

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 717**

21 Número de solicitud: 201200700

51 Int. Cl.:

**F17C 9/04** (2006.01)

**F01K 25/00** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**29.06.2012**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**03.01.2014**

88 Fecha de publicación diferida del informe sobre el estado de la técnica:

**16.01.2014**

Fecha de la concesión:

**06.11.2014**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**14.11.2014**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDADE DA CORUÑA (100.0%)  
OTRI - Edificio de Servicios centrales de  
investigación campus de Elviña s/n  
15071 A Coruña (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 dos ciclos rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado**

57 Resumen:

Planta térmica de dos ciclos Rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado, permite el aprovechamiento del frío residual del proceso de regasificación del gas natural licuado para incrementar la eficiencia térmica del proceso de conversión de energía térmica a eléctrica vía energía mecánica mediante asociación de dos ciclos Rankine regenerativos en serie, en donde los gases de la combustión ceden primeramente calor a un ciclo Rankine de alta temperatura y seguidamente ceden calor al ciclo Rankine de baja temperatura. El ciclo Rankine de alta temperatura opera con dióxido carbono, mientras que el ciclo Rankine de baja temperatura opera con xenón.

La condensación del fluido de trabajo de ambos ciclos es realizada por el refrigerante constituido por el gas natural licuado al ser regasificado para su distribución y usos energéticos. El calor rechazado por el sistema de combustión después de haber cedido todo el calor posible a los dos ciclos Rankine es aprovechado para calentar el aire de combustión.

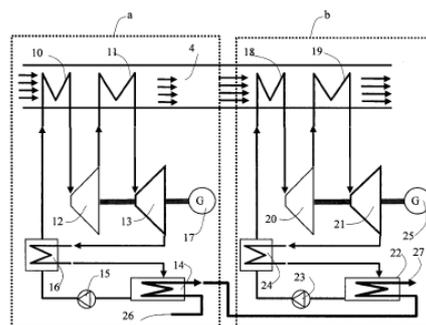


FIGURA 2

ES 2 436 717 B1

## **DESCRIPCIÓN**

### **PLANTA TÉRMICA DE DOS CICLOS RANKINE EN SERIE PARA INSTALACIONES DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO**

#### **OBJETIVO DE LA INVENCION**

5

El objetivo de la presente invención es la utilización del frío residual del proceso de regasificación del gas natural licuado para incrementar la eficiencia térmica del proceso de conversión de energía térmica a eléctrica vía energía mecánica mediante asociación novedosa de dos ciclos Rankine regenerativos en serie, a la vez que se eliminan los métodos tradicionales de regasificación obteniendo una regasificación más eficiente.

10

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

15

La presente invención pertenece al campo técnico de la conversión de energía térmica procedente de combustibles fósiles, en energía eléctrica mediante ciclos termodinámicos del tipo Rankine con regeneración en instalaciones de regasificación de gas natural licuado

20

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

25

Las plantas regasificadoras son las encargadas de recibir el gas natural licuado que transportan los barcos, almacenarlo todavía como líquido y distribuirlo en la red ya como gas. Tanto en los barcos como las plantas regasificadoras, la temperatura de almacenamiento ronda los  $-160^{\circ}\text{C}$  y con 1 bar de presión. Para situar el gas en las condiciones de distribución de los gaseoductos, se debe realizar un proceso de vaporización en el que se hace una aportación energética al gas.

30

Los dispositivos o sistemas de vaporización del gas natural licuado utilizados suelen ser mediante intercambiadores de calor, donde el gas circula por el interior de los tubos y el agua de mar por el exterior, o mediante vaporizadores denominados de combustión sumergida, donde el fluido caliente es un baño de agua calentada por los productos de la combustión de gas en un quemador especial sumergido en el propio baño.

35

Estos procesos de vaporización tienen un coste energético de no retorno, bien en combustible, si se hace mediante la combustión sumergida, bien en bombeo de agua

de mar, pero, además, se desaprovecha el frío residual del proceso de regasificación. Una planta de regasificación es eficaz en términos de capacidad para vaporizar el gas natural licuado en el modo que pueda garantizar el suministro a los usuarios finales. Sin embargo existe la necesidad de un método eficiente para aprovechar el calor sensible y latente del gas natural licuado como fuente fría como medio condensante para generar energía.

5 En el documento de patente US 6367258 se integra un ciclo combinado Brayton Rankine con la vaporización del gas natural licuado o de petróleo como fuente fría para generar energía eléctrica. Así mismo en la patente US 6336316 trata la integración de los ciclos de generación de potencia y la regasificación de gas natural.

10 En EP 1888883 B1 los sistemas de regasificación se basan en la generación de energía. En la patente US 20030005698 A1 el frío residual se utiliza para enfriar la admisión de la turbina de gas de un ciclo combinado, aumentando así el rendimiento del ciclo de potencia.

15 En lo referente a la conversión de energía térmica a eléctrica vía energía mecánica proporcionada por turbinas operando con ciclos de Rankine, utilizando combustibles fósiles, podemos resumir que encontramos dos estructuras de planta:

- Ciclos de Rankine regenerativos operando con un fluido de trabajo como el agua o un fluido orgánico,
- 20 – Ciclos combinados en los que el ciclo de alta temperatura es un ciclo de Brayton y el de baja temperatura es de Rankine

En el estado actual de la tecnología relacionada con la conversión de energía tanto de alta como de baja temperatura que operan mediante el ciclo Rankine convencional, no es conocida ninguna alternativa tecnológica similar a la de las características de este invento. No son conocidas las plantas térmicas que utilizan dos ciclos de Rankine en serie integradas con el proceso de regasificación del gas natural licuado, donde el ciclo de alta temperatura opera con dióxido de carbono condensado a bajas temperaturas mediante el frío residual del proceso de regasificación y el ciclo de baja temperatura opera con xenón con condensación cuasi-crítica también mediante la energía disponible en el frío residual del proceso de regasificación.

30

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

La presente invención se refiere a una planta térmica de dos ciclos Rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado, que comprende:

35

Un ciclo de Rankine regenerativo de alta temperatura operando con dióxido de carbono como fluido de trabajo, formado por:

- Un condensador de dióxido de carbono mediante refrigerante gas natural licuado
- 5      • Turbinas de alta y baja presión
- Un regenerador
- Haz tubular vaporizador-sobrecalentador
- Haz tubular recalentador
- Una bomba de alimentación

10      Un ciclo de Rankine regenerativo de baja temperatura operando con fluido de trabajo xenón, formado por:

- Un condensador de xenón mediante refrigerante gas natural licuado
- Turbinas de alta y baja presión
- Un regenerador
- 15      • Haz tubular vaporizador-sobrecalentador
- Haz tubular recalentador
- Una bomba de alimentación

Un sistema de combustión para aporte de energía térmica formado por:

- Calentador de aire
- 20      • Conducto de alimentación de aire al calentador de aire
- Salida de gases de combustión a baja temperatura
- Cámara de combustión
- Conducto de alimentación de combustible a la cámara de combustión
- Conductos de alimentación de aire a la cámara de combustión
- 25      • Conducto de aire a la cámara de combustión
- Compresor de alimentación de aire de combustión

En donde los gases de la combustión ceden primeramente calor al ciclo Rankine regenerativo de alta temperatura operando con dióxido de carbono y seguidamente  
30      ceden calor al ciclo Rankine regenerativo de baja temperatura operando con xenón. El calor rechazado por el sistema de combustión después de haber cedido todo el calor posible a los dos ciclos Rankine dispuestos en serie es aprovechado para calentar el aire de combustión.

La condensación del fluido de trabajo de ambos ciclos Rankine en serie es realizada por el refrigerante constituido por el gas natural licuado al ser regasificado para su distribución y usos energéticos en plantas de regasificación, aprovechando de esta manera la energía fría disponible en el gas natural licuado en el proceso de  
5 regasificación para aumentar el rendimiento de la conversión de energía térmica, procedente de combustibles fósiles, en energía eléctrica mediante la planta objeto de la presente invención.

### DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

10

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:

15

Figura 1. Sistema de combustión de la planta térmica de ciclos Rankine en serie.

Figura 2. Ciclos Rankine regenerativos dióxido de carbono-xenón en serie con condensador enfriado mediante gas natural.

### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

20

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 Rankine en serie y los ciclos Rankine regenerativos dióxido de carbono-xenón en serie con condensador enfriado  
25 mediante gas natural:

25

- Calentador de aire de combustión (1)
- Salida de gases de combustión (2)
- Conducto de alimentación de aire al calentador de aire (3)
- Cámara de combustión (4)
- 30 - Conducto de alimentación de combustible a la cámara de combustión (5)
- Conductos de alimentación de aire a la cámara de combustión (6)
- Conducto de aire a la cámara de combustión (7)
- Compresor de alimentación de aire de combustión (8)
- Haz tubular vaporizador-sobrecalentador del ciclo Rankine de alta temperatura

35

(10)

- Haz tubular recalentador del ciclo Rankine de alta temperatura (11)
- Turbina de alta presión del ciclo Rankine de alta temperatura (12)
- Turbina de baja presión del ciclo Rankine de alta temperatura (13)
- Condensador del ciclo Rankine de alta temperatura (14)
- 5 - Bomba de alimentación del ciclo Rankine de alta temperatura (15)
- Regenerador del ciclo Rankine de alta temperatura (16)
- Generador eléctrico del ciclo Rankine de alta temperatura (17)
- Haz tubular vaporizador-sobrecalentador del ciclo Rankine de baja temperatura (18).
- 10 - Haz tubular recalentador del ciclo Rankine de baja temperatura (19)
- Turbina de alta presión del ciclo Rankine de baja temperatura (20)
- Turbina de baja presión del ciclo Rankine de baja temperatura (21)
- Condensador del ciclo Rankine de baja temperatura (22)
- Bomba de alimentación del ciclo Rankine de baja temperatura (23)
- 15 - Regenerador del ciclo Rankine de baja temperatura (24)
- Generador eléctrico del ciclo Rankine de baja temperatura (25)
- Entrada de gas natural licuado al condensador del ciclo Rankine de alta temperatura (26).
- Salida de gas natural regasificado del condensador del ciclo Rankine de baja temperatura (27)
- 20 - Ciclo Rankine de alta temperatura (a)
- Ciclo Rankine de baja temperatura (b)

El ciclo Rankine en serie de alta temperatura (a) opera con dióxido de carbono el cual es condensado a temperaturas subambientales (-50°C y 6.8 bar) en el condensador de dióxido de carbono (14) mientras que el ciclo Rankine en serie de baja temperatura (b) opera con xenón, con unas condiciones de condensación de 10°C y 51 bar.

Para la condensación en las condiciones citadas, el condensador de dióxido de carbono (14) y el condensador xenón (22) se disponen en serie respecto al flujo del gas natural licuado a regasificar para su distribución y usos energéticos.

Los gases de la combustión a alta temperatura en la cámara de combustión (4) ceden calor al haz vaporizador-sobrecalentador del ciclo de alta temperatura (10), seguidamente al circular hacia la atmósfera ceden calor al haz recalentador de ciclo de alta temperatura (11). Posteriormente, en su desplazamiento ceden calor al haz vaporizador-sobrecalentador (18) y al haz recalentador (19) del ciclo de baja

temperatura. Finalmente ceden calor al aire de combustión procedente de la atmósfera por medio de un calentador de aire (1). El aire aspirado de la atmósfera es impulsado por el compresor (8) que lo fuerza a atravesar el calentador de aire (1) para ser transferido a la cámara de combustión por el exterior de la envolvente de la cámara de combustión (7) de manera 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 de alta temperatura (a) como el de baja temperatura (b), el fluido de trabajo transforma su energía térmica en mecánica mediante turbinas de alta presión (12), (20) y baja presión (13), (21) respetivamente. La energía mecánica desarrollada se transforma en eléctrica en generadores (17) y (25).

El dióxido de carbono y el xenón antes de ser condensados en sus respectivos condensadores (14) (22) ceden energía a sus correspondientes flujos de alimentación en los regeneradores (16) (24) dispuestos después de las bombas de alimentación (15) (23).

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 haces tubulares de los ciclos de Rankine en serie.
- 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.
- 3) A las condiciones de condensación del CO<sub>2</sub> (-50°C y 6.8 bar) en el ciclo Rankine de alta temperatura en base al enfriamiento conseguido mediante la regasificación del gas natural a bajas temperaturas y a la condensación cuasi-crítica del ciclo Rankine de baja temperatura, en el que se realiza la condensación del xenón a la presión de 51 bar y temperatura 10°C, valores ligeramente inferiores a la presión y temperatura crítica. La condensación cuasi-crítica del xenón en estas condiciones proporciona alto rendimiento térmico, lo que conlleva el mínimo intercambio de energía o la mínima cesión de energía al fluido refrigerante porque la variación de entropía y en consecuencia la variación de energía para cambiar del estado de vapor al estado de líquido en el punto cuasi-crítico es mínima.

35

**DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERENTES DE LA INVENCION**

En coherencia con la descripción del invento se resalta una realización preferente de la invención “planta térmica de dos ciclos Rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado” mostrada en la figura 2 y constituida por:

El ciclo de alta temperatura constituido por dos turbinas que consisten en turbinas de alta (12) y baja presión (13) operando con dióxido de carbono, donde la turbina de baja es de contrapresión para favorecer la condensación del dióxido de carbono a su temperatura y presión (-50°C y 6.8 bar) en el condensador (14).

El ciclo de baja temperatura operando con xenón como fluido de trabajo. Tanto en el caso de la disposición de una turbina como en el caso de dos turbinas de alta presión (20) y baja presión (21) el xenón es condensado a la temperatura de 10°C y 51 bar, en el condensador (22).

La condensación en las citadas condiciones de los ciclos Rankine en serie se realiza mediante el aprovechamiento de la energía de enfriamiento criogénica disponible en el proceso de regasificación del gas natural licuado para su distribución.

El flujo de gas natural licuado a regasificar fluye primeramente por el condensador de dióxido de carbono (14) y seguidamente por el condensador de xenón (22), de tal manera que se realiza el intercambio térmico necesario para garantizar las condiciones de condensación del dióxido de carbono y xenón a la vez que se realiza la regasificación y acondicionamiento del gas natural para su suministro y consumo energético.

Tanto el ciclo de alta temperatura como el de baja temperatura, el fluido de trabajo transforma su energía térmica en mecánica mediante turbinas de alta presión (12), (20) y baja presión (13), (21) respectivamente. La energía mecánica desarrollada se transforma en eléctrica en generadores (17) y (25).

Antes de ser condensados en sus respectivos condensadores (14) (22), el dióxido de carbono y el xenón ceden energía a sus correspondientes flujos de alimentación en los regeneradores (16) (24) dispuestos después de las bombas de alimentación (15) (23).

**REIVINDICACIONES**

- 1ª. Planta térmica de dos ciclos Rankine en serie para instalaciones de regasificación de gas natural licuado, caracterizada por comprender:
- 5
- dos ciclos de Rankine en serie con respecto a los gases de la combustión
  - el ciclo Rankine de alta temperatura opera con dióxido de carbono
  - el ciclo Rankine de baja temperatura opera con xenón.
- 10 2ª. Planta según la reivindicación 1, caracterizada porque los gases de combustión evacuados ceden el calor residual al aire de combustión mediante un intercambiador de calor (1).
- 3ª. Planta según la reivindicación 1, caracterizada porque el fluido de trabajo del ciclo Rankine de alta temperatura es el dióxido de carbono y el fluido de trabajo del ciclo Rankine de baja temperatura es el xenón.
- 15
- 4ª. Planta según la reivindicación 1, caracterizada porque la condensación del dióxido de carbono y del xenón se realiza mediante el flujo de gas natural licuado en el proceso de regasificación.
- 20

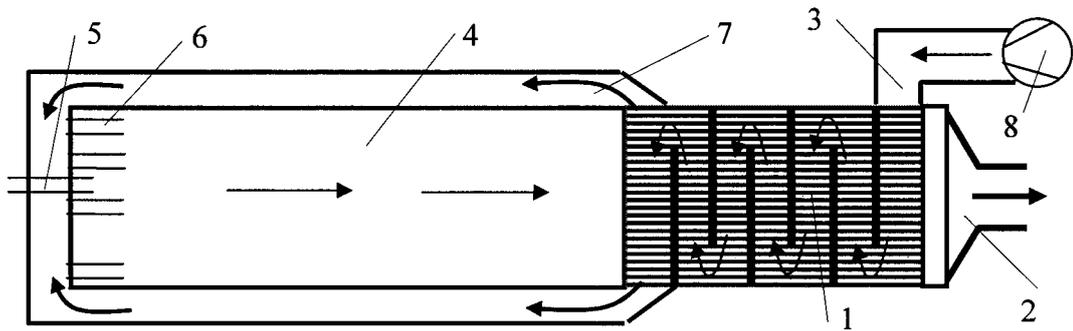


FIGURA 1

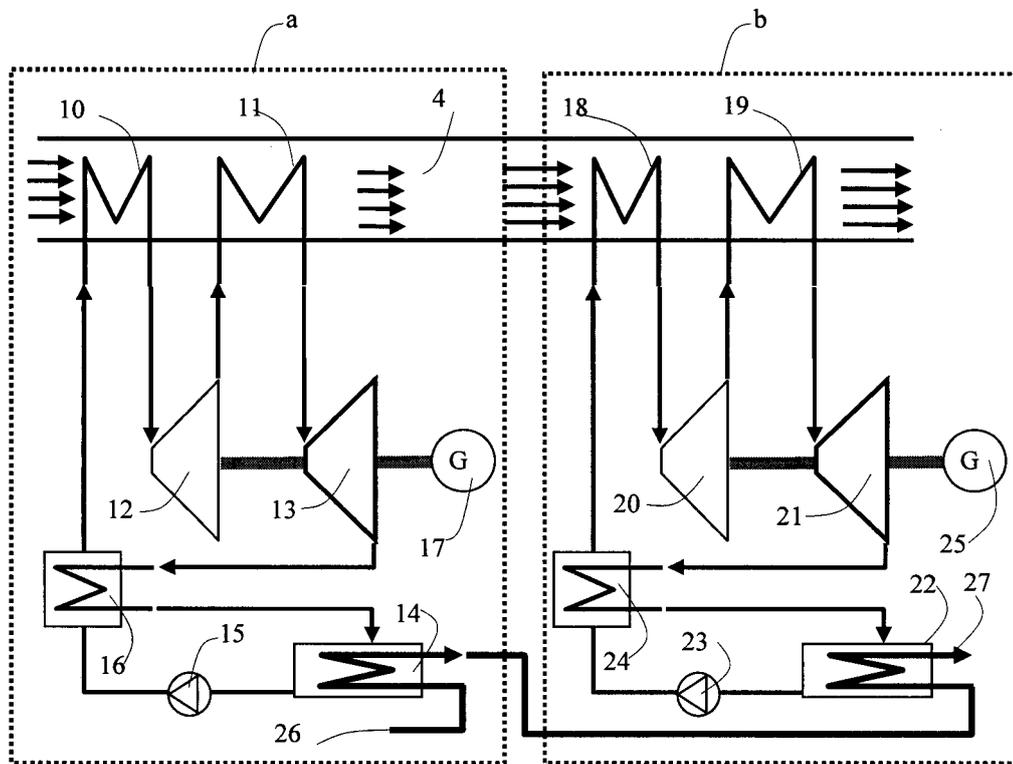


FIGURA 2



- ②① N.º solicitud: 201200700  
 ②② Fecha de presentación de la solicitud: 29.06.2012  
 ③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **F17C9/04** (2006.01)  
**F01K25/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	EP 0009387 A1 (FLUOR CORP) 02.04.1980, párrafos [12-15],[18-22]; figuras.	1-4
A	ES 2076376 T3 (CHICAGO BRIDGE & IRON TECH) 01.11.1995, columna 7, línea 49 – columna 9, línea 51; figura 1.	1-4
A	WO 2010048100 A2 (BURKHART TECHNOLOGIES LLC et al.) 29.04.2010, resumen; página 3, líneas 9-13; figuras.	1-4
A	EP 2224165 A2 (HITACHI LTD) 01.09.2010, párrafos [18],[29-30],[38]; figuras.	1-4
A	US 4444015 A (MATSUMOTO OSAMU et al.) 24.04.1984, columna 3, línea 15 – columna 4, línea 6; figura 3.	1-4
A	ES 2121608 T3 (CABOT CORP) 01.12.1998, columna 4, línea 16 – columna 6, línea 60; figuras.	1-4
A	US 2009282836 A1 (MAK JOHN) 19.11.2009, párrafos [26-35]; figuras.	1-4

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  
11.12.2013

Examinador  
E. García Lozano

Página  
1/4

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

F17C, 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

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 11.12.2013

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-4	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-4	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	EP 0009387 A1 (FLUOR CORP)	02.04.1980
D02	ES 2076376 T3 (CHICAGO BRIDGE & IRON TECH)	01.11.1995
D03	WO 2010048100 A2 (BURKHART TECHNOLOGIES LLC et al.)	29.04.2010
D04	EP 2224165 A2 (HITACHI LTD)	01.09.2010

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

La presente solicitud se refiere a una planta térmica en la que se emplean dos ciclos Rankine en serie para instalaciones de gas natural licuado.

El planta objeto de la invención comprende los dos ciclos Rankine en serie con respecto a los gases de combustión, donde el ciclo de alta temperatura opera con dióxido de carbono y el de baja temperatura con xenón (Reiv.1 y 3).

Los gases de combustión ceden posteriormente el calor residual al aire de combustión mediante un intercambiador de calor (Reiv.2), y en la condensación de los fluidos de los ciclos Rankine se emplea el flujo de gas natural licuado en el proceso de regasificación (Reiv.4).

El documento D01 divulga un método para obtener energía aprovechando la regasificación de un gas licuado, típicamente un hidrocarburo. Como puede verse en la figura 2, el método incluye el empleo de dos ciclos Rankine que aprovechan como foco frío en sus respectivos condensadores (102 y 104) la corriente de GNL, empleando como foco caliente los gases de escape de sendas turbinas de gas (113 y 127). La corriente de GNL también se emplea para precalentar el aire que entra en las turbinas de gas.

Las diferencias con respecto a la solicitud son el empleo de determinados fluidos en los ciclos Rankine, el empleo de los ciclos Rankine en serie con respecto a los gases de combustión, y el precalentamiento del aire de combustión empleando los gases de combustión tras su empleo como foco caliente en los ciclos Rankine.

El empleo de dos turbinas de gas, una para cada ciclo Rankine, de acuerdo a D01, o el empleo de un solo foco caliente para ambos ciclos Rankine parece una alternativa de diseño cuya realización práctica no necesitaría actividad inventiva por parte de un experto en la materia. Es posible que un aprovechamiento adecuado de la configuración en serie implicara el empleo de determinados fluidos, pero en el estado de la técnica se han encontrado ciclos que trabajan tanto con dióxido de carbono como con xenón (ver documentos D02 y D03), por lo que su empleo se considera evidente para un experto en la materia.

En cuanto al precalentamiento del aire de entrada empleando la energía que aún queda en los gases de escape tras su aprovechamiento en los ciclos Rankine, también se considera una opción de diseño conocida para un experto en la materia a la vista del documento D04.

Por lo tanto, se considera que la invención es nueva pero no inventiva (Art. 6 y 8 Ley de Patentes 11/1986).