

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 723**

21 Número de solicitud: 201200702

51 Int. Cl.:

**F17C 9/04**

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

**29.06.2012**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**03.01.2014**

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:

**FERREIRO GARCÍA , Ramón ;  
ROMERO GÓMEZ , Manuel ;  
DEMIGUEL CATOIRA, Alberto;  
ROMERO GÓMEZ , Javier y  
CARBIA CARRIL, José**

54 Título: **Planta térmica de un ciclo brayton y un ciclo rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado**

57 Resumen:

Planta térmica de un ciclo Brayton y un ciclo Rankine en serie, para instalaciones de gas natural licuado, que permite el aprovechamiento del frío generado por el proceso de regasificación del gas natural licuado para incrementar la eficiencia térmica, mediante la asociación de un ciclo Brayton cerrado regenerativo y un ciclo Rankine regenerativo de vapor, en donde los gases de la combustión ceden primeramente calor al ciclo Brayton y seguidamente ceden calor al ciclo Rankine. El ciclo Brayton puede operar con nitrógeno, helio o aire seco. Se realiza el enfriamiento del fluido de trabajo del ciclo Brayton a la entrada del compresor, por el gas natural licuado al ser regasificado.

El calor rechazado por el sistema de combustión después de haber cedido todo el calor posible a los ciclos Brayton y Rankine, es aprovechado para calentar el aire de combustión.

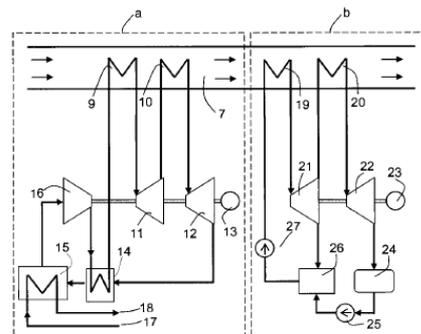


FIGURA 2

## **DESCRIPCIÓN**

### **PLANTA TÉRMICA DE UN CICLO BRAYTON Y UN CICLO RANKINE EN SERIE PARA INSTALACIONES DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO**

#### **OBJETO DE LA INVENCION**

5

El objeto de la presente invención es la recuperación de la energía de refrigeración que se desprende del proceso de regasificación del gas natural licuado, para aumentar la eficiencia térmica y la potencia específica, de una planta térmica novedosa, mediante la asociación en serie de un ciclo Brayton regenerativo cerrado y un ciclo Rankine regenerativo.

10

#### **CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION**

La presente invención pertenece al campo técnico de la generación de energía eléctrica, utilizando como fuente de energía combustibles fósiles, mediante plantas térmicas con ciclo Brayton y Rankine, asociadas a instalaciones de regasificación de gas natural licuado.

15

#### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

El gas natural licuado (LNG) es transportado desde su lugar de explotación hasta las plantas de regasificación, en donde se almacena, se regasifica, y se distribuye a la red de gaseoductos con un previo proceso de odorización. El LNG se almacena en tanques criogénicos, aislados del exterior, a una temperatura aproximada de -160°C y a una presión ligeramente superior a la atmosférica.

20

Los sistemas convencionales de regasificación, para devolver el LNG a su estado natural de gas, son mediante vaporizadores del tipo ORV (Open Rack Vaporizer), que emplean como energía térmica el agua de mar y vaporizadores del tipo SCV (Submerged Combustion Vaporizer), en donde la energía térmica de aporte se consigue con un fluido, que es calentado por los productos de la combustión del gas natural en un quemador especial sumergido en el propio baño del fluido.

25

Durante la regasificación del LNG se está generando 800kW de potencia frigorífica por kg/s de LNG, que se libera totalmente al agua de mar si se emplean vaporizadores ORV o al fluido térmico en el caso de los SCV. Además, ambos sistemas tienen un coste energético para poder realizar el regasificado, bien sea en energía eléctrica para el bombeo del agua de mar, o bien sea en combustible si se hace mediante la combustión sumergida.

Por tanto, existe la necesidad de un método de regasificación más eficiente y que permita recuperar la energía latente y sensible del LNG. Esta energía se puede emplear para enfriar el fluido de trabajo en la aspiración del compresor en un ciclo Brayton, para generación de energía eléctrica.

En la patente número US 20060174627 A1 se presenta un ciclo Brayton abierto, donde se emplea el aire de aspiración del compresor de la turbina de gas para conseguir la vaporización del LNG, al mismo tiempo que bajamos la temperatura del aire, reduciendo así el trabajo de compresión. En documento de la patente US 7398642 B2 se muestra un sistema de regasificación que se basa en la refrigeración intermedia de dos compresores de un ciclo de gas. En la patente US 20030005698 A1, la energía de refrigeración del LNG se emplea en enfriar la admisión de la turbina de gas de un ciclo combinado Brayton-Rankine, aumentando así la potencia neta de salida del ciclo. Así mismo en US 6367258 se integra un ciclo combinado con la vaporización del gas natural licuado o de petróleo como fuente fría para generar energía eléctrica.

En lo referente a la conversión de energía térmica a eléctrica, por medio de energía mecánica proporcionada por turbinas operando con ciclos Brayton y Rankine, utilizando combustibles fósiles y asociados al proceso de regasificación, podemos resumir que encontramos dos estructuras de planta:

- Ciclos Brayton abiertos, que emplean la energía frigorífica del LNG para enfriar el aire admisión y
- Ciclos combinados Brayton abierto – Rankine, en donde la energía frigorífica del LNG se aprovecha para el aire de admisión y para bajar la temperatura de condensación del ciclo Rankine.

En el estado actual de la tecnología relacionada con la generación de energía eléctrica asociada a la regasificación del LNG, mediante ciclos Brayton y Rankine, no es conocida ninguna alternativa tecnológica similar de las características de este invento. Por tanto, no son conocidas las plantas térmicas que utilizan un ciclo Brayton y un ciclo Rankine en serie, integradas con el proceso de regasificación, en donde el ciclo

Brayton es cerrado, regenerativo y emplea el frío residual de LNG para bajar la temperatura del fluido de trabajo. El ciclo Rankine de vapor regenerativo asociado en serie al ciclo Brayton proporciona un aumento de la eficiencia térmica y de la potencia específica de la planta en conjunto.

5

## **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a una planta térmica constituida por un ciclo Brayton y un Rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado, que comprende:

10

- Un ciclo Brayton cerrado regenerativo de alta temperatura, formado por:
  - Un enfriador del fluido de trabajo, en la aspiración del compresor, mediante la energía de refrigeración que se genera con la regasificación del LNG.
  - Un compresor.
  - 15 - Un regenerador.
  - Un intercambiador de calor para el fluido de trabajo y los gases de la combustión.
  - Un intercambiador de calor para el recalentado del fluido de trabajo con los gases de la combustión.
  - 20 - Turbinas de gas de alta y baja presión.

20

- Un ciclo Rankine regenerativo de baja temperatura operando con fluido de trabajo vapor de agua, formado por:
  - Un condensador de vapor.
  - Un regenerador de tipo abierto.
  - 25 - Haz tubular vaporizador-sobrecalentador.
  - Haz tubular recalentador.
  - Bombas de alimentación de alta y baja.

25

- Un sistema de combustión para aporte de energía térmica formado por:
  - Compresor de alimentación de aire de combustión.
  - 30 - Precalentador de aire de combustión.
  - Conducto de alimentación de aire al precalentador de aire.
  - Cámara de combustión.
  - Envoltente de la cámara de combustión por la que circula aire para la combustión.

30

35

- Conductos de alimentación de aire a la cámara de combustión.

- Conductos de alimentación de combustible a la cámara de combustión.
- Conducto de salida de gases de combustión a baja temperatura.

5 En donde los gases de la combustión ceden primeramente calor al fluido de trabajo del ciclo Brayton cerrado regenerativo, y seguidamente ceden calor al ciclo Rankine regenerativo de baja temperatura operando con vapor de agua. El calor rechazado por el sistema de combustión, después de haber cedido todo el calor posible a los dos ciclos Brayton y Rankine dispuestos en serie, es aprovechado para calentar el aire de combustión.

10 Como fluido de trabajo del ciclo Brayton se puede emplear nitrógeno, helio y aire seco. El enfriamiento del fluido de trabajo del ciclo Brayton cerrado se realiza por el refrigerante constituido por el gas natural licuado al ser regasificado para su distribución y usos energéticos en plantas de regasificación. De esta manera, se aprovecha la energía fría disponible en el gas natural licuado en el proceso de regasificación para aumentar el rendimiento de la conversión de energía térmica, procedente de combustibles fósiles, en energía eléctrica mediante la planta objeto de  
15 la presente invención.

## DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

20 Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva, como parte integral de la misma, un conjunto de figuras en el que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se representa lo siguiente:

Figura 1. Sistema de combustión de la planta térmica, con aprovechamiento del calor desprendido por la cámara de combustión y de los gases de combustión, después de  
25 haber cedido calor a los ciclos en serie Brayton cerrado regenerativo y Rankine regenerativo.

Figura 2. Planta térmica a estudio para la presente invención. (a) Ciclo Brayton cerrado regenerativo, con enfriamiento del fluido de trabajo por la energía de refrigeración generada durante el proceso de regasificado del gas natural licuado. (b) Ciclo Rankine regenerativo de vapor de agua, en serie con el ciclo Brayton.  
30

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

- La planta térmica objeto de la presente invención está constituida por los siguientes componentes, según se muestra en la **Figura 1 y 2**, que representan respectivamente un sistema de combustión de la planta térmica de ciclos en serie y los ciclos Brayton y Rankine de las siguientes características:
- 5           – Ciclo Brayton cerrado regenerativo, con enfriamiento del fluido de trabajo por la energía de refrigeración generada durante el proceso de regasificado del gas natural licuado (a).
  - 10          – Ciclo Rankine regenerativo de vapor de agua, en serie con el ciclo Brayton (b).
  - Compresor de alimentación de aire de combustión (1).
  - Conducto de alimentación de aire al precalentador de aire (2).
  - Precalentador de aire de combustión (3).
  - 15          – Envolvente de la cámara de combustión por la que circula aire para la combustión (4).
  - Conductos de alimentación de aire a la cámara de combustión (5).
  - Conducto de alimentación de combustible a la cámara de combustión (6).
  - Cámara de combustión (7).
  - Salida de gases de combustión (8).
  - 20          – Intercambiador de calor para el fluido de trabajo y los gases de la combustión (9).
  - Intercambiador de calor para el recalentado del fluido de trabajo con los gases de combustión (10).
  - Turbina de gas de alta presión (11).
  - 25          – Turbina de gas de baja presión (12).
  - Generador eléctrico del ciclo Brayton (13).
  - Regenerador del ciclo Brayton (14).
  - Enfriador del fluido de trabajo del ciclo Brayton, en la aspiración del compresor, mediante la energía de refrigeración que se genera con la regasificación de gas natural licuado, debido al intercambio térmico con el fluido de trabajo (15).
  - 30          – Compresor del ciclo Brayton (16).
  - Entrada de gas natural licuado al enfriador del fluido de trabajo del ciclo Brayton (17).
  - Salida de gas natural regasificado del enfriador del ciclo Brayton (18).
  - 35          – Haz tubular vaporizador-sobrecalentador del ciclo Rankine (19).

- Haz tubular recalentador del ciclo Rankine (20).
  - Turbina de alta presión del ciclo Rankine (21).
  - Turbina de baja presión del ciclo Rankine (22).
  - Generador eléctrico del ciclo Rankine (23).
- 5
- Condensador del ciclo Rankine (24).
  - Bomba de baja de alimentación del ciclo Rankine (25).
  - Regenerador de tipo abierto del ciclo Rankine (26).
  - Bomba de alta de alimentación del ciclo Rankine (27).
- 10
- El ciclo Brayton cerrado regenerativo (a), puede operar con tres fluidos de trabajo: nitrógeno, helio y aire seco. El fluido empleado es enfriado, a la entrada del compresor (16), hasta  $-120^{\circ}\text{C}$  con la energía de enfriamiento que genera el gas natural licuado al ser regasificado en el enfriador (15). De esta manera se obtiene, a la salida de enfriador (17), el gas natural a una temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ , que es enviado al gaseoducto
- 15
- de distribución para sus usos energéticos.
- Los gases de la combustión a alta temperatura en la cámara de combustión (7), ceden calor al intercambiador de calor (9) del fluido de trabajo del ciclo Brayton y seguidamente, al circular hacia la atmósfera, ceden calor al intercambiador de recalentado (10). Posteriormente, en su desplazamiento ceden calor al haz
- 20
- vaporizador-sobrecalentador (19) y al haz recalentador (20) del ciclo Rankine de vapor. Finalmente ceden calor al aire de combustión procedente de la atmósfera por medio de un precalentador de aire (3). El aire aspirado de la atmósfera es impulsado por el compresor (1), que lo fuerza a atravesar el precalentador de aire (3) para ser transferido a la cámara de combustión por el exterior de la envolvente (4), de manera
- 25
- que realice la función de aislante térmico de la cámara de combustión y captador de la máxima cantidad posible de energía térmica evadida de la cámara de combustión para evitar que sea perdida por transferencia de calor al exterior.
- Tanto el ciclo Brayton (a) como el Rankine (b), el fluido de trabajo transforma su energía térmica en mecánica, mediante turbinas de alta presión (11), (21) y baja
- 30
- presión (12), (22) respetivamente. La energía mecánica desarrollada se transforma en eléctrica en los generadores (13) y (23).
- El fluido de trabajo (nitrógeno, helio o aire seco) del ciclo Brayton, antes de entrar en el intercambiador de calor con los gases de combustión (9), recuperan el calor, mediante un regenerador (14) del propio fluido que tiene a la salida de la turbina de gas de baja

presión (12), aumentando de esta manera la temperatura media de recepción de calor del ciclo. Del mismo modo, el ciclo Rankine lleva un regenerador de tipo abierto (26), en donde el agua de alimentación es calentada por una extracción de vapor, a la salida de la turbina de alta (21).

5 El incremento de eficiencia térmica de la planta objeto de invención es debido a tres causas:

1) Al aprovechamiento del calor de los gases de combustión al ser capturado en su mayor parte por los intercambiadores del fluido de trabajo del ciclo Brayton y de los haces tubulares del ciclo de Rankine, dispuestos en serie con respecto a los gases.

10 2) Al aprovechamiento del calor residual de los gases de combustión, el cual es transferido al aire de alimentación de combustión, devolviendo el calor residual al ciclo.

15 3) Configuración en ciclo cerrado de un Brayton regenerativo, que puede operar con nitrógeno, helio o aire seco como fluido de trabajo, asociado a un proceso de regasificación del gas natural licuado. Esto permite enfriar el fluido de trabajo a bajas temperaturas, hasta un máximo de  $-150^{\circ}\text{C}$ . Con lo cual, el trabajo de compresión del ciclo se reduce y aumenta la potencia neta de salida y la eficiencia del ciclo.

### **DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERENTES DE LA INVENCION**

20 En coherencia con la descripción del invento, se resalta una realización preferente de la invención "planta térmica de un ciclo Brayton y un ciclo Rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado" mostrada en la figura 1 y 2.

## REIVINDICACIONES

1ª Planta térmica de un ciclo Brayton y un ciclo Rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado, caracterizada por comprender:

5            Un ciclo Brayton regenerativo cerrado

              Un ciclo Rankine regenerativo

              Un sistema de regasificación de gas natural para enfriar la aspiración del compresor de gas del ciclo Brayton

10           2ª Planta térmica de un ciclo Brayton y un ciclo Rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado, según reivindicación 1ª, caracterizada porque los ciclos de Brayton y Rankine se hallan asociados en serie con respecto a los gases de combustión.

15           3ª Planta térmica de un ciclo Brayton y un ciclo Rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado, según reivindicación 1ª, caracterizada porque el ciclo Brayton regenerativo cerrado utiliza uno de entre los siguientes fluidos de trabajo: nitrógeno, helio o aire seco y el ciclo Rankine utiliza agua.

20           4ª Planta, según la reivindicación 1ª, caracterizada por estar asociada a una planta de regasificación de gas natural licuado, en donde la regasificación se genera con el fluido de trabajo del ciclo Brayton, provocando un enfriamiento del mismo en la aspiración del compresor.

5ª Planta, según la reivindicación 1ª, caracterizada porque los gases de combustión evacuados ceden el calor residual al aire de combustión mediante un precalentador (3) y la envolvente de la cámara de combustión (4).

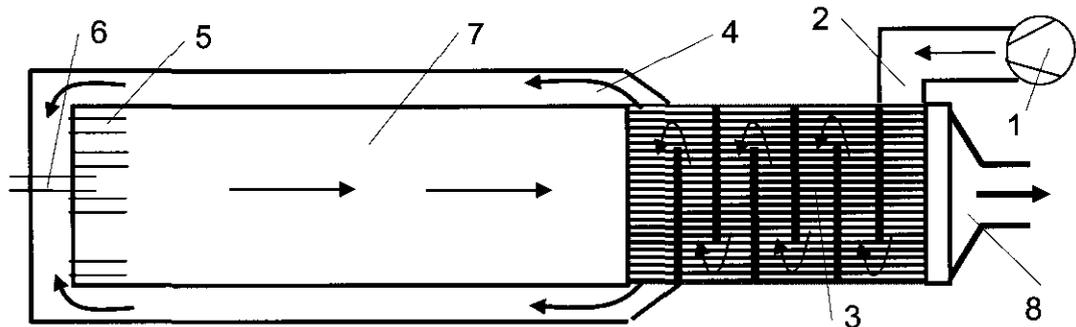


FIGURA 1

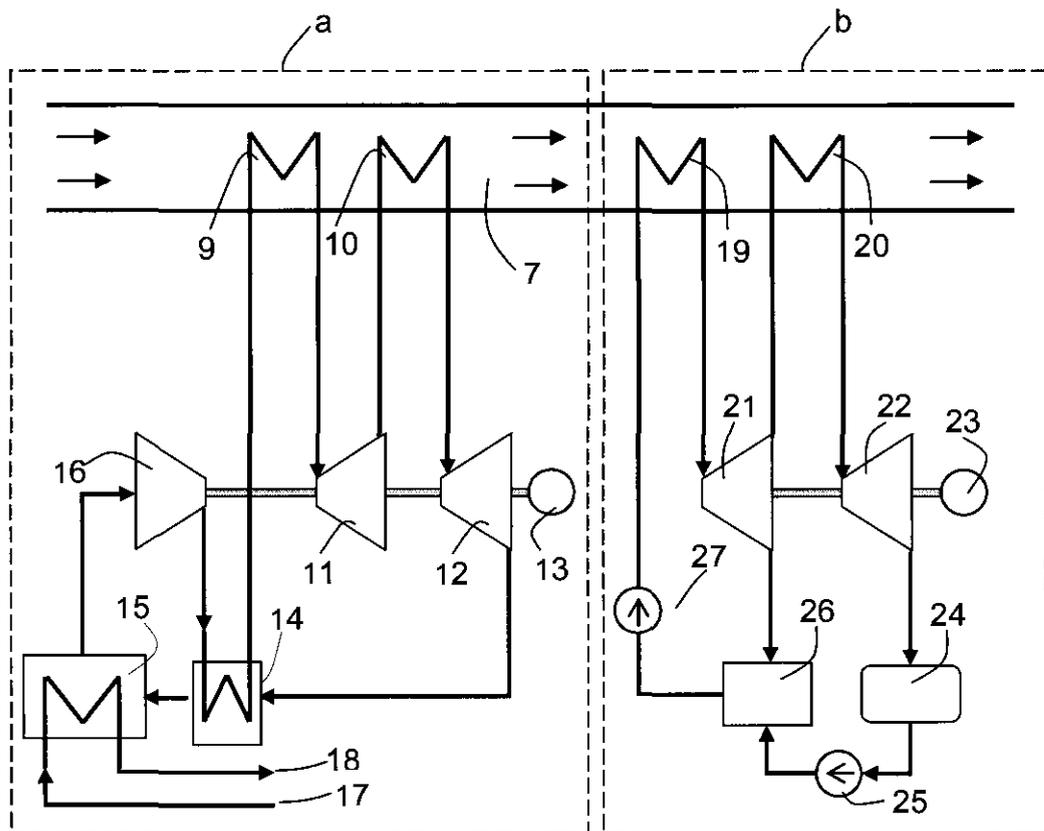


FIGURA 2