

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 608 344**

21 Número de solicitud: 201500152

51 Int. Cl.:

**F17C 9/04** (2006.01)

**F01K 23/02** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

**25.02.2015**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**07.04.2017**

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:

**ROMERO GÓMEZ, Manuel ;  
FERREIRO GARCÍA, Ramón;  
CARBIA CARRIL, José;  
ROMERO GÓMEZ, Javier y  
BAALIÑA INSUA, Álvaro**

54 Título: **Planta térmica con regasificación de GNL y captura de CO<sub>2</sub>**

57 Resumen:

La presente invención denominada "Planta térmica con regasificación de GNL y captura de CO<sub>2</sub>", permite el aprovechamiento de la energía de refrigeración que se genera en la regasificación del GNL, al mismo tiempo, que captura el CO<sub>2</sub> procedente de los gases de combustión y está compuesta por:

- Un sistema de regasificación del GNL mediante un ciclo Brayton cerrado y expansión directa del GN en una turbina.
- Un ciclo Brayton cerrado que opera a altas temperaturas y tiene como sumidero de calor el proceso de regasificación del GNL.
- Un sistema de oxidcombustión que integra un ciclo Rankine que opera con CO<sub>2</sub> en condiciones de condensación próximas a la crítica, y permite la captura de CO<sub>2</sub> que se genera en la oxidcombustión, obteniendo de este modo, una planta térmica de alta eficiencia y nulas emisiones contaminantes.

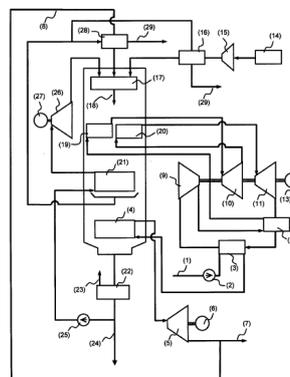


FIGURA 1

ES 2 608 344 A2

**DESCRIPCIÓN**

**PLANTA TÉRMICA CON REGASIFICACIÓN DE GNL Y CAPTURA DE CO<sub>2</sub>**

**CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION**

5 La presente invención pertenece al campo técnico de la conversión de energía térmica procedente de combustibles fósiles en energía eléctrica, mediante plantas térmicas con captura de CO<sub>2</sub>, procedente de los gases de combustión, asociadas a la regasificación de gas natural licuado (GNL).

10 **OBJETIVO DE LA INVENCION**

El objetivo de la presente invención denominada "Planta térmica con regasificación de GNL y captura de CO<sub>2</sub>", es la conversión de energía térmica a eléctrica mediante una planta que permita el aprovechamiento de la energía de refrigeración que se genera en el proceso de regasificación del GNL, y con captura de CO<sub>2</sub> procedente de los gases de combustión, obteniendo de este modo, una planta térmica de alta eficiencia y nulas emisiones contaminantes de CO<sub>2</sub>.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

20

El GNL se almacena en las plantas de regasificación en tanques criogénicos, a una temperatura aproximadamente de -160 °C a una presión ligeramente superior a la atmosférica. Sin embargo, el GNL debe ser regasificado antes de su distribución hacia los usuarios finales del gas. En este proceso de regasificación del GNL se libera una cantidad importante de energía de refrigeración, que con los sistemas convencionales se transmite al agua de mar o a otro fluido que trabaja como fuente de calor sin un aprovechamiento energético. Por ello, surge la necesidad de adoptar un método eficiente que permita recuperar esta energía de refrigeración del GNL como en un sumidero frío de una planta térmica para generar energía eléctrica.

25

Existen varias patentes que asocian la generación de energía eléctrica con aprovechamiento de la energía de refrigeración del GNL. En los documentos WO 2006111957 A2, US 943292 y US 4444015 A, se presentan patentes con distintas configuraciones de ciclos Rankine, donde el GNL se utiliza para condensar el fluido de trabajo del ciclo a una temperatura inferior a la atmosférica. En la patente número US 20060174627 A1 informan de un ciclo Brayton abierto, donde se emplea el aire de

35

admisión del compresor de la turbina de gas para conseguir la vaporización del GNL, al mismo tiempo que se baja la temperatura del aire, reduciendo así el trabajo de compresión. En el 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. Otra opción para los ciclos Brayton se plasma en la patente US 790333, aquí el GNL a distintos niveles de presión se utiliza para enfriar el fluido de trabajo a la entrada del compresor.

También es habitual asociar la regasificación del GNL con la generación de energía eléctrica en ciclos combinados a base de turbinas de gas y ciclos Rankine de vapor de agua. Esta elección se refleja en las patentes WO 2002097252 A1, US 20090282836 A1, WO 1995016105 A1, WO 2004109180 A1 y US 6367258, donde se muestran diferentes estructuras que integran la regasificación y los ciclos combinados. Estas estructuras se basan en emplear la energía de refrigeración del GNL para enfriar el aire de admisión de la turbina de gas y poder realizar la condensación del ciclo de vapor a una temperatura inferior a la atmosférica. En la patente WO 1991005145 A1 también se presenta un ciclo combinado, con la diferencia de que el fluido de trabajo del ciclo Rankine es el CO<sub>2</sub> y se condensa a -56.7 °C, gracias al aporte de energía del GNL.

En el estado actual de la tecnología relacionada con la generación de energía eléctrica con combustibles fósiles asociada a la regasificación del GNL, no es conocida ninguna alternativa tecnológica semejante a la de las características de este invento, que permite recuperar la energía refrigeración del GNL y la captura de CO<sub>2</sub>, procedente de los gases de combustión.

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

La presente invención se refiere a una planta térmica alimentada por GN, que aprovecha la energía de refrigeración del GNL y permite la captura de CO<sub>2</sub> procedente de los gases de combustión, y consiste en la combinación de los siguientes sistemas:

- 30 - Un sistema de regasificación del GNL mediante un ciclo Brayton cerrado (CBC) y expansión directa del GN en una turbina, acoplada a un generador eléctrico.
- Un CBC que opera a altas temperaturas y tiene como sumidero de calor el proceso de regasificación del GNL.

- Un sistema de oxidcombustión que integra un ciclo Rankine (CR) que opera con CO<sub>2</sub> en condiciones de condensación cuasi-crítica (próxima a las condiciones del punto crítico), y permite la captura de CO<sub>2</sub> que se genera en la oxidcombustión.

5 Ambos sistemas se hallan estructurados de manera que los gases de la oxidcombustión ceden primero calor al CBC, luego al CO<sub>2</sub> del CR al mismo tiempo que se consigue la condensación del vapor de agua de los gases, y a continuación calientan al GN antes de la entrada al expander y finalmente se envían al condensador del CR, donde se extraen los gases incondensables y se captura el CO<sub>2</sub> en estado líquido, a una temperatura próxima a la del medio de refrigeración del condensador que puede ser  
10 agua o aire.

### **DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

En esta sección se describen a modo ilustrativo y no limitativo, los componentes que  
15 constituyen la planta para facilitar la compresión de la invención en donde se hace referencia a las siguientes figuras:

Figura 1. Montaje esquemático de la planta térmica con aprovechamiento de la energía de refrigeración del GNL y captura de CO<sub>2</sub> procedente de los gases de  
20 combustión.

Figura 2. Sistema de regasificación del GNL.

Figura 3. Ciclo Brayton cerrado

Figura 4. Sistema de oxidcombustión con ciclo Rankin de CO<sub>2</sub> integrado.

25 Los componentes referenciados en las figuras 1, 2, 3 y 4 se identifican como sigue:

- Línea de suministro de GNL (1).
- Bomba de suministro de GNL de alta presión (2).
- Intercambiador de calor entre el fluido de trabajo de CBC y el GNL (3).
- Intercambiador de calor entre los gases de la oxidcombustión y el GN (4).
- 30 - Turbina de expansión directa del GN (5).
- Generador eléctrico de la turbina de expansión directa del GN (6).
- Línea de distribución de GN a usuarios (7).
- Línea de suministro de GN como combustible a la planta térmica (8).
- Compresor del CBC (9).
- 35 - Turbina de alta presión del CBC (10).

- Turbina de baja presión del CBC (11).
- Regenerador de calor del CBC (12).
- Generador eléctrico del CBC (13).
- Unidad de separación de aire (14).
- 5 - Compresor del oxígeno de la oxicomcombustión (15).
- Intercambiador de calor entre el agua condensada de los gases y el oxígeno de la oxicomcombustión (16).
- Cámara de combustión (17).
- Flujo de gases de combustión generados por la oxicomcombustión (18).
- 10 - Intercambiador de calor entre los gases de la oxicomcombustión y el fluido de trabajo del CBC (19).
- Intercambiador de calor entre los gases de la oxicomcombustión y el fluido de trabajo del CBC (20).
- Intercambiador de calor entre los gases de la oxicomcombustión y el CO<sub>2</sub> del CR (21).
- 15 - Condensador del CR (22).
- Línea de extracción de incondensables (23).
- Línea de extracción para la captura de CO<sub>2</sub> en estado líquido (24).
- Bomba del CR (25).
- Turbina del CR (26)
- 20 - Generador eléctrico del CR (27).
- Intercambiador de calor entre el agua condensada de los gases y el GN para la oxicomcombustión (28).
- Línea de extracción del agua condensada de los gases de la oxicomcombustión (29).

## 25 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

En esta invención se presenta una planta térmica que se caracteriza por su novedosa estructura para aprovechar la energía de refrigeración del GNL mediante un CBC combinado con la expansión del GN en una turbina de expansión directa y además, 30 permite la captura de CO<sub>2</sub> a través de un sistema de oxicomcombustión y un CR de CO<sub>2</sub> que opera en condiciones de condensación cuasi-crítica.

A continuación, se procede a describir los diferentes sistemas de la planta térmica objeto de la invención:

- Sistema de regasificación del GNL (figura 2): es donde se realiza la regasificación del GNL, al mismo tiempo que se aprovecha su energía de refrigeración para enfriar el fluido de trabajo a la entrada del compresor del CBC. El GNL procedente de la línea de suministro (1) se comprime con la bomba (2) a una presión superior a la de distribución del GN hacia el gaseoducto de distribución. La regasificación del GNL se realiza en el intercambiador de calor (3) mediante el calor aportado por el fluido de trabajo del CBC. A continuación, el GN se sobrecalienta en el intercambiador de calor (4) mediante los gases de la oxicomustión antes de la entrada a la turbina de expansión directa (5), que está acoplada al generador eléctrico (6). A la salida de la turbina (5) el GN se encuentra a la presión de distribución del gas hacia la línea de distribución del GN a los usuarios (7). Si la temperatura a la salida de la turbina (5) es inferior a establecida por las condiciones de distribución, se puede instalar un intercambiador de calor con agua o aire.

- Ciclo Brayton cerrado (figura 3): el CBC es un ciclo regenerativo con dos etapas de expansión y recalentamiento intermedio, utiliza el proceso de regasificación del GNL como sumidero de calor y puede utilizar como fluido de trabajo helio, nitrógeno, argón o aire seco. El fluido de trabajo se enfría en el intercambiador de calor (3), con la energía de refrigeración del GNL, hasta temperaturas criogénicas pudiendo alcanzar valores de - 150 °C. El fluido de trabajo se comprime en el compresor (9), recupera el calor en el regenerador (12), se sobrecalienta con la energía suministrada por los gases de la oxicomustión en el intercambiador de calor (19), se expande en la turbina de alta (10), se recalienta en el intercambiador (20), vuelve a expandirse en la turbina de baja (11) y finalmente se recupera su energía térmica en el regenerador (12).

- Sistema de oxicomustión con ciclo Rankin de CO<sub>2</sub> integrado (figura 4): La tecnología de la oxicomustión permite reducir prácticamente a cero las emisiones de CO<sub>2</sub> y de NO<sub>x</sub> por lo que se considera, como una opción importante para hacer frente a las restricciones ambientales, en particular, a las emisiones de gases de efecto invernadero. El proceso de oxicomustión utiliza O<sub>2</sub> en vez de aire para la reacción con el combustible, que en este caso preferiblemente será GN y tiene lugar, en condiciones de exceso de O<sub>2</sub> ligeramente superior a la estequiométrica. En los productos de este tipo de combustión se obtiene vapor de agua y elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub>, lo que permite una separación más fácil del CO<sub>2</sub> y la casi nula formación de NO<sub>x</sub>.

Para reducir la temperatura de la oxidación se emplea el CO<sub>2</sub>. El CR es medio de recirculación de CO<sub>2</sub> que permite bajar la temperatura de la combustión, al mismo tiempo que transforma la energía térmica de los gases de combustión en energía eléctrica por medio de una turbina acoplada a un generador eléctrico, y captura el CO<sub>2</sub> en estado líquido, logrando de este modo, una planta térmica sin emisiones contaminantes y con aprovechamiento de la energía de refrigeración del GNL.

5 El proceso comienza con la obtención del O<sub>2</sub> en la unidad de separación de aire (14). A continuación se comprime en el compresor (15) hasta la presión de la combustión y luego, aumenta su temperatura en el intercambiador de calor (16) con el agua condensada extraída de los gases de combustión.

10 Los otros dos elementos a la entrada de la cámara de combustión (17) son el GN, que se toma de la línea de suministro (8) y también es calentado por el agua condensada en el intercambiador de calor (28), y el CO<sub>2</sub> procedente de la evacuación de la turbina del CR (26). El CO<sub>2</sub> en las condiciones a la salida de la turbina (26) aún tiene una temperatura elevada, por lo que permite una reducción en el consumo de GN. La combustión se realiza a una presión superior a la presión de condensación del CO<sub>2</sub> a temperatura del agua de refrigeración del condensador.

15 El flujo de gases obtenido de la oxidación (18) cede calor al CBC por medio de los intercambiadores de calor (19) y (20). A continuación los gases transfieren parte de su energía térmica al CO<sub>2</sub> procedente de la bomba del condensador en el intercambiador (21), al mismo tiempo que el vapor de agua de los gases se condensa. El agua condensada se envía por la línea de extracción del agua condensada (29) a los intercambiadores de calor del O<sub>2</sub> (16) y del GN (28). A la salida del intercambiador de calor (21), el agua se obtiene como líquido saturado a la temperatura correspondiente a la presión parcial del vapor de agua en la mezcla de los gases.

20 Después de pasar por el intercambiador de calor (21), la composición de los gases es prácticamente CO<sub>2</sub> y pequeñas proporciones de gases incondensables, como puede ser O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> entre otros componentes. A continuación, en el intercambiador de calor (4), los gases calientan el GN antes de ser introducido en la turbina (5). Luego se envían al condensador (22) donde se extraen los gases incondensables por la línea de extracción (23) y el CO<sub>2</sub> pasa a estado líquido. La condensación se realiza en condiciones próximas al punto crítico y con agua u otro medio de refrigeración a temperatura ambiente.

30 El siguiente paso es la captura de CO<sub>2</sub> por la línea de extracción de CO<sub>2</sub> (24), para su posterior transporte y almacenamiento, y el resto se recircula con la bomba (25). La

cantidad de CO<sub>2</sub> que se captura se corresponde con el CO<sub>2</sub> generado por el GN en la oxicomcombustión y el que se recircula, a través del CR, es el necesario para enfriar la oxicomcombustión hasta temperatura deseada.

5 El CO<sub>2</sub> que circula por el CR se bombea a una presión superior a la crítica con la bomba (25), aumenta su temperatura en el intercambiador de calor (21) y finalmente se expande hasta la presión de la combustión en la turbina (26), acoplada a generador eléctrico (27), finalizando el ciclo.

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

10

En coherencia con la descripción del invento, se resalta una realización preferente de la invención mostrada la figura 1 y constituida por los siguientes sistemas:

- Un sistema de regasificación del GNL mediante un ciclo Brayton cerrado y expansión directa del GN en una turbina, acoplada a un generador eléctrico (figura 2).
- 15 - Un CBC que opera a altas temperaturas y tiene como sumidero de calor el proceso de regasificación del GNL (figura 3).
- Un sistema de oxicomcombustión que integra un ciclo Rankine (CR) que opera con CO<sub>2</sub> en condiciones de condensación cuasicríticas, y permite la captura de CO<sub>2</sub> que se genera en la oxicomcombustión del GN (figura 4).
- 20 Ambos sistemas se hallan estructurados de manera que los gases de la oxicomcombustión ceden primero calor al CBC, luego al CO<sub>2</sub> del CR al mismo tiempo que se consigue la condensación del vapor de agua de los gases, y a continuación calientan al GN antes de la entrada al expander y finalmente se envían al condensador del CR, donde se extraen los gases incondensables y se captura el CO<sub>2</sub> en estado líquido, a una
- 25 temperatura próxima a la del medio de refrigeración del condensador que puede ser agua o aire.

**REIVINDICACIONES**

1ª. Una planta térmica con regasificación de GNL y captura de CO<sub>2</sub> procedente de los gases de combustión, que comprende:

5 (a) Sistema de regasificación de GNL compuesto por:

- Una línea de suministro de GNL (1).
- Una bomba (2) para el GNL.
- Un intercambiador de calor (3) que permita la regasificación del GNL con el fluido de trabajo de un ciclo Brayton cerrado.

10 - Un intercambiador de calor (4) para aumentar la temperatura del GN.

- Una turbina de expansión directa (5) acoplada a un generador eléctrico (6).
- Una línea de suministro de GN a usuarios (7).

(b) Ciclo Brayton cerrado compuesto por:

15 - Un intercambiador de calor (3) para el enfriar el fluido de trabajo con la energía de refrigeración del GNL.

- Un compresor (9).
- Una turbina de alta presión (10).
- Una turbina de baja presión (11).
- Un generador eléctrico (13).

20 - Un regenerador (12).

- Un intercambiador de calor (19) antes de la turbina de alta presión.
- Un intercambiador de calor (20) antes de la turbina de baja presión.

(c) Sistema de oxidación con ciclo Rankine de CO<sub>2</sub> integrado compuesto por:

- Una unidad de separación de aire (14).

25 - Un compresor (15) para el oxígeno de la oxidación.

- Un intercambiador de calor (16) para el oxígeno de la oxidación.
- Una cámara de combustión (17).

- Un intercambiador de calor (19) entre los gases de la oxidación y el fluido de trabajo del ciclo Brayton.

30 - Un intercambiador de calor (20) entre los gases de la oxidación y el fluido de trabajo del ciclo Brayton.

- Un intercambiador de calor (21) entre los gases de la oxidación y el CO<sub>2</sub> del ciclo Rankine.

- Un condensador (22) para el ciclo Rankine.

35 - Una línea de extracción de incondensables (23) en el condensador (22).

- Una línea de extracción que permita la captura de CO<sub>2</sub> en estado líquido (24).
  - Una bomba (25) para el ciclo Rankine.
  - Una turbina de CO<sub>2</sub> (26).
  - Un generador eléctrico (27).
- 5 - Un intercambiador de calor (28) entre el agua condensada de los gases y el GN para la oxidcombustión.
- Una línea de extracción de agua condensada (29) procedentes de los gases de la oxidcombustión.
- 10 2ª. La planta térmica de acuerdo con la reivindicación 1ª, en la que la presión de regasificación del GNL es superior a su presión crítica y a la presión de distribución del GN hacia los gaseoductos de suministro hacia los usuarios del gas.
- 3ª. La planta térmica de acuerdo con la reivindicación 1ª, en la que el fluido de trabajo del ciclo Brayton puede ser helio, nitrógeno, argón o aire seco.
- 15 4ª. La planta térmica de acuerdo con la reivindicación 3ª, en la que el fluido de trabajo del ciclo Brayton puede alcanzar temperaturas inferiores a los -100 °C, a la entrada del compresor y temperaturas elevadas superiores a los 600 °C, a la entrada de la turbina de alta y baja.
- 20 5ª. La planta térmica de acuerdo con la reivindicación 4ª, en la que el aporte de calor al ciclo Brayton se realiza con la energía de los gases de una oxidcombustión.
- 25 6ª. La planta térmica de acuerdo con la reivindicación 5ª, en la que la oxidcombustión se realiza a una presión superior a la presión de condensación del CO<sub>2</sub> a temperatura del medio de refrigeración del condensador que puede ser agua o aire.
- 7ª. La planta térmica de acuerdo con la reivindicación 6ª, en la que la temperatura de la oxidcombustión se reduce con CO<sub>2</sub> procedente de la turbina del ciclo Rankine.
- 30 8ª. La planta térmica de acuerdo con la reivindicación 7ª, en la que la condensación de CO<sub>2</sub> se realiza en condiciones próximas a la crítica.

9<sup>a</sup>. La planta térmica de acuerdo con la reivindicación 8<sup>a</sup>, en la que la turbina de alta y la turbina de baja del ciclo Brayton cerrado están acopladas a un generador eléctrico.

10<sup>a</sup>. La planta térmica de acuerdo con la reivindicación 9<sup>a</sup>, en la que la turbina de expansión directa del GN está acoplada a un generador eléctrico.

11<sup>a</sup>. La planta térmica de acuerdo con la reivindicación 9<sup>a</sup>, en la que la turbina del ciclo Rankine está acoplada a un generador eléctrico.

12<sup>a</sup>. Un procedimiento de la planta térmica de acuerdo a la reivindicación 1<sup>a</sup>, en la el GNL se bombea a una presión superior a la crítica y a la presión de distribución del GN, se regasifica con el aporte de calor del fluido de trabajo del ciclo Brayton cerrado, se sobrecalienta con los gases de la oxicomustión y finalmente se expande en una turbina hasta la presión de distribución del GN.

13<sup>a</sup>. El procedimiento de la reivindicación 12<sup>a</sup>, en el que el fluido de trabajo del ciclo Brayton es enfriado a la entrada del compresor por el proceso de regasificación del GNL, realiza un ciclo regenerativo con dos etapas de expansión y recalentamiento intermedio y absorbe calor de los gases de la oxicomustión.

14<sup>a</sup>. El procedimiento de la reivindicación 13<sup>a</sup>, en el que para reducir la temperatura de la oxicomustión se emplea CO<sub>2</sub>. El ciclo Rankine es medio de recirculación de CO<sub>2</sub> que permite bajar la temperatura de la combustión, al mismo tiempo que transforma la energía térmica de los gases de combustión en energía eléctrica por medio de una turbina acoplada a un generador eléctrico.

15<sup>a</sup>. El procedimiento de la reivindicación 14<sup>a</sup>, en el que los gases de la oxicomustión ceden primero calor al fluido de trabajo del ciclo Brayton, luego al CO<sub>2</sub> del ciclo Rankine al mismo tiempo que se consigue la condensación del vapor de agua de los gases, y a continuación calientan al GN antes de la entrada al expander y finalmente se envían al condensador del ciclo, donde se extraen los gases incondensables y se captura el CO<sub>2</sub> en estado líquido, a una temperatura próxima a la del medio de refrigeración del condensador que puede ser agua o aire.

16ª. El procedimiento de la reivindicación 15ª, en el que el agua condensada de los gases de la oxcombustión se utiliza para calentar el GN y el O<sub>2</sub> que se necesita para la realizar la oxcombustión.

5

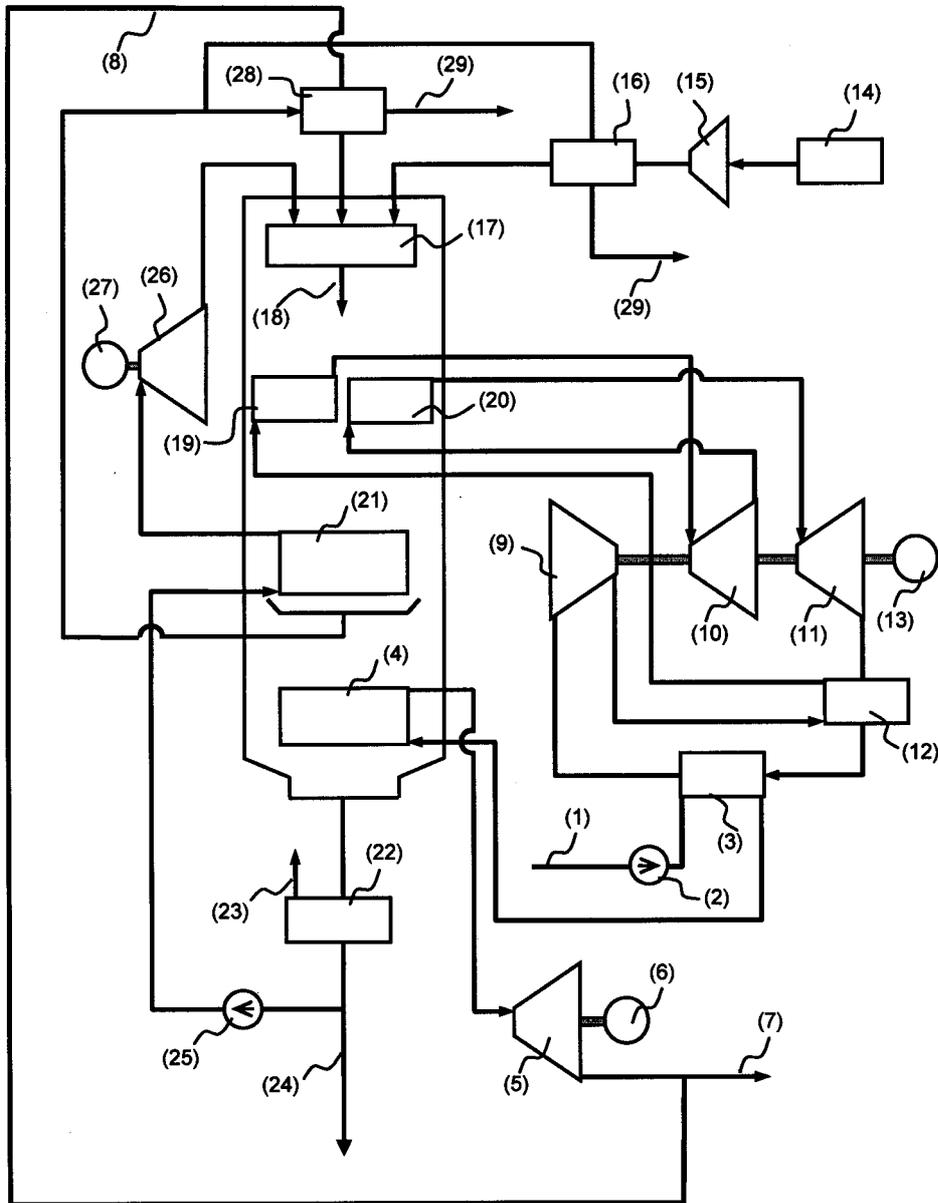


FIGURA 1

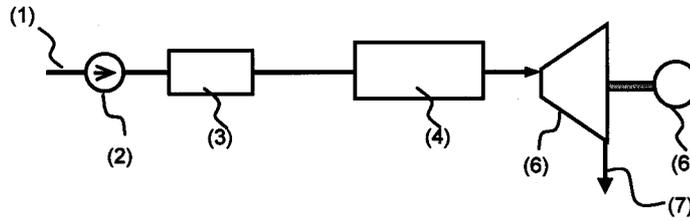


FIGURA 2

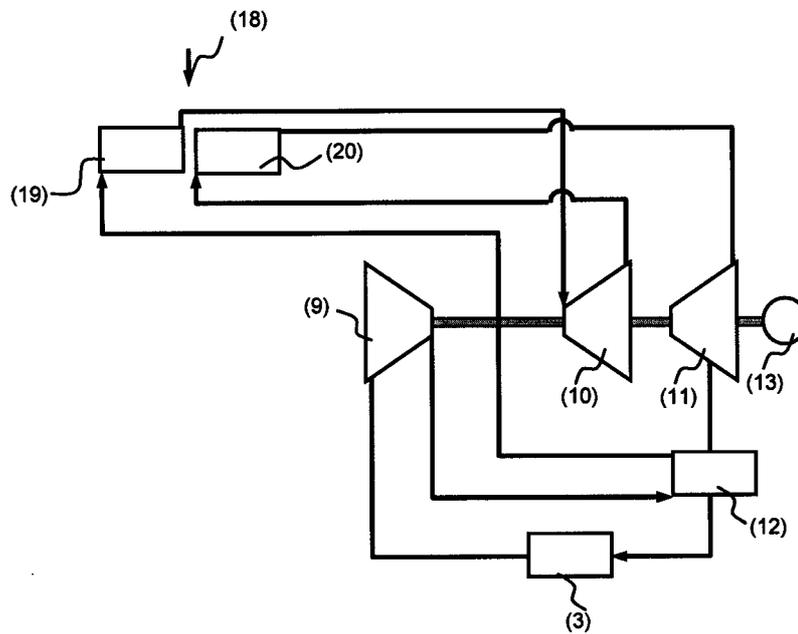


FIGURA 3

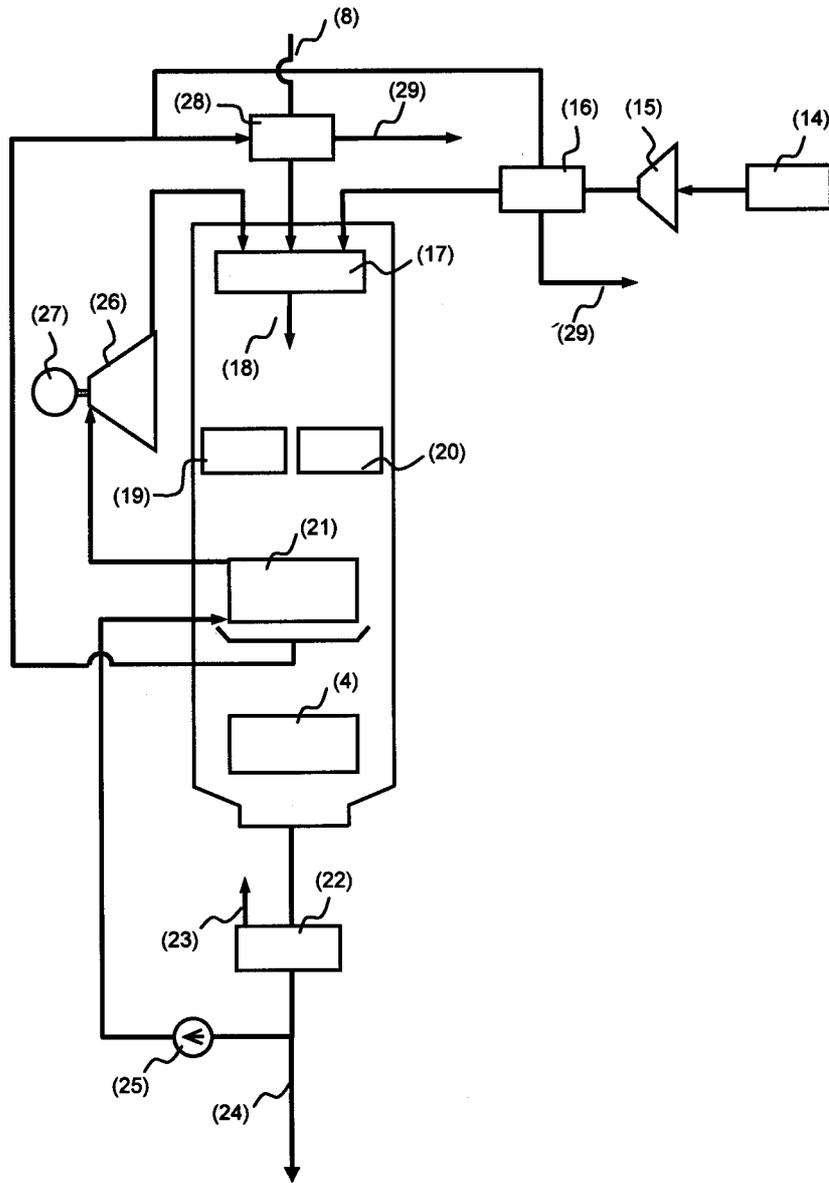


FIGURA 4