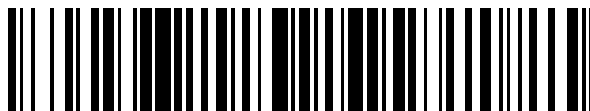


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 479 240**

21 Número de solicitud: 201300096

51 Int. Cl.:

**F01K 23/08** (2006.01)  
**F01K 23/10** (2006.01)  
**F17C 9/04** (2006.01)  
**F02C 1/05** (2006.01)  
**F02C 6/18** (2006.01)  
**F03G 6/00** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

**23.01.2013**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**23.07.2014**

Fecha de la concesión:

**29.01.2015**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**05.02.2015**

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:

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

54 Título: **Ciclo combinado con ciclo Brayton cerrado, foco frío subambiental, con fluidos de trabajo de elevado coeficiente politrópico**

57 Resumen:

Ciclo combinado con ciclo Brayton cerrado, foco frío subambiental, con fluidos de trabajo de elevado coeficiente politrópico.

Siendo el ciclo superior un ciclo Brayton con un fluido de trabajo de elevado coeficiente politrópico, la evolución de este fluido es la convencional en el ciclo Brayton, aumento de presión y temperatura en un compresor, adquisición de calor del foco caliente, expansión en la turbina y cesión de calor al foco frío, que será el gas natural que se pretende regasificar. Como ciclo inferior se utiliza un Rankine con agua como fluido de trabajo, su evolución es compresión en una bomba, adquisición de calor del foco caliente (que es el foco frío del Brayton), expansión en una turbina y cesión de calor al foco frío (que será el gas natural ya regasificado). Con el movimiento de las turbinas se produce energía eléctrica. Todo este proceso tiene un elevado trabajo específico y rendimiento.

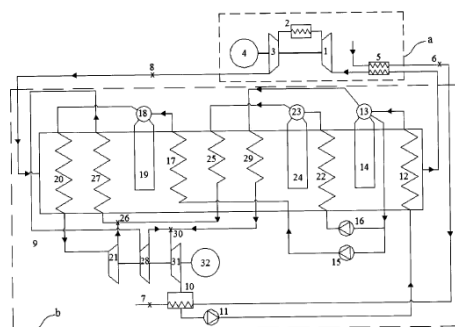


FIGURA 1

ES 2 479 240 B2

## **DESCRIPCIÓN**

### **CICLO COMBINADO CON CICLO BRAYTON CERRADO, FOCO FRÍO SUBAMBIENTAL, CON FLUIDOS DE TRABAJO DE ELEVADO COEFICIENTE POLITRÓPICO**

5

#### OBJETO DE LA INVENCION

El objeto de la presente invención es la de aprovechamiento de la energía solar por medio de un ciclo combinado Brayton cerrado y Rankine, utilizando en el CICLO BRAYTON un fluido de elevado coeficiente politrópico, como He, Ar o Xe. Para  
10 incrementar el rendimiento y la potencia específica del ciclo combinado se aprovecha el calor desprendido del proceso de regasificación del gas natural licuado, disminuyendo la temperatura del foco frío.

#### CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención pertenece al campo técnico de la conversión de la energía térmica  
15 procedente de la radiación solar y de la energía fósil del gas natural licuado (GNL) en energía eléctrica mediante ciclos termodinámicos combinados Brayton-Rankine, asociados a instalaciones de regasificación de GNL.

#### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

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

Los sistemas convencionales de regasificación, para devolver el GNL a su estado  
25 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.

30

Durante la regasificación del GNL se está generando 800kW de potencia frigorífica por cada kg/s de GNL, que se libera totalmente al agua de mar si se emplean vaporizadores ORV o al fluido térmico en el caso de los SCV. 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 en forma de calor latente y sensible del GNL. Esta energía se puede emplear para enfriar el fluido de trabajo en la aspiración del compresor en un ciclo Brayton, o en el condensador de un ciclo Rankine, en ambos casos útil 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 GNL, 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.

Por otro lado son cada vez más los ciclos solares térmicos que se están utilizando para la producción de potencia eléctrica, debido a que sus costes de explotación son menores que los ciclos que utilizan combustibles fósiles, el coste del combustibles cero, al igual que sus emisiones de gases contaminantes, por tanto no contribuyen al calentamiento global ni a la destrucción de la capa de ozono. Uno de estos casos se muestra en EP2444630 (A1) donde se presenta una instalación de ciclo combinado solar trabajando con aire en ciclo Brayton y con agua en ciclo Rankine, pudiendo este último trabajar autónomamente, siendo independiente de la radiación solar. También existen aplicaciones de la energía solar térmica para refrigeración, como por ejemplo en AU2010278676 (A1), donde se utiliza esta energía de refrigeración para reducir la temperatura de un fluido de trabajo de un ciclo de potencia por debajo de la temperatura ambiente, aumentando de este modo el rendimiento de la planta donde se aplique.

Existen otras estrategias para incrementar el rendimiento térmico y la potencia específica de las plantas de producción de potencia, una de ellas puede ser utilizar un fluido de trabajo con elevado coeficiente politrópico, como puede ser el caso de algunos gases nobles como el helio o el xenón. De estos dos el más utilizado es el helio, porque es el fluido con mejores condiciones termodinámicas para producción de potencia. Son numerosos los trabajos en los que se utiliza para este objetivo, entre los que destacan GB1525525 (A), en este caso el helio se utiliza como fluido refrigerante de un reactor nuclear, de manera que se incrementa su temperatura y se utiliza esta circunstancia para producir potencia mecánica en un ciclo Brayton. Por otro lado en la patente KR20110048747 (A) se produce electricidad, hidrogeno o agua destilada a partir de un ciclo similar al explicado en la patente anterior, con la diferencia que en este caso el reactor es de alta temperatura y el aprovechamiento energético es mayor. Los autores de la patente US7028481 (B1) realizaron un trabajo similar a los dos anteriores, con la salvedad de que como foco frío del sistema utilizan gas natural licuado, con este procedimiento consiguen reducir la temperatura media de cesión de calor, incrementando el rendimiento térmico y la potencia específica.

### BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a una planta térmica constituida por un ciclo combinado, un Brayton y un Rankine, conjuntamente con una instalación de regasificación de gas natural licuado, que comprende:

- Un ciclo Brayton cerrado, no regenerativo, de alta temperatura, formado por:
  - Un enfriador del fluido de trabajo, en la aspiración del compresor, mediante la energía de vaporización que se genera con la regasificación del GNL.
  - Un compresor.
  - Un horno solar y una cámara de combustión para calentar el fluido de trabajo con la energía solar o bien por la combustión del propio GNL que se regasifica en la planta anexa.
  - Turbinas de gas.
- Un ciclo Rankine regenerativo de baja temperatura operando con fluido de trabajo vapor de agua, formado por:

- Un condensador de vapor, utilizando la energía de refrigeración que se genera con la regasificación del GNL, produciendo el cambio de estado del vapor de agua.
- 5
- Una caldera de recuperación de calor residual, en varias etapas de presión, donde se vaporiza y calienta el agua con economizadores, sobrecalentadores y recalentadores, gracias al fluido de trabajo del ciclo Brayton.
  - Bombas de alimentación de alta, media y baja presión.
  - Turbina de vapor de alta, media y baja presión.
- 10
- El fluido de trabajo del ciclo Brayton atraviesa el horno solar o bien una cámara de combustión donde se consume el GNL regasificado en la instalación, en cualquiera de los dos elementos el fluido de trabajo absorbe calor, constituyendo así el foco caliente del ciclo, en el ciclo Brayton se extrae parte de la energía absorbida por el fluido. El resto de la energía ganada se le extrae en la caldera de recuperación de calor residual,
- 15
- por parte del agua que evoluciona en el ciclo Rankine. Gracias al buen acoplamiento térmico entre ambos ciclos por tener el ciclo Rankine varios niveles de presión no se produce un gran rechazo de calor por parte del gas del ciclo Brayton.

Como fluido de trabajo del ciclo Brayton se puede emplear helio, argón o xenón. El enfriamiento hasta temperaturas subambientales del fluido de trabajo del ciclo Brayton

20

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. Aprovechando de esta manera la energía fría disponible en el GNL en el proceso de regasificación para aumentar el rendimiento de la conversión de energía térmica, en energía eléctrica mediante la planta objeto de la presente invención.

## 25 DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para iniciar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una clara comprensión de las características del invento, se acompaña a la presente memoria descriptiva, como parte integral de la misma, una figura en la que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se representa lo siguiente:

30

Figura 1. Esquema de la instalación de ciclo combinado con ciclo Brayton cerrado y Rankine, con calentamiento en horno solar de alta concentración. Enfriamiento subambiental del fluido de trabajo del ciclo de gas y fluido de condensación del ciclo Rankine con GNL.

### 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, que representa los ciclos en serie Brayton y Rankine con las siguientes características:

- 10 - Ciclo Brayton cerrado no regenerativo, calentado con energía solar y/o por la combustión del GNL y con enfriamiento del fluido de trabajo por la energía del calor cedido durante el proceso de regasificado del GNL (a).
- Ciclo Rankine no regenerativo de vapor de agua, cuyo foco caliente es el gas de salida del ciclo Brayton y condensando el agua con la energía de refrigeración generada durante el proceso de regasificado del GNL (b).
- 15 - Compresor de gas del ciclo Brayton (1).
- Horno solar y cámara de combustión del GNL regasificado en la planta (2).
- Turbina de gas del ciclo Brayton (3).
- Generador eléctrico del ciclo Brayton (4).
- 20 - Enfriador del fluido de trabajo del ciclo Brayton con el calor latente de vaporización del GNL (5).
- Salida de gas natural regasificado (6).
- Salida de gas natural regasificado hacia la red de distribución (7).
- Exhaustación de la turbina de gas del ciclo Brayton (8).
- 25 - Caldera de recuperación de calor residual (9).
- Condensador de vapor (10).
- Bomba de baja presión (11).
- Economizador de baja presión (12).
- Calderín de baja presión (13).
- 30 - Pantallas vaporizadoras de baja presión (14).
- Bomba de alta presión (15).

- Bomba de media presión (16).
- Economizador de alta presión (17).
- Calderín de alta presión (18).
- 5 - Pantallas vaporizadoras de alta presión (19).
- Sobrecalentador de alta presión (20).
- Turbina de alta presión (21).
- Economizador de media presión (22).
- Calderín de media presión (23).
- 10 - Pantallas vaporizadoras de media presión (24).
- Sobrecalentador de media presión (25).
- Punto de mezcla de media presión (26).
- Recalentador (27).
- Turbina de media presión (28).
- 15 - Sobrecalentador de baja presión (29).
- Punto de mezcla de baja presión (30).
- Turbina de baja presión (31).
- Generador eléctrico del ciclo Rankine (32).

El CICLO BRAYTON cerrado no regenerativo (a), puede operar con varios fluidos de trabajo (He, Ar o Xe), cualquiera de ellos con elevado coeficiente politrópico; esto produce un incremento del rendimiento térmico del ciclo, respecto a un ciclo similar que utilice un fluido con un coeficiente menor. El fluido es enfriado a la entrada del compresor (1), el enfriamiento es variable según las condiciones de trabajo de la planta, con la energía de vaporización que desprende el GNL al ser regasificado en el enfriador (5). De esta manera se obtiene a la salida de enfriador (6) el gas natural en estado de vapor, a una temperatura de  $-160\text{ °C}$ ; de aquí es enviado al condensador del ciclo Rankine (10), donde se eleva su temperatura hasta una próxima a la del vapor que condensa, a la salida del condensador (7) el gas natural es enviado al gaseoducto de distribución, parte de este gas puede ser consumido en la planta que es objeto de invención, la finalidad es que la planta esté operativa cuando las condiciones solares no lo posibiliten o cuando estas no sean suficientes para mantener la planta a pleno régimen de funcionamiento.

Una vez que el fluido de trabajo del ciclo Brayton (a) ha elevado su presión en el compresor (1) pasa a través del horno solar o de la cámara de combustión (2) donde aumenta su temperatura hasta la máxima del ciclo. El gas a alta temperatura y presión se expanden en la turbina de gas (3) produciendo así un trabajo mecánico, utilizado en accionar el compresor (1) y el generador eléctrico del ciclo de Brayton (4), produciendo este último energía eléctrica. En el escape de la turbina de gas (8) el fluido de trabajo todavía tiene una temperatura relativamente alta, que se utiliza para calentar el agua del ciclo Rankine (b) en la caldera de recuperación de calor residual (9). El fluido del ciclo Brayton atraviesa esta caldera cediendo el calor, para finalmente atravesar el enfriador (5) donde cede calor al gas natural, el cual gracias a esta absorción de calor se vaporiza.

Por su parte el agua del ciclo Rankine se acumula en el condensador de vapor (10), el cual está refrigerado con gas natural. El agua condensada aumenta su presión por medio de una bomba (11), para pasar a través de un economizador (12) aumentando su temperatura. El agua pasa al calderín de baja presión (13) el cual actúa como desaireador del ciclo. El agua de este calderín se vaporiza parcialmente en las pantallas de baja presión (14).

Del calderín de baja presión, la bomba (15) eleva la presión del agua hasta el nivel de media presión, y la bomba de alta presión (16), hasta el nivel de alta presión. En el nivel de alta, el agua pasa a través del economizador de alta presión (17), el calderín de alta presión (18), la cual cambia de estado parcialmente en la pantalla vaporizadora de alta presión (19). El vapor producido aumenta su temperatura en el sobrecalentador de alta presión (20) y convierte su energía térmica en mecánica en la turbina de alta presión (21). Si la presión del agua se aumenta hasta el nivel de media presión, en este caso el agua aumenta su temperatura en el economizador de media presión (22), una vez en el calderín de media presión (23) se separa la mezcla líquido vapor que se produce en las pantallas vaporizadoras de media presión (24), el vapor producido aumenta su temperatura en el sobrecalentador de media presión (25), este vapor se mezcla (26) con el que se produjo en el circuito de alta presión y que ya se expansionó en la turbina de alta presión (21). Todo este vapor pasa por un recalentador (27) para posteriormente expansionarse en la turbina de media presión (28) y producir trabajo mecánico.



El vapor producido en el calderín de baja presión (13) aumenta su temperatura en el sobrecalentador de baja presión (29); a la salida de éste, el vapor se mezcla con el que se expansionó en la turbina de media presión (30), para a continuación expandirse todo el vapor presente en (30), en la turbina de baja presión (31), produciendo trabajo mecánico y teniendo al final de la misma un vapor de baja temperatura y presión. Todo el trabajo mecánico producido en las turbinas de vapor (21), (28) y (31) se transforma en energía eléctrica en el generador eléctrico (32) del ciclo Rankine. Todo el vapor circulante por la turbina de baja presión (31) cambia de estado en el condensador (10), volviendo a empezar el ciclo.

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

1) Al aprovechamiento del calor de la energía solar por medio de un fluido de elevado coeficiente politrópico y calor específico, el cual evoluciona según un ciclo Brayton y cede su calor residual a un ciclo Rankine.

2) A la utilización de fluidos de elevado coeficiente politrópico, para trabajar en un ciclo combinado con un buen acoplamiento térmico, gracias a los niveles de presión introducidos en el ciclo Rankine, permitiendo aumentar el rendimiento de los procesos de transferencia de calor y optimizar los intercambiadores de calor de la instalación.

3) Configuración en ciclo cerrado de un Brayton no regenerativo, que puede operar con distintos fluidos de trabajo, asociado a un proceso de regasificación del gas natural licuado. Esto permite enfriar el fluido de trabajo a temperaturas sub-ambientales. Con lo cual, el trabajo de compresión del ciclo se reduce y aumenta la potencia neta de salida y la eficiencia del ciclo.

4) A la utilización de un condensador en el ciclo Rankine con fluido refrigerante el gas natural, lo cual permite elevar la temperatura del mismo hasta la adecuada para su distribución y permite reducir la temperatura de condensación del vapor de agua del ciclo.

5) Un sistema de refrigeración por GNL para enfriar el fluido de trabajo de elevado exponente politrópico (He, Ar o Xe) antes de la entrada al compresor del ciclo Brayton y a continuación enfriar el condensador del ciclo de Rankine.

5 DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERENTES DE LA INVENCION

En coherencia con la descripción del invento se resalta una realización preferente de la invención “ciclo combinada Brayton cerrado, con foco caliente solar y/o con GN, foco frío subambiental, con fluidos de trabajo de elevado coeficiente politrópico” mostrada en la figura 1.

REIVINDICACIONES

1. CICLO COMBINADO CON CICLO BRAYTON CERRADO, FOCO FRÍO SUBAMBIENTAL, CON FLUIDOS DE TRABAJO DE ELEVADO COEFICIENTE
- 5 POLITROPICO, caracterizado por que comprende:
- a. Un foco caliente por horno solar, por la combustión del propio GNL que se regasifica o ambos sistemas en serie.
  - b. Un ciclo Brayton cerrado no regenerativo.
  - c. Una caldera de recuperación de calor para aprovechar el calor desechado del
  - 10 ciclo Brayton y aprovecharlo en el ciclo Rankine.
  - d. Un ciclo de Rankine funcionando con agua como fluido de trabajo.
  - e. Un sistema de refrigeración por GNL para enfriar el fluido de trabajo de elevado exponente politrópico (He, Ar o Xe) antes de la entrada al compresor del ciclo Brayton y a continuación enfriar el condensador del ciclo de Rankine.
- 15 2. CICLO COMBINADO CON CICLO BRAYTON CERRADO, FOCO FRÍO SUBAMBIENTAL, CON FLUIDOS DE TRABAJO DE ELEVADO COEFICIENTE POLITROPICO, según reivindicación primera, caracterizado por la utilización de helio como fluido de trabajo de elevado exponente politrópico en el ciclo Brayton y a alta temperatura conseguida en el horno solar, y utilización de una muy baja temperatura en
- 20 el foco frío, lo que eleva de forma sustancial el rendimiento térmico del mismo, gracias a esa gran diferencia de temperaturas entre los focos caliente y frío.
3. CICLO COMBINADO CON CICLO BRAYTON CERRADO, FOCO FRÍO SUBAMBIENTAL, CON FLUIDOS DE TRABAJO DE ELEVADO COEFICIENTE POLITROPICO, según reivindicación primera, caracterizado por la utilización para
- 25 refrigeración en el foco frío del ciclo Rankine del GNL que se pretende regasificar.

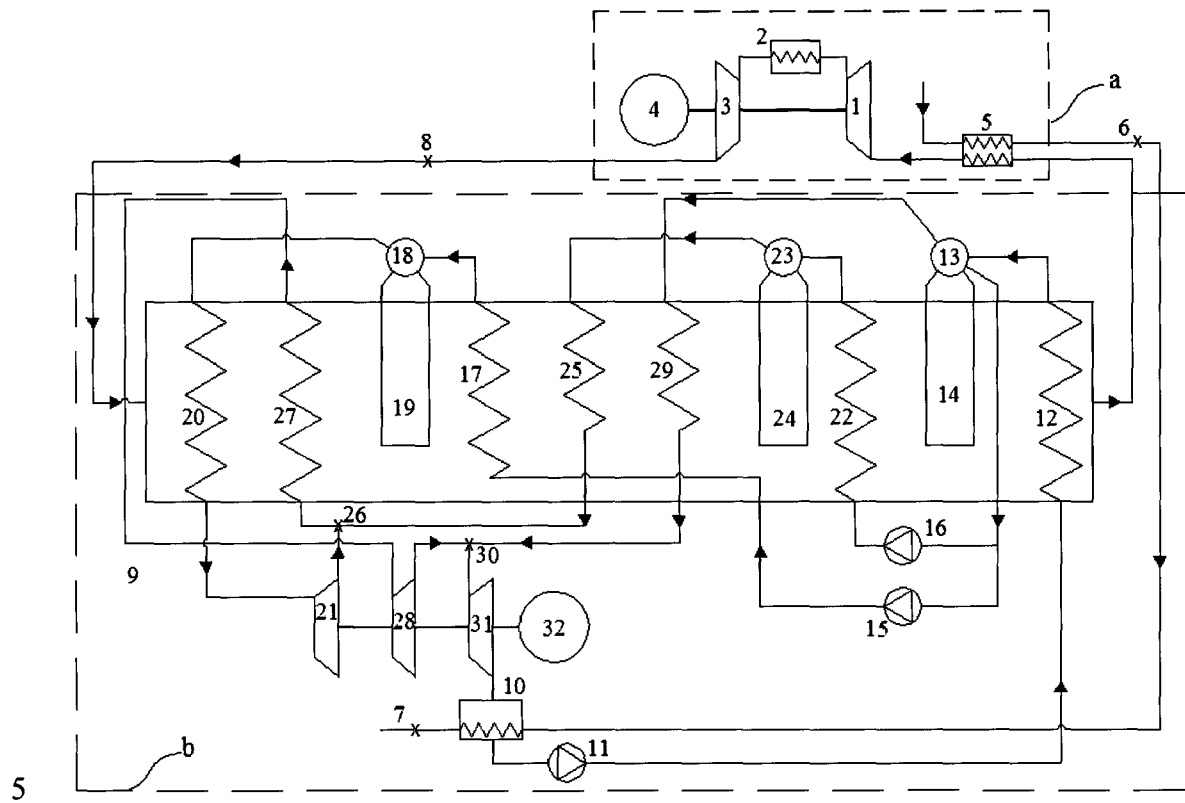


FIGURA 1



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②<sup>1</sup> N.º solicitud: 201300096

②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 23.01.2013

③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ <sup>6</sup> Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	WO 2013007859 A1 (BORDEBI TECN ENERGETICAS DEL FRIO S L et al.) 17.01.2013, todo el documento.	1,3
A	ES 2121608 T3 (CABOT CORP) 01.12.1998, todo el documento.	1,3
A	EP 2133515 A1 (HITACHI LTD) 16.12.2009, todo el documento.	1,3
A	US 2011127773 A1 (FREUND SEBASTIAN WALTER et al.) 02.06.2011, todo el documento.	1,2
A	US 7028481 B1 (MORROW CHARLES W) 18.04.2006, todo el documento.	1-3

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 n.º:

Fecha de realización del informe  
04.06.2014

Examinador  
E. García Lozano

Página  
1/4

## CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**F01K23/08** (2006.01)

**F01K23/10** (2006.01)

**F17C9/04** (2006.01)

**F02C1/05** (2006.01)

**F02C6/18** (2006.01)

**F03G6/00** (2006.01)

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

F01K, F17C, F02C, F03G

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: 04.06.2014

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-3	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-3	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<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	WO 2013007859 A1 (BORDEBI TECN ENERGETICAS DEL FRIO S L et al.)	17.01.2013
D02	ES 2121608 T3 (CABOT CORP)	01.12.1998
D03	EP 2133515 A1 (HITACHI LTD)	16.12.2009
D04	US 2011127773 A1 (FREUND SEBASTIAN WALTER et al.)	02.06.2011
D05	US 7028481 B1 (MORROW CHARLES W)	18.04.2006

**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 un ciclo combinado con un ciclo Brayton cerrado, con un foco frío subambiental, y fluidos de trabajo de elevado coeficiente politrópico.

El ciclo combinado comprende (Reiv.1):

- un foco caliente que consiste en un horno solar, la combustión de gas natural licuado (GNL) o ambos en serie.
- un ciclo Brayton cerrado no regenerativo
- una caldera de recuperación del calor de los gases de escape del ciclo Brayton aprovechado en un ciclo Rankine
- un ciclo Rankine que opera con agua
- un sistema de refrigeración por gas natural licuado (GNL) que enfría el fluido de trabajo del ciclo Brayton (He, Ar o Xe) antes de entrar al compresor, y a continuación enfría el condensador del ciclo Rankine.

Como fluido de trabajo de elevado coeficiente politrópico en el ciclo Brayton se emplea helio, con alta temperatura conseguida en el horno solar, y muy baja temperatura en el foco frío (Reiv.2).

En la refrigeración del foco frío del ciclo Rankine se emplea GNL que se pretende regasificar (Reiv.3).

Se han encontrado en el estado de la técnica documentos que incorporan un ciclo combinado Brayton-Rankine y en el que se regasifica gas natural licuado.

Por ejemplo, en D01 se divulga un ciclo Brayton abierto (I) que emplea gas natural en su cámara de combustión, y cuyo calor de los gases de escape se aprovechan en intercambiadores de calor y evaporadores que forman parte de un ciclo Rankine (II) que emplea amoniaco como fluido de trabajo. Como foco frío se emplea el contenido en el GNL, pero a través de un tercer ciclo (III) que emplea agua de mar como fluido de trabajo, y un cuarto ciclo (IV) de baja temperatura que enlaza los demás (ver resumen y figura 1).

En el documento D02 se divulga otro ciclo combinado con un ciclo Brayton, un ciclo Rankine, y foco frío a partir de un sistema de gas natural licuado que se regasifica. En este sistema se emplea gas natural en la cámara de combustión del ciclo Brayton, los gases de escape se emplean en una caldera de recuperación que forma parte de un ciclo Rankine que opera con agua. Como foco frío final se emplea el aportado por el gas natural regasificado, pero a través de un ciclo cerrado de agua/glicol (20) y otro de agua que entra tanto en el intercambiador de calor antes de la entrada al compresor del ciclo Brayton (22) como en el condensador del ciclo Rankine (46) (ver figura 1).

Como puede verse, a diferencia del ciclo propuesto en la solicitud, los ciclos hallados en el estado de la técnica emplean ciclos intermedios entre el sistema de regasificación del GNL y el ciclo combinado Brayton-Rankine. Esta diferencia no es evidente, ya que determina los fluidos empleados en la solicitud a diferencia de los empleados en los documentos del estado de la técnica, así como el empleo de un ciclo Brayton cerrado y no abierto, que es lo que se había divulgado en D01 y D02.

Por tanto, se considera que la solicitud es nueva e inventiva (Artículos 6 y 8 de la Ley de Patentes).