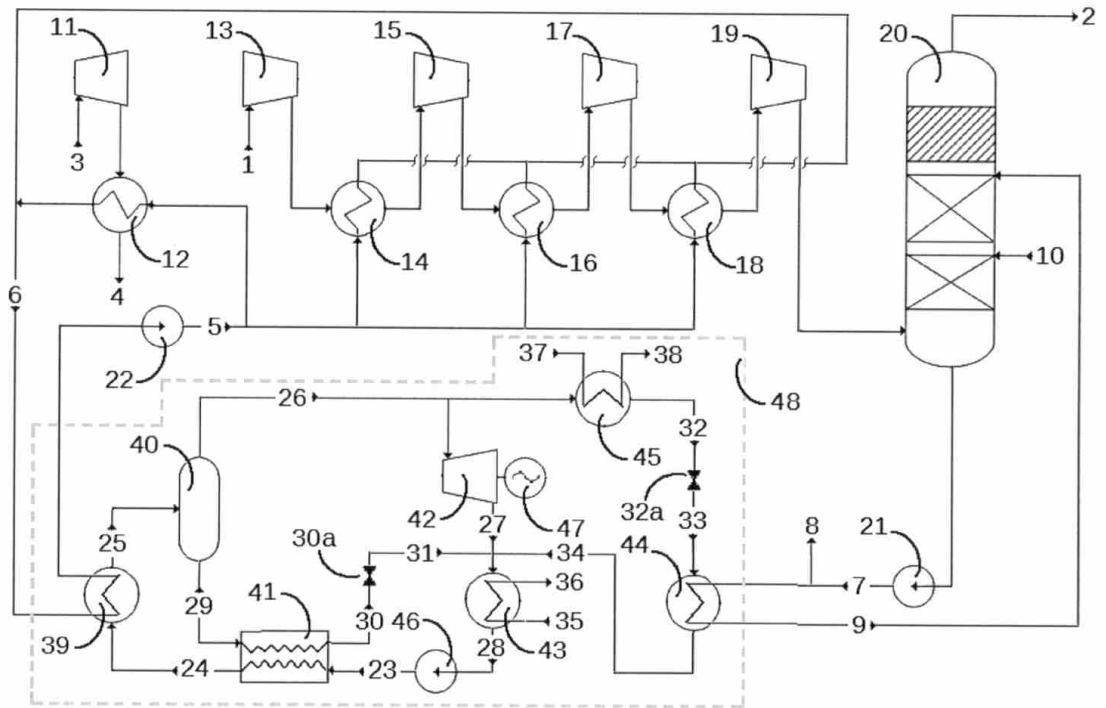


FIGURA 3

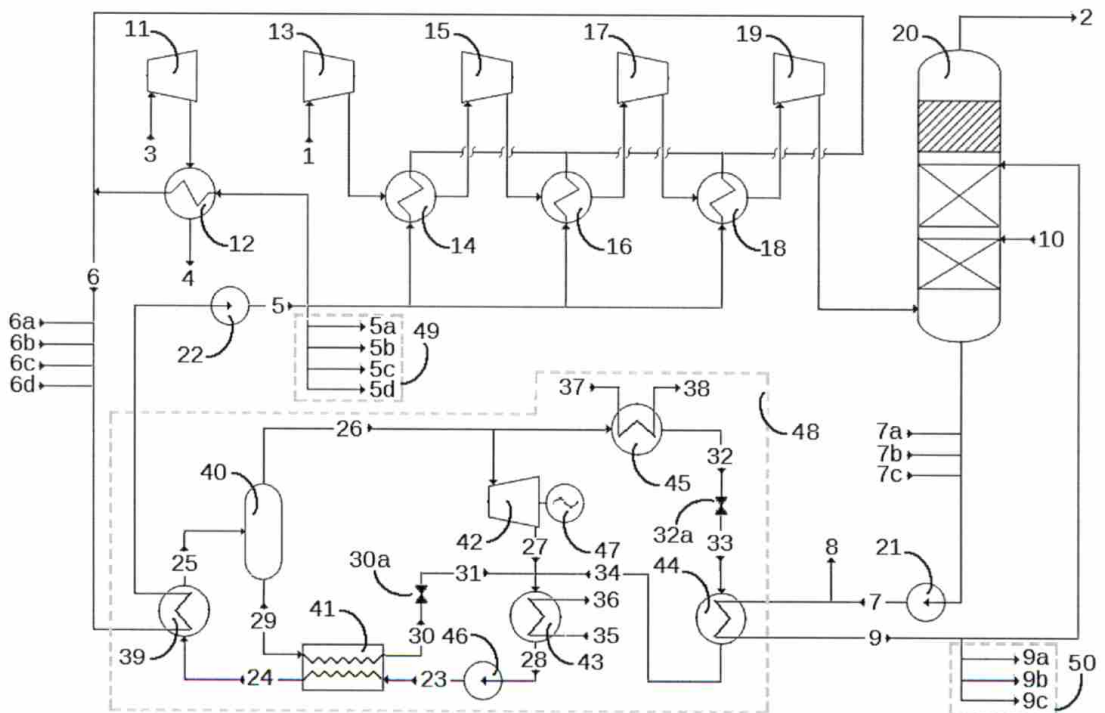


FIGURA 4

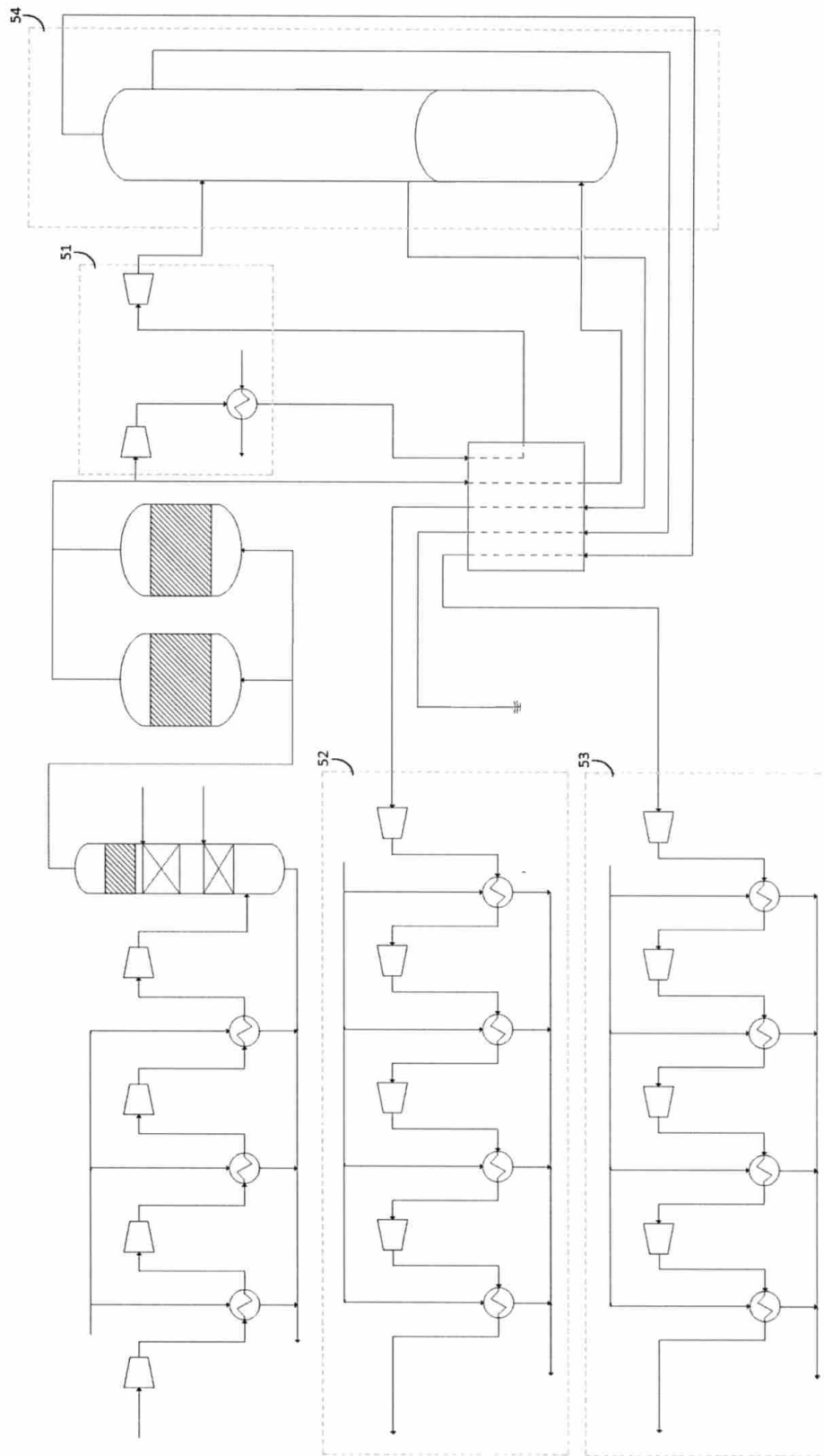


FIGURA 5



- ②① N.º solicitud: 201800160  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 03.07.2018  
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	CN 205876399U U (CHENGDU SHENLENG LIQUEFACTION PLANT CO LTD) 11/01/2017, Todo el documento.	1-6
Y	US 4907405 A (POLIZZOTTO ROBERT J) 13/03/1990, Todo el documento.	1-6
A	CN 106091574 A (CHENGDU SHENLENG LIQUEFACTION PLANT CO LTD) 09/11/2016, resumen; descripción; figuras.	1-6
A	EP 3246644 A1 (AIR PROD & CHEM) 22/11/2017, Todo el documento.	1-6
A	US 2009113928 A1 (VANDOR DAVID et al.) 07/05/2009, Todo el documento.	1-6
A	EP 3001128 A1 (KOREA GAS CORP) 30/03/2016, Todo el documento.	1-6

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
11.03.2019

Examinador  
M. P. Prytz González

Página  
1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**F25J1/02** (2006.01)

**F25J1/00** (2006.01)

**F01K23/02** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F25J, F01K

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, PATENW