



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 357 755**

51 Int. Cl.:  
**F01K 27/00** (2006.01)  
**F01K 25/08** (2006.01)  
**F01K 25/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06728251 .7**  
96 Fecha de presentación : **10.04.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1888883**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.02.2008**

54 Título: **Sistema de energía y regasificación a base de GNL.**

30 Prioridad: **21.04.2005 US 110935**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**29.04.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**29.04.2011**

73 Titular/es: **ORMAT TECHNOLOGIES Inc.**  
**6225 Neil Road Suite 300**  
**Reno, Nevada 89511-1136, US**

72 Inventor/es: **Klochko, Marat;**  
**Kaplan, Uri;**  
**Batscha, Danny;**  
**Amir, Nadav;**  
**Machlev, David y**  
**Bronicki, Lucien Y.**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 357 755 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

## Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de la generación de energía. Más concretamente, la invención se refiere a un sistema que tanto utiliza gas natural licuado para generar energía y regasifica el gas natural licuado.

## 5 Antecedentes de la invención

En algunas regiones del mundo, el transporte de gas natural mediante gasoductos no es económico. Por consiguiente, el gas natural se enfría a una temperatura por debajo de su punto de ebullición, por ejemplo, -160 °C, hasta que se vuelve líquido y el gas natural licuado (GNL) se almacena subsecuentemente en tanques. Dado que el volumen del gas natural es considerablemente menor en la fase líquida que en la fase gaseosa, el GNL puede ser transportado en barco conveniente y económicamente hasta un puerto de destino.

En la vecindad del puerto de destino, el GNL es transportado a una terminal de regasificación, en el que se recalienta mediante intercambio de calor con agua marina o con el gas de escape de turbinas de gas y se convierte en gas. Cada terminal de regasificación está conectado habitualmente con una red de distribución de gasoductos de modo que el gas natural regasificado pueda ser transmitido a un usuario final. Aunque un terminal de la regasificación es eficiente en términos de la capacidad para vaporizar el GNL de modo que pueda ser transmitido a usuarios finales, existe una necesidad de un procedimiento eficiente para utilizar de modo controlado el potencial frío del GNL como un sumidero de frío para un condensador a fin de generar energía.

El uso de ciclos de Rankine para la generación de energía a partir de GNL en evaporación es considerado en "Design of Rankine Cycles for power generation from LNG", Maartens, J., International Journal of Refrigeration, 1986, vol. 9, Mayo. Además, ciclos de energía adicionales que utilizan GNL/GLP (gas licuado de petróleo) se consideran en la patente norteamericana nº 6.367.258. Otro ciclo de energía que utiliza GNL se considera en la patente norteamericana nº 6.336.316. Más ciclos de energía que utilizan GNL se describen en "Energy recovery on LNG import terminals EROs RT project" por Snecma Moteurs, facilitado por Gastech 2005, The 21st International Conference & Exhibition for the LNG, LPG and Natural Gas Industries, 14/17 de marzo de 2005, Bilbao, España.

De acuerdo al documento FR-A- 2 300 216 se proporciona un proceso para calentar y vaporizar gas natural líquido, en el que parte de la energía requerida se extrae de un primer agente de calentamiento y otra parte de un segundo agente de calentamiento que fluye en un circuito en el cual se condensa por intercambio de calor con el gas natural líquido, a continuación se vaporiza, calienta y expande en una turbina para realizar trabajo, siendo calor residual de un motor diesel al menos parte del calor utilizado para vaporizar y calentar el segundo agente de calentamiento.

Por otro lado, un ciclo de energía que incluye una planta de energía de ciclo combinado y una planta de energía de ciclo de Rankine orgánico que utiliza el condensador de la turbina de vapor como su fuente de calor, se divulga en la patente norteamericana nº 5.687.570, cuya descripción se incluye en la presente memoria por referencia.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un sistema de energía y regasificación a base de GNL, que utiliza la baja temperatura del GNL como un sumidero de frío para el condensador del sistema de energía con el fin de generar electricidad o producir energía para su uso directo. Otros objetos y ventajas de la invención serán aparentes a medida que avanza la descripción.

## Resumen de la invención

La presente invención proporciona un sistema de energía y un sistema de regasificación de ciclo de Rankine orgánico cerrado basados en gas natural licuado (GNL), que comprende:

- 40 a) un vaporizador en el que se vaporiza un fluido de trabajo líquido, siendo dicho fluido de trabajo líquido un fluido de trabajo licuado por el GNL;
- b) una turbina para la expansión del fluido de trabajo vaporizado y la producción de energía;
- c) un condensador al cual se suministra vapor del fluido de trabajo expandido, estando alimentado dicho condensador igualmente con GNL para recibir calor de dicho vapor de fluido expandido en el que dicho GNL condensa dicho fluido de trabajo expandido que abandona la turbina y por lo cual la temperatura del GNL aumenta a medida que fluye a través del condensador;
- 45 d) una tubería para transmitir GNL regasificado  
caracterizado por:
- 50 e) un condensador/calentador para condensar vapores extraídos de una etapa intermedia de dicha turbina y calentar un condensado de fluido de trabajo suministrado a dicho condensador/calentador de dicho condensador.

5 Se genera energía debido a la gran diferencia de temperatura entre el GNL frío, por ejemplo, aproximadamente a  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y la fuente de calor del vaporizador. La fuente de calor del vaporizador puede ser agua marina a una temperatura de, aproximadamente,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o calor tal como un gas de escape descargado de una turbina de gas o una corriente de baja presión que abandona una turbina de vapor de condensación. El sistema comprende además una bomba para suministrar fluido de trabajo líquido al vaporizador.

El sistema comprende además una bomba para suministrar fluido de trabajo líquido al vaporizador.

El sistema puede comprender además un compresor para comprimir GNL regasificado y transmitir dicho GNL regasificado comprimido a lo largo de un gasoducto a usuarios finales. El compresor puede estar acoplado a la turbina. El GNL regasificado puede ser transmitido asimismo mediante la tubería a un depósito.

10 De acuerdo con la invención, el sistema de energía es un sistema de energía de ciclo de Rankine cerrado tal que el conducto se extiende además desde la salida de los medios de intercambio de calor a la entrada del vaporizador, y los medios de intercambio de calor son un condensador mediante el cual el GNL condensa el fluido de trabajo expulsado de la turbina a una temperatura que abarca, aproximadamente, de  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El fluido de trabajo es preferiblemente un fluido orgánico tal como etano, etileno o metano o equivalentes, o una mezcla de propano y etano o equivalentes. La temperatura del GNL calentado por el escape de la turbina es aumentada preferiblemente  
15 adicionalmente por medio de un calentador.

En otro modo de realización de la invención, el sistema de energía incluye una planta de energía de ciclo cerrado y una planta de energía de ciclo abierto en el que el fluido de trabajo en la planta de energía de ciclo abierto es GNL, y los medios de intercambio de calor son un calentador para regasificar el GNL expulsado de la turbina.

20 La fuente de calor del calentador puede ser agua marina a una temperatura que abarca, aproximadamente, de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o calor residual tal como un gas de escape descargado de una turbina de gas.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos:

- la fig. 1 es un montaje esquemático de un sistema de energía de ciclo cerrado;
- 25 – la fig. 2 es un diagrama de temperatura-entropía del sistema de energía de ciclo cerrado de la fig. 1;
- la fig. 3 es un montaje esquemático de un sistema de energía de ciclo abierto;
- la fig. 4 es un diagrama de temperatura-entropía del sistema de energía de ciclo abierto de la fig. 3;
- la fig. 5 es un montaje esquemático de un sistema de energía de ciclo cerrado adicional;
- la fig. 6 es un diagrama de temperatura-entropía del sistema de energía de ciclo cerrado de la fig. 5;
- 30 – la fig. 7 es un montaje esquemático de un sistema de energía de ciclo cerrado de dos niveles de presión;
- la fig. 7A es un montaje esquemático de una versión alternativa del sistema de energía de ciclo cerrado de dos niveles de presión mostrado en la fig. 7, de acuerdo con un modo de realización de la invención;
- 35 – la fig. 7B es un montaje esquemático de una versión alternativa adicional del sistema de energía de ciclo cerrado de dos niveles de presión mostrado en la fig. 7, de acuerdo con un modo de realización adicional de la invención;
- la fig. 7C es un montaje esquemático de versiones alternativas adicionales del sistema de energía de ciclo cerrado de dos niveles de presión mostrado en la fig. 7, de acuerdo con un modo de realización  
40 adicional de la invención;
- la fig. 7D es un montaje esquemático de una versión alternativa adicional del sistema de energía de ciclo cerrado de dos niveles de presión mostrado en la fig. 7, de acuerdo con un modo de realización adicional de la invención;
- 45 – la fig. 7E es un montaje esquemático de una versión alternativa adicional del sistema de energía de ciclo cerrado de dos niveles de presión mostrado en la fig. 7, de acuerdo con un modo de realización adicional de la invención;
- la fig. 7F es un montaje esquemático de una versión alternativa adicional de un sistema de energía de ciclo abierto de dos niveles de presión;

- la fig. 7G es un montaje esquemático de una versión alternativa adicional del sistema de energía de ciclo abierto de dos niveles de presión mostrado en la fig. 7F;
- la fig. 7H es un montaje esquemático de una versión alternativa adicional del sistema de energía de ciclo abierto de dos niveles de presión mostrado en la fig. 7F;
- 5      – la fig. 7I es un montaje esquemático de una versión alternativa adicional del sistema de energía de ciclo abierto de dos niveles de presión mostrado en la fig. 7F;
- la fig. 7J es un montaje esquemático de una versión alternativa adicional del sistema de energía de ciclo abierto de dos niveles de presión mostrado en la fig. 7F;
- 10     – la fig. 7K es un montaje esquemático de una versión alternativa adicional del sistema de energía de ciclo abierto de dos niveles de presión mostrado en la fig. 7F;
- la fig. 7L es un montaje esquemático de modos de realización adicionales de un sistema de energía de ciclo abierto;
- la fig. 7M es un montaje esquemático de un modo de realización adicional de la presente invención que incluye una planta de energía de ciclo cerrado y una planta de energía de ciclo abierto;
- 15     – la fig. 8 es un montaje esquemático de un sistema de energía de ciclo cerrado de acuerdo con un modo de realización adicional de la invención; y
- la fig. 9 es un montaje esquemático de un sistema de energía de ciclo cerrado de acuerdo con todavía un modo de realización adicional de la invención. Números de referencia y símbolos similares se refieren a componentes similares.

20      Descripción detallada de modos de realización preferidos

La presente invención es un sistema de energía y regasificación basado en gas natural licuado (GNL). Mientras que en el estado de la técnica anterior el GNL transportado, por ejemplo principalmente metano, es vaporizado en un terminal de regasificación siendo pasado a través de un intercambiador de calor, en el que agua marina u otra fuente de calor, por ejemplo el escape de una turbina de gas, calienta el GNL por encima de su punto de ebullición, se necesita un procedimiento eficiente para utilizar el GNL frío para producir energía. Al emplear el sistema de energía de la presente invención, el potencial de temperatura fría del GNL sirve como un sumidero de frío de un ciclo de energía. Se genera electricidad o energía debido a la gran diferencia de temperatura entre el GNL frío y la fuente de calor, por ejemplo, agua marina.

Las figs. 1 y 2 ilustran un modo de realización de la invención, en el que un GNL frío sirve como el medio de sumidero de frío en el condensador de una planta de energía de ciclo de Rankine cerrado. La fig. 1 es un montaje esquemático del sistema de energía y la fig. 2 es un diagrama de temperatura-entropía del ciclo cerrado.

El sistema de energía de un ciclo de Rankine cerrado se designa generalmente por el número 10. Un fluido orgánico, tal como etano, etileno o metano o un equivalente, es el fluido de trabajo preferido para el sistema de energía 10 y circula a través de conductos 8. Una bomba 15 suministra fluido orgánico líquido en un estado A, cuya temperatura abarca, aproximadamente, de -80 °C a -120 °C, a un vaporizador 20 en un estado B. El agua marina en una tubería 18 a una temperatura promedio de, aproximadamente, 5-20 °C introducida en el vaporizador 20 sirve para transferir calor al fluido de trabajo que pasar a través del mismo (esto es, del estado B al estado C). La temperatura del fluido de trabajo se eleva consecuentemente por encima de su punto de ebullición hasta una temperatura de, aproximadamente, -10 °C a 0 °C, y el fluido de trabajo vaporizado producido se suministra a una turbina 25. El agua marina descargada del vaporizador 20 a través de la tubería 19 se devuelve al océano. A medida que el fluido de trabajo vaporizado se expande en la turbina 25 (esto es, del estado C al estado D), se produce energía, o preferiblemente electricidad, por un generador 28 accionado por la turbina 25. Preferiblemente, la turbina 25 gira, aproximadamente, a 1500 RPM o 1800 RPM. El GNL en la tubería 32 a una temperatura promedio de, aproximadamente, -160 °C introducido en un condensador 30 (esto es, en un estado E) sirve para condensar el fluido de trabajo que abandona la turbina 25 (esto es, del estado D al estado A) que corresponde a una fase líquida, de modo que la bomba 15 suministra el fluido de trabajo líquido al vaporizador 20. Dado que el GNL rebaja la temperatura del fluido de trabajo hasta una temperatura considerablemente más baja de, aproximadamente, -80 °C a -120 °C, la energía recuperable disponible por la expansión del fluido de trabajo vaporizado en la turbina 25 es relativamente elevada.

La temperatura del GNL en la tubería 32 (esto es, en el estado F) aumenta una vez que se transfiere calor al mismo en el condensador 30 a través del fluido de trabajo expandido que abandona la turbina 25, y aumenta adicionalmente por el agua marina, que es pasada a través de un calentador 36 a través de la tubería 37. El agua marina descargada del calentador 36 a través de la tubería 38 es devuelta al océano. La temperatura del agua marina introducida en el calentador 35 es habitualmente suficiente para regasificar el GNL, que puede ser mantenido en un contenedor de almacenamiento 42 o, alternativamente, ser comprimido y despachado por un compresor 45 a través de una tubería 43 a un gasoducto para la distribución del GNL vaporizado a usuarios finales. Un compresor 40 para

regasificar el gas natural antes de su transmisión puede ser accionado por la energía generada mediante la turbina 25 o, si se prefiere, accionado por la electricidad producida por un generador eléctrico 25.

Cuando no hay disponibilidad de agua marina, o no se utiliza, o no es adecuada para su uso, el calor tal como el contenido en el gas de escape de una turbina de gas puede ser utilizado para transferir calor al fluido de trabajo en el vaporizador 20 o al gas natural directamente o a través de un fluido de transferencia de calor secundario (en un calentador 36).

Las figs. 3 y 4 ilustran otro modo de realización de la invención, en el que el GNL es el fluido de trabajo de una planta de energía de ciclo abierto. La fig. 3 es un montaje esquemático del sistema de energía y la fig. 4 es un diagrama de temperatura-entropía del ciclo abierto.

El sistema de energía de un ciclo abierto a base de turbina se designa generalmente por el número 50. El GNL 72, por ejemplo transportado por un barco a un destino seleccionado, es el fluido de trabajo para el sistema de energía 50 y circula a través de conductos 48. Una bomba 55 suministra GNL frío en un estado G, cuya temperatura es, aproximadamente,  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a un vaporizador 60 en un estado H. Agua marina a una temperatura promedio de, aproximadamente,  $5\text{-}20\text{ }^{\circ}\text{C}$  introducida a través de la tubería 18 al vaporizador 60 sirve para transferir calor al GNL que pasa a través del mismo de un estado H a un estado I. La temperatura del GNL se eleva consecuentemente por encima de su punto de ebullición hasta una temperatura de, aproximadamente,  $-10\text{ a }0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y el GNL vaporizado producido se suministra a una turbina 65. El agua marina se descarga del vaporizador 60 a través de la tubería 19 y se devuelve al océano. A medida que el GNL vaporizado se expande en la turbina 65 del estado I al estado J, se produce energía o preferiblemente electricidad por un generador 68 acoplado a la turbina 65. Preferiblemente, la turbina 65 gira a 1500 RPM o 1800 RPM. Dado que el GNL en el estado G tiene una temperatura considerablemente baja de  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  y es presurizado subsecuentemente por la bomba 55 del estado G al estado H de modo que se produzca vapor a alta presión en el vaporizador 60, la energía en GNL vaporizado es relativamente elevada y se utiliza por expansión en la turbina 65.

La temperatura del vapor de GNL en el estado J, tras su expansión en la turbina 65, es aumentada transfiriendo calor al mismo del agua marina, que es suministrada al calentador 75, y pasa a través del mismo, mediante la tubería 76. El agua marina es descargada del calentador 75 a través de la tubería 77 y devuelta al océano. La temperatura del agua marina introducida en el calentador 75 es suficiente para calentar el vapor de GNL, que puede ser mantenido en un depósito 82 o, alternativamente, ser comprimido y suministrado por un compresor 85 a través de la tubería 83 a un gasoducto para la distribución de GNL vaporizado a usuarios finales. El compresor 80 que comprime el gas natural antes de su transmisión puede ser accionado mediante la energía generada por la turbina 65 o, si se prefiere, accionado por la electricidad producida por un generador eléctrico 68. Alternativamente, la presión del gas natural vaporizado descargado de la turbina 65 puede ser lo suficientemente alta de modo que el gas natural que es calentado en el calentador 75 pueda ser transmitido a través de un gasoducto sin que sea necesario un compresor.

Cuando no se dispone de agua marina o no se utiliza, el calor, tal como el calor contenido en el gas de escape de una turbina de gas, puede ser utilizado para transferir calor al gas natural en el vaporizador 60 o el calentador 75 o a través de un fluido de transferencia de calor secundario.

Volviendo a la fig. 5, se muestra un modo de realización adicional, designado como 10B, de un sistema de energía de ciclo cerrado (similar al modo de realización descrito con referencia a la fig. 1), en el que se utiliza una bomba 40A de GNL para presurizar el GNL antes de suministrarlo a un condensador 30A a una presión de, por ejemplo, aproximadamente 80 bares, para producir una presión adecuada para el GNL regasificado para su suministro a través de una tubería 43 a un gasoducto para distribuir GNL vaporizado a usuarios finales. Una bomba 40B se utiliza en lugar del compresor en el modo de realización mostrado en la fig. 1. Básicamente, el funcionamiento del presente modo de realización es similar al funcionamiento del modo de realización de la presente invención descrito con referencia a las figs. 1 y 2. Consecuentemente, este modo de realización es más eficiente. Preferiblemente, la turbina 25B incluida en este modo de realización gira a 1500 RPM o 1800 RPM. Además, el fluido de trabajo preferido para un sistema de energía de ciclo de Rankine orgánico cerrado en este modo de realización es una mezcla de propano y etano o equivalentes. Sin embargo, se puede utilizar asimismo etano, etileno o fluidos de trabajo orgánicos adecuados en este modo de realización. Esto es debido a que la curva de enfriamiento de la mezcla de fluidos de trabajo orgánico propano/etano en el condensador 30A es más adecuada para la curva de calentamiento del GNL a tales presiones altas, permitiendo que la fuente de enfriamiento de GNL sea utilizada más eficientemente (véase la fig. 6). Sin embargo, si se prefiere, se puede utilizar aquí un ciclo de Rankine orgánico de doble presión que utilice un único fluido de trabajo, por ejemplo, preferiblemente etano, etileno o un equivalente, en el que se pueden utilizar dos niveles de expansión y asimismo dos condensadores diferentes (véase la fig. 7). Como se puede observar, los vapores orgánicos expandidos se extraen de una turbina 25B en una etapa intermedia a través de la tubería 26B y se suministran a un condensador 31B en el que se produce un condensado del fluido de trabajo orgánico. Además, vapores orgánicos expandidos adicionales abandonan la turbina 25B a través de la tubería 27B y son suministrados a un condensador 30B adicional en el que se produce un condensado del fluido de trabajo orgánico adicional. Preferiblemente, la turbina 25B gira a 1500 RPM o 1800 RPM. El condensado producido en los condensadores 30B y 31B se suministra a un vaporizador 20B utilizando una bomba de recirculación II, 16B y una bomba de recirculación I, 15B, respectivamente, en donde se suministra agua marina (u otro calentador equivalente) a través de la tubería 18B para proporcionar calor al fluido de trabajo líquido presente en el vaporizador 20B, y producir un fluido de trabajo vaporizado. Los condensadores 30B y 31B

son alimentados asimismo con GNL utilizando una bomba 40B, de manera que el GNL es presurizado a una presión relativamente alta de, por ejemplo, aproximadamente 80 bares. Como se puede ver en la fig. 7, el GNL se suministra en primer lugar al condensador 30B para condensar el vapor de fluido de trabajo orgánico a presión relativamente baja que abandona la turbina 25B, y a continuación el GNL calentado que abandona el condensador 30B es suministrado al condensador 31B para condensar el vapor de fluido de trabajo orgánico a presión relativamente más elevada extraído de la turbina 25B. Así pues, de acuerdo con este modo de realización de la presente invención, la velocidad de suministro o caudal del fluido de trabajo en el ciclo de extracción, esto es, la tubería 26, el condensador 31B y la bomba de recirculación I, 15B, puede ser aumentada de modo que se pueda producir energía adicional. A continuación, el GNL calentado adicionalmente que abandona el condensador 31B es suministrado preferiblemente a un calentador 36B para producir vapor de GNL que puede ser mantenido en el depósito 42B o, alternativamente, ser enviado a través de la tubería 43B a un gasoducto para distribuir GNL vaporizado a usuarios finales. Aunque sólo se muestra una turbina en la fig. 7, si se prefiere se pueden utilizar dos módulos de turbina separados, esto es, un módulo de turbina de alta presión y un módulo de turbina de baja presión.

En una versión alternativa (véase la fig. 7A) del último modo de realización mencionado, se puede utilizar un condensador/calentador 32B' de contacto directo junto con condensadores 30B' y 31B'. Utilizando un condensador/calentador 32B' de contacto directo se asegura que el fluido de trabajo suministrado a un vaporizador 20B' no se enfriará y existirá así un escaso peligro de congelar el agua marina o el medio de calentamiento en el vaporizador. Además, el caudal del fluido de trabajo en el ciclo de energía puede ser aumentado adicionalmente permitiendo por ello un aumento de la energía producida. Además, por lo tanto, las dimensiones de la turbina en, por ejemplo, su primera etapa pueden ser mejoradas, por ejemplo permitiendo el uso de palas de un tamaño mayor. Consecuentemente, aumenta la eficiencia de turbina.

En una versión alternativa adicional (véase la fig. 7B) del modo de realización descrito con referencia a la fig. 7, se incluye un recalentador 22B'' y se utiliza conjuntamente con un condensador/calentador 32B'' de contacto directo y condensadores 30B'' y 31B''. Al incluir el recalentador se reduce o elimina sustancialmente la humedad de los vapores que abandonan el módulo de turbina de alta presión 24B'', permitiendo así que los vapores suministrados al módulo de turbina de baja presión 25B estén sustancialmente secos, de modo que se pueda conseguir una expansión y producción de energía efectivas. Si se prefiere, se puede utilizar una fuente de calor para proporcionar calor al vaporizador mientras que se puede proporcionar otra fuente de calor para alimentar al recalentador.

En ambas alternativas descritas con referencia a las fig. 7A o 7B, la posición de los condensadores/calentadores 32B' y 32B'' de contacto directo puede ser cambiada de modo que la entrada del condensador/calentador 32B' de contacto directo pueda recibir un condensado de fluido de trabajo que abandone el condensador 31B' de presión intermedia (véase la fig. 7A), mientras que el condensador/calentador 32B'' de contacto directo puede recibir un condensado de fluido de trabajo presurizado que abandona la bomba de recirculación 16B'' (véase la fig. 7B).

En una versión alternativa adicional (véase la fig. 7C) del modo de realización descrito con referencia a la fig. 7, un condensado producido en un condensador 30B''' de baja presión (o condensador de baja presión 30B''') puede ser suministrado igualmente a un condensador de presión intermedia 31B''' (condensador de presión intermedia 31B''') para producir un condensado a partir del vapor a presión intermedia extraído de una etapa intermedia de la turbina por contacto directo o indirecto, respectivamente.

La fig. 7D muestra todavía una versión alternativa adicional del modo de realización descrito con referencia a la fig. 7, en la que en lugar de utilizar un condensador/calentador de contacto directo, se utiliza un condensador/calentador indirecto. En esta alternativa, sólo se puede utilizar una única bomba de recirculación por lo que se pueden utilizar válvulas adecuadas en las tuberías de condensado de presión intermedia.

En un modo alternativo mostrado en la fig. 7E, sólo se utiliza un único condensador indirecto que utiliza GNL, mientras se utiliza asimismo un condensador/calentador de contacto directo.

En un modo de realización adicional de la presente invención (véase la fig. 7F), el número 50A designa una planta de energía de ciclo abierto en la que una porción del GNL es extraído de la tubería principal del GNL y circulado a través de una turbina para producir energía. En este modo de realización, se utilizan dos condensadores/calentadores de contacto directo para condensar vapor extraído y que abandona la turbina respectivamente utilizando GNL presurizado, presurizado mediante una bomba 55A antes de suministrarlo a los condensadores/calentadores de contacto directo.

En una versión alternativa, designada como 50B en la fig. 7G, del modo de realización descrito con referencia a la fig. 7F que utiliza una planta de energía de ciclo abierto, se incluye un recalentador 72B y se utiliza conjuntamente con condensadores/calentadores 31B y 33B de contacto directo. Al incluir el recalentador, la humedad de los vapores que abandonan el módulo de turbina de alta presión 64B será sustancialmente reducida o eliminada, asegurando así que los vapores suministrados al módulo de turbina de baja presión 65B estarán sustancialmente secos, de modo que se pueda conseguir una expansión y una producción de energía efectivas. Si se prefiere, se puede utilizar una fuente de calor para proporcionar calor al vaporizador, mientras que se puede proporcionar otra fuente de calor para alimentar el recalentador.

Todavía en una opción alternativa adicional del modo de realización descrito con referencia a la fig. 7F en la que se utiliza una planta de energía de ciclo abierto, se pueden utilizar dos condensadores de contacto indirecto en lugar de los condensadores de contacto directo utilizados en el modo de realización descrito con referencia a la fig. 7F. Se pueden utilizar dos configuraciones diferentes para los dos condensadores de contacto indirecto (véanse las figs. 7H y 7I).

En una opción alternativa adicional del modo de realización descrito con referencia a la fig. 7F, en el que se utiliza una planta de energía de ciclo abierto, se puede utilizar un condensador/calentador de contacto directo adicional además de los dos condensadores de contacto indirecto (véase la fig. 7J).

Además, si se prefiere, en una opción alternativa adicional (véase la fig. 7K) del modo de realización descrito con referencia a la fig. 7F en el que se utiliza una planta de energía de ciclo abierto, se pueden utilizar un condensador de contacto directo y un condensador de contacto indirecto.

Además, en un modo de realización adicional, si se prefiere, en una planta de energía de ciclo abierto se puede utilizar un condensador de contacto directo o un condensador de contacto indirecto (véase la fig. 7L).

Además, en un modo de realización adicional, si se prefiere, se pueden combinar una planta de energía de ciclo abierto y una planta de energía de ciclo cerrado (véase la fig. 7M). En este modo de realización, se puede utilizar cualquiera de las alternativas descritas como parte de la porción de planta de energía de ciclo abierto y/o la porción de planta de energía de ciclo cerrado.

Además, debe señalarse que, si se prefiere, los componentes de las diversas alternativas pueden ser combinados. Además, igualmente si se prefiere, ciertos componentes pueden ser omitidos de las alternativas. Adicionalmente, una alternativa utilizada en una planta de energía de ciclo cerrado puede ser utilizada en una planta de energía de ciclo abierto. Por ejemplo, la alternativa descrita con referencia a la fig. 7C (planta de energía de ciclo cerrado) puede ser utilizada en una planta de energía de ciclo abierto (por ejemplo, se pueden utilizar los condensadores 30B''' y 31B''' en lugar de los condensadores 33B' y 34B' mostrados en la fig. 7H, se pueden utilizar los condensadores 30B'''' y 31B'''' en lugar de los condensadores 33B' y 34B', mostrados en la fig. 7H).

Además, aunque aquí se describen dos niveles de presión, se pueden utilizar varios o un número de niveles de presión y, si se prefiere, se puede utilizar un número equivalente de condensadores para proporcionar un uso efectivo del GNL presurizado como un sumidero o fuente de frío para los ciclos de energía.

En la fig. 8 se muestra un modo de realización adicional de la presente invención, en el que se utiliza un sistema de energía de ciclo de Rankine orgánico cerrado. El número 10C designa un sistema de planta de energía que incluye un sistema de turbina de vapor 100 igualmente cerrado se utiliza así como un sistema de energía de ciclo de Rankine orgánico 35C. Asimismo aquí se utiliza preferiblemente una bomba 40C de GNL para presurizar el GNL antes de suministrarlo a un condensador 30C a una presión de, por ejemplo, aproximadamente 80 bares, para producir una presión para el GNL regasificado adecuada para su suministro a través de la tubería 43C a un gasoducto para la distribución de GNL vaporizado a usuarios finales. En este modo de realización, el fluido de trabajo orgánico preferido es etano o equivalente. Preferiblemente en este modo de realización, el sistema de planta de energía 10C incluye además una unidad de turbina de gas 125, cuyo gas de escape proporciona la fuente de calor para el sistema de turbina de vapor 100. En tal caso, como se puede ver en la fig. 8, el gas de escape de la turbina de gas 124 es suministrado a un vaporizador 120 para producir vapor a partir del agua contenida en el mismo. El vapor producido se suministra a una turbina de vapor 105 en donde se expande y produce energía y acciona preferiblemente un generador eléctrico 110 que genera electricidad. El vapor expandido se suministra a un condensador/vaporizador de vapor 120C en el que es producido un condensado de vapor y la bomba de recirculación 115 suministra el condensado de vapor al vaporizador 120, completando así el ciclo de turbina de vapor. El condensado/vaporizador 120C actúa asimismo como un vaporizador y vaporiza un fluido de trabajo orgánico líquido presente en el mismo. El vapor del fluido de trabajo orgánico producido es suministrado a una turbina de vapor orgánico 25C y se expande en la misma y produce energía y preferiblemente acciona un generador eléctrico 28C que genera electricidad. Preferiblemente, la turbina 25C gira a 1500 RPM o 1800 RPM. El vapor de fluido de trabajo orgánico expandido que abandona la turbina de vapor orgánico es suministrado a un condensador 30C en el que se produce un condensado de fluido de trabajo orgánico por medio del GNL presurizado suministrado al mismo por la bomba 40C de GNL. La bomba de recirculación 15C suministra el condensado de fluido de trabajo orgánico del condensador 30C al condensador/vaporizador 120C. El GNL presurizado es calentado en el condensado 30C y preferiblemente un calentador 36C fomenta el GNL presurizado de modo que se produce GNL regasificado para su almacenamiento o suministro a través de un gasoducto para la distribución de GNL vaporizado a usuarios finales. Debido a la presurización del GNL previa a suministrar el GNL al condensador, puede ser ventajoso utilizar una mezcla de propano/etano como el fluido de trabajo orgánico de sistema de energía de ciclo de Rankine orgánico, en lugar del etano mencionado anteriormente. Por otro lado, si se prefiere, se puede utilizar etano, etileno o equivalentes como el fluido de trabajo mientras que los dos condensadores, u otra configuración mencionada anteriormente, pueden ser utilizados en el sistema de energía de ciclo de Rankine orgánico.

Volviendo a la fig. 9, se muestra un modo de realización adicional de la presente invención en el que se utiliza un sistema de energía de ciclo de Rankine orgánico cerrado. El número 10D designa un sistema de planta de energía que incluye un sistema de ciclo de energía 100D intermedio, así como un sistema de energía de ciclo de Rankine

orgánico cerrado 86D. Asimismo, se utiliza preferiblemente aquí una bomba 40D de GNL para presurizar el GNL antes de suministrarlo a un condensador 30D a una presión de, por ejemplo, aproximadamente 80 bares, para producir una presión para el GNL regasificado adecuada para su suministro a través de una tubería 43D a un gasoducto para la distribución de GNL vaporizado a usuarios finales. En este modo de realización, el fluido de trabajo orgánico preferido es etano, etileno o equivalente. Preferiblemente, en este modo de realización, el sistema de planta de energía 10D incluye una unidad de turbina de gas 125D, cuyo gas de escape proporciona la fuente de calor para un sistema de ciclo de transferencia de calor 100D intermedio. En tal caso, como se puede ver en la fig. 9, el gas de escape de la turbina de gas 124D es suministrado a un ciclo intermedio 100D para transferir calor del gas de escape del vaporizador 120 para producir vapor de fluido intermedio del líquido de fluido intermedio contenido del mismo. El vapor producido es suministrado a una turbina de vapor intermedio 105D en donde se expande y produce energía y preferiblemente acciona un generador eléctrico 110D que genera electricidad. Preferiblemente, la turbina 25D gira a 1500 RPM o 1800 RPM. El vapor expandido es suministrado a un condensador/vaporizador de vapor 120D en donde se produce el condensado de fluido intermedio y una bomba de recirculación 115D suministra el condensado de fluido intermedio a un vaporizador 120, completando así el ciclo de turbina de fluido intermedio. Diversos fluidos de trabajo son adecuados para su uso en el ciclo intermedio. Un ejemplo de tales fluidos de trabajo es pentano, esto es, n-pentano o iso-pentano. El condensador/vaporizador 120D actúa asimismo como un vaporizador y vaporiza un fluido de trabajo orgánico líquido presente en el mismo. El vapor de fluido de trabajo orgánico producido es suministrado a la turbina de vapor orgánico 25D y se expande en la misma y produce energía y preferiblemente acciona un generador eléctrico 28D que genera electricidad. El vapor de fluido de trabajo orgánico expandido que abandona la turbina de vapor orgánico es suministrado a un condensador 30D en el que se produce un condensado de fluido de trabajo orgánico por medio del GNL presurizado suministrado al mismo por la bomba de GNL 40D. La bomba de recirculación 15D suministra el condensado de fluido de trabajo orgánico del condensador 30D al condensador/vaporizador 120D. El GNL presurizado es calentado en el condensador 30D y preferiblemente un calentador 36D fomenta el GNL presurizado de modo que se produce GNL regasificado para su almacenamiento o suministro a través de un gasoducto para distribuir GNL vaporizado a usuarios finales. Debido a la presurización del GNL previa al suministro de GNL al condensador puede ser ventajoso utilizar una mezcla de propano/etano como el fluido de trabajo orgánico del sistema de energía de ciclo de Rankine orgánico antes que el etano mencionado anteriormente. Por otro lado, si se prefiere se puede utilizar etano, etileno o equivalentes como el fluido de trabajo orgánico del mientras se pueden utilizar dos condensadores u otras configuraciones mencionadas anteriormente en el sistema de energía de ciclo de Rankine orgánico. Además, se puede utilizar un fluido de transferencia de calor tal como un aceite térmico u otro fluido de transferencia de calor adecuado para transferir calor del gas caliente al fluido intermedio y, si se prefiere, un fluido de transferencia de calor tal como un fluido de transferencia de calor orgánico, alquilado, por ejemplo un fluido de transferencia de calor sintético aromático alquilado. Por ejemplo, puede ser un fluido aromático alquil sustituido, Therminol LT, de la empresa Solutia que tiene un centro en Bélgica, o una mezcla de isómeros de un fluido aromático alquilado, Dowterm J, de la Dow Chemical Company. Igualmente se puede utilizar para este propósito otros fluidos, tales como hidrocarburos con la fórmula  $C_nH_{2n+2}$ , en los que n se encuentran entre 8 y 20. Así pues, se pueden utilizar para tal propósito iso-dodecano o 2,2,4,6,6-pentametilheptano, iso-eicosano o 2,2,4,4,6,6,8,10,10-nonametilundecano, iso-hexadecano o 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonano, iso-octano o 2,2,4 trimetilpentano, iso-nonano o 2,2,4,4 tetrametilpentano y una mezcla de dos o más de dichos compuestos, de acuerdo con la solicitud de patente norteamericana nº 11/067710, cuyo divulgación se incorpora aquí por referencia. Cuando se utiliza un fluido de transferencia de calor orgánico, alquilado como el fluido de transferencia de calor, éste se puede utilizar asimismo para producir energía o electricidad, por ejemplo, haciendo que los vapores producidos por el calor en el gas caliente se expandan en una turbina, siendo condensados los vapores expandidos que abandonan la turbina en un condensador que es enfriado mediante un fluido intermedio tal que se produzca un vapor de fluido intermedio que es suministrado a la turbina de vapor intermedia.

Además, cualquiera de las alternativas descritas aquí se puede utilizar en los modos de realización descritos con referencia a la fig. 8 o a la fig. 9.

Aunque en los modos de realización y alternativas descritos anteriormente se establece que la velocidad de rotación preferida de la turbina es de 1500 o 1800 RPM, si se prefiere, de acuerdo con la presente invención, se pueden utilizar asimismo otras velocidades, por ejemplo 3000 o 3600 RPM.

Si se prefiere, los procedimientos de la presente invención pueden utilizarse asimismo para enfriar el aire de entrada de una turbina de gas y/o llevar a cabo la refrigeración intermedia de una etapa o etapas intermedias del compresor de una turbina de gas. Además, si se prefiere, los procedimientos de la presente invención pueden ser utilizados de modo tal que, tras enfriar y condensar el fluido de trabajo, el GNL se pueda utilizar para enfriar el aire de entrada de una turbina de gas y/o para llevar a cabo la refrigeración intermedia de una etapa o etapas intermedias del compresor de una turbina de gas.

Aunque se mencionan anteriormente metano, etano, etileno o equivalentes como los fluidos de trabajo preferidos para las plantas de energía de ciclo de Rankine orgánico, éstos deben ser tomados como ejemplos no limitativos de los fluidos de trabajo preferidos. Así pues, se pueden utilizar igualmente otros hidrocarburos alifáticos saturados o insaturados como el fluido de trabajo para las plantas de energía de ciclo de Rankine orgánico. Además, se pueden utilizar asimismo hidrocarburos saturados o insaturados sustituidos como los fluidos de trabajo para las plantas de energía de ciclo de Rankine orgánico. Asimismo, son fluidos de trabajo preferidos para las plantas de energía de ciclo de Rankine orgánico descritas aquí el trifluorometano ( $CHF_3$ ), fluorometano ( $CH_3F$ ), tetrafluoroetano ( $C_2F_4$ ) y hexafluoroetano ( $C_2F_6$ ). Además, hidrocarburos saturados o insaturados cloro (Cl) sustituidos pueden ser utilizados



igualmente como los fluidos de trabajo para las plantas de energía de ciclo de Rankine orgánico, pero no serían utilizados debido a su impacto ambiental negativo.

El equipo auxiliar (por ejemplo, valores, controles, etc.) no se muestra en las figuras por simplicidad.

5 Aunque algunos modos de realización de la invención han sido descritos a modo de ilustración, será aparente que la invención puede ser llevada a cabo en la práctica con muchas modificaciones, variaciones y adaptaciones, y con el uso de numerosos equivalentes o soluciones alternativas que están dentro del alcance de los expertos en la técnica, sino superar el ámbito de las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de energía y un sistema de regasificación de ciclo de Rankine orgánico cerrado (10B', 10B'', 10B''', 10B''''', 10B''''''') basado en gas natural licuado, GNL, que comprende:
  - 5 a) un vaporizador (20B', 20B'', 20B''''', 20B''''''') en el cual se vaporiza un fluido de trabajo líquido, siendo dicho fluido de trabajo líquido un fluido de trabajo licuado por el GNL;
  - b) una turbina (25B', 25B'', 25B''''', 25B''''''') para expandir el fluido de trabajo vaporizado y producir energía;
  - 10 c) un condensador (30B', 30B'', 30B''''', 30B''''''', 30B''''''''', 30B''''''''''') al que se suministra un vapor de fluido de trabajo expandido, siendo alimentado dicho condensador igualmente con GNL para recibir calor de dicho vapor de fluido expandido en el que dicho GNL condensa dicho fluido de trabajo expandido que abandona la turbina y por el que la temperatura del GNL aumenta a medida que fluye a través del condensador;
  - d) una tubería (43B', 43B'', 43B''''', 43B''''''', 43B''''''''', 43B''''''''''') para transmitir GNL regasificado caracterizado por
  - 15 e) un condensador/calentador (32B', 32B'') para condensar vapores extraídos de una etapa intermedia de dicha turbina y calentar un condensado de fluido de trabajo suministrado a dicho condensador/calentador desde dicho condensador.
2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el fluido de trabajo es etano o metano.
3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el fluido de trabajo es una mezcla de propano y etano.
4. El sistema de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2 o 3, en el que el sistema de energía incluye además un sistema de energía de ciclo abierto tal que el fluido de trabajo en el mismo es GNL, que tiene unos medios de intercambio de calor para condensar el GNL que abandona la turbina del sistema de energía de ciclo abierto y calentar el GNL suministrado al sistema.
5. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente de calor del vaporizador es agua marina.
6. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la fuente de calor del vaporizador comprende un vapor que abandona la turbina de vapor (105) en el que dicha turbina de vapor es una porción de una planta de energía de ciclo combinado que tiene un sistema de energía de turbina de gas (125) en el cual los gases de escape de dicho sistema de energía de turbina de gas (125) proporcionan calor para producir vapor que es suministrado a dicha turbina de vapor (105).
7. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un sistema de fluido intermedio (100D) para transferir calor de la fuente de calor a dicho fluido de trabajo, en el que dicho sistema de fluido intermedio (100D) incluye un condensador (120D) que transfiere calor del fluido intermedio al fluido de trabajo para vaporizar el fluido de trabajo.
8. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además una bomba (1.5'', 17B''''') para suministrar un fluido de trabajo líquido al vaporizador.
9. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además una bomba (40B'', 40B''''') para aumentar la presión del GNL previamente a suministrarlo a dicho condensador a una presión adecuada para suministrar el GNL regasificado a lo largo de un gasoducto a usuarios finales.
10. El sistema de acuerdo con las reivindicaciones 6 o 7, que comprende además una bomba (40C) para aumentar la presión del GNL previamente a suministrarlo a dicho condensador (120D) a una presión adecuada para suministrar el GNL regasificado a lo largo de un gasoducto a usuarios finales.
11. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un condensador (31B', 31B'', 31B''''', 31B''''''', 31B''''''''') adicional para condensar el vapor expandido extraído de dicha turbina en el que dicho condensador adicional es enfriado mediante el GNL calentado que abandona dicho condensador.
12. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho condensador/calentador para condensar vapores extraídos de una etapa intermedia de dicha turbina y calentar un condensado de fluido de trabajo suministrado a dicho condensador/calentador comprende un condensador/calentador de contacto indirecto.
13. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho condensador/calentador para condensar vapores extraídos de una etapa intermedia de dicha turbina y calentar un condensado de fluido de trabajo suministrado a dicho condensador/calentador comprende un condensador/calentador de contacto directo (32B'').

14. El sistema de acuerdo con la reivindicación 4, en el que dichos medios de intercambio de calor para condensar el GNL que abandona la turbina de dicho sistema de energía de ciclo abierto son enfriados mediante GNL presurizado.
- 5 15. El sistema de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende además unos medios de intercambio de calor adicionales para condensar el GNL extraído de dicha turbina de dicho sistema de energía de ciclo abierto en el que dichos medios de intercambio de calor adicionales son enfriados por el GNL calentado que abandona dichos medios de intercambio de calor.
- 10 16. El sistema de acuerdo con la reivindicación 4, en el que dicho sistema de energía de ciclo abierto comprende además un condensador/calentador para condensar vapores extraídos de una etapa intermedia de dicha turbina del sistema de energía de ciclo abierto y calentar un GNL suministrado a dicho condensador/calentador de dichos medios de intercambio de calor de dicho sistema de energía de ciclo abierto.
17. El sistema de acuerdo con las reivindicaciones 1 u 11, caracterizado además porque dicha turbina comprende un módulo de turbina orgánica de alta presión (24B'') y un módulo de turbina orgánica de baja presión (25B''), en el que dicha etapa intermedia de dicha turbina comprende la salida de dicho módulo de turbina orgánica de alta presión (24B'') de la cual se extraen los vapores.
- 15 18. El sistema de acuerdo con la reivindicación 17, caracterizado además porque dicho condensador/calentador para condensar vapores extraídos de una etapa intermedia de dicha turbina y calentar un condensado de fluido de trabajo suministrado a dicho condensador/calentador comprende un condensador/calentador de contacto directo (32B'') para condensar vapores extraídos de dicha salida del módulo de turbina orgánica de alta presión (24B'') y calentar un condensado de fluido de trabajo suministrado a dicho condensador/calentador de contacto directo (32B'').

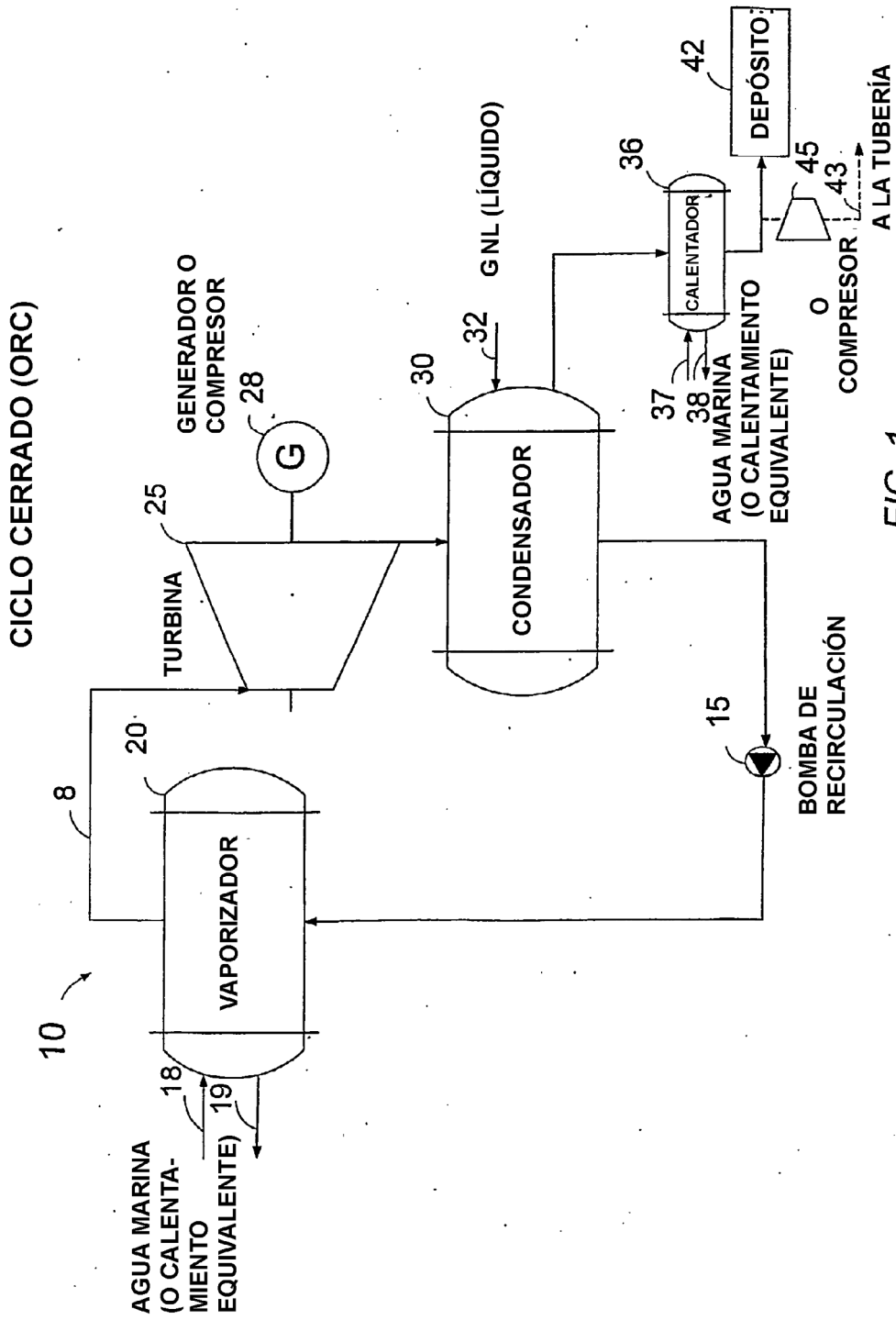


FIG. 1

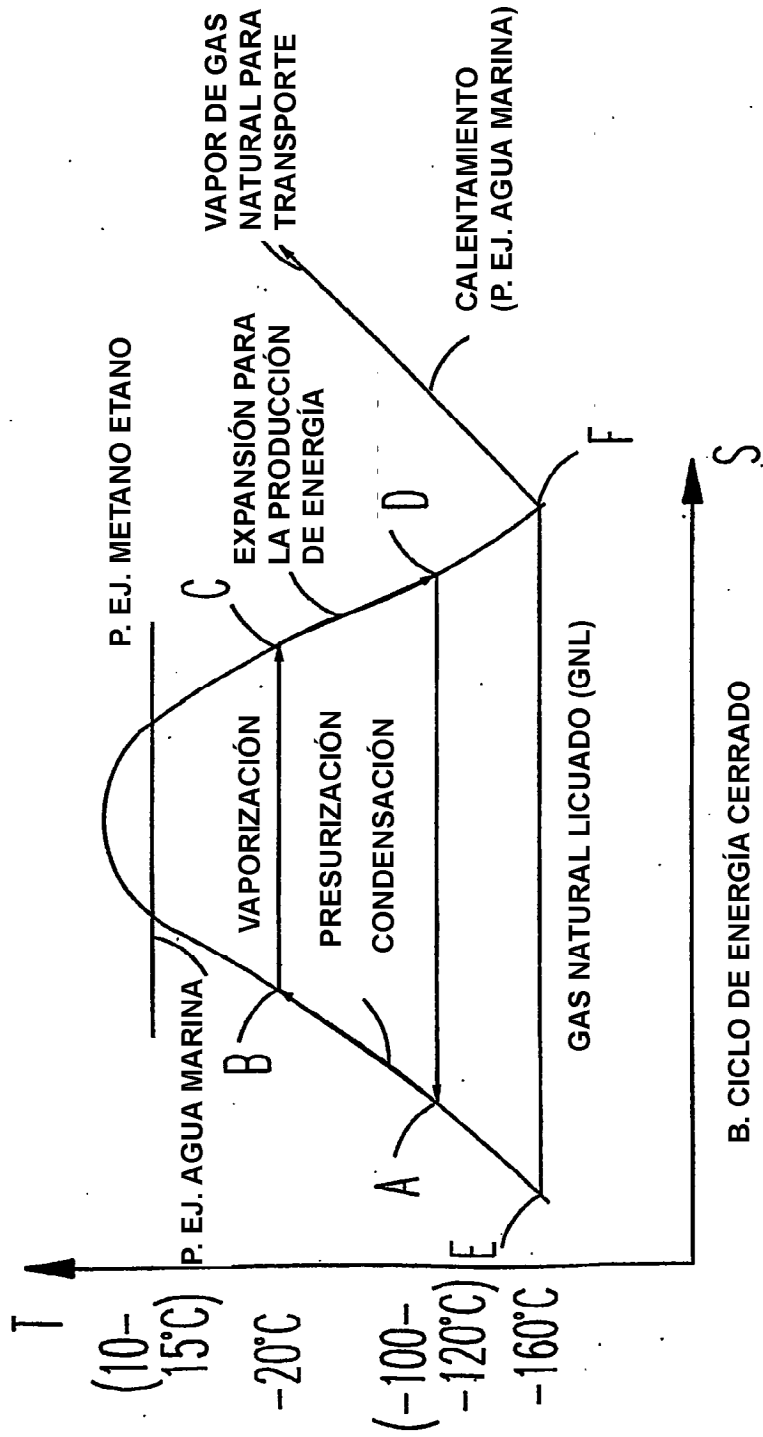


FIG. 2

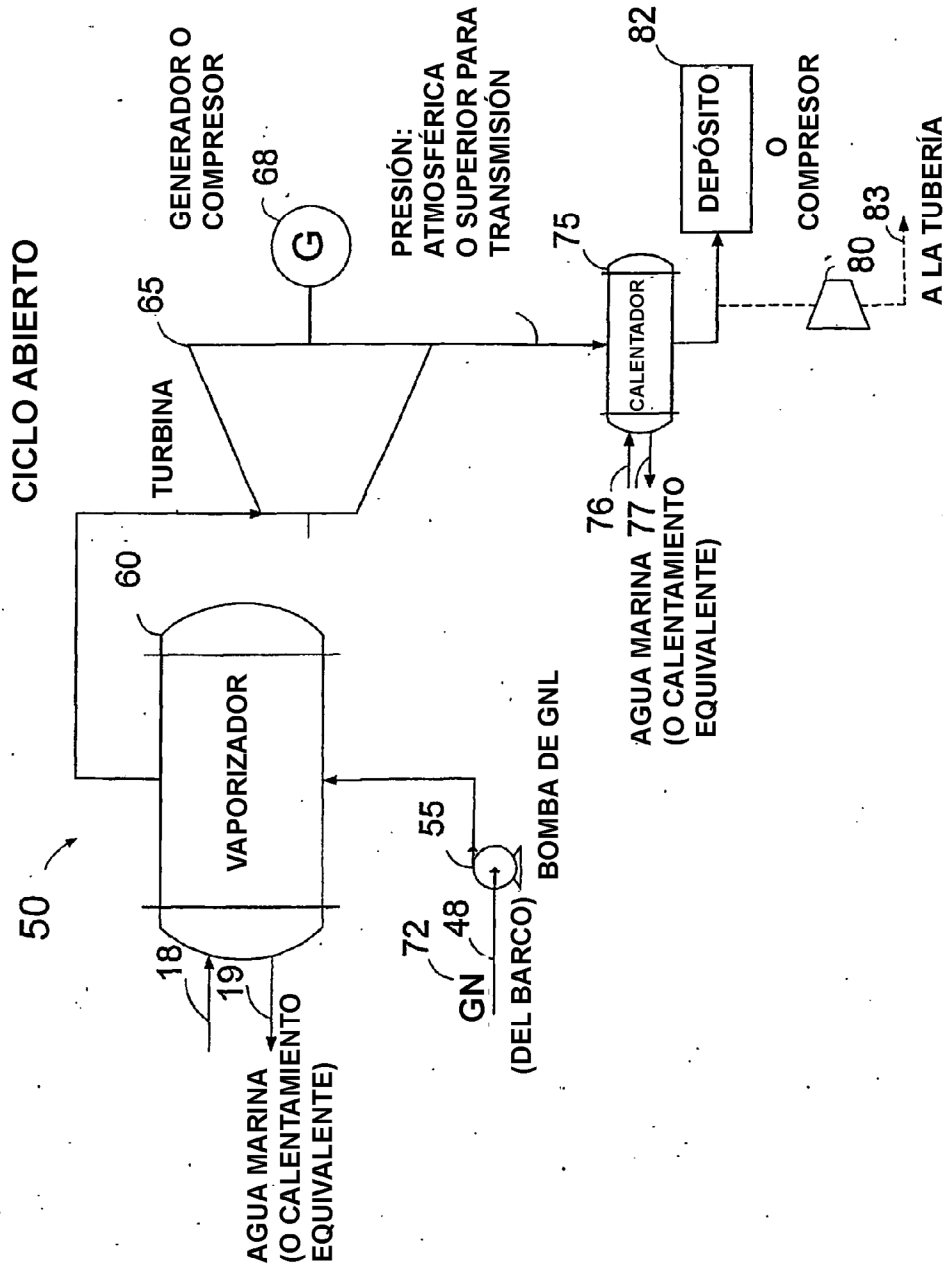
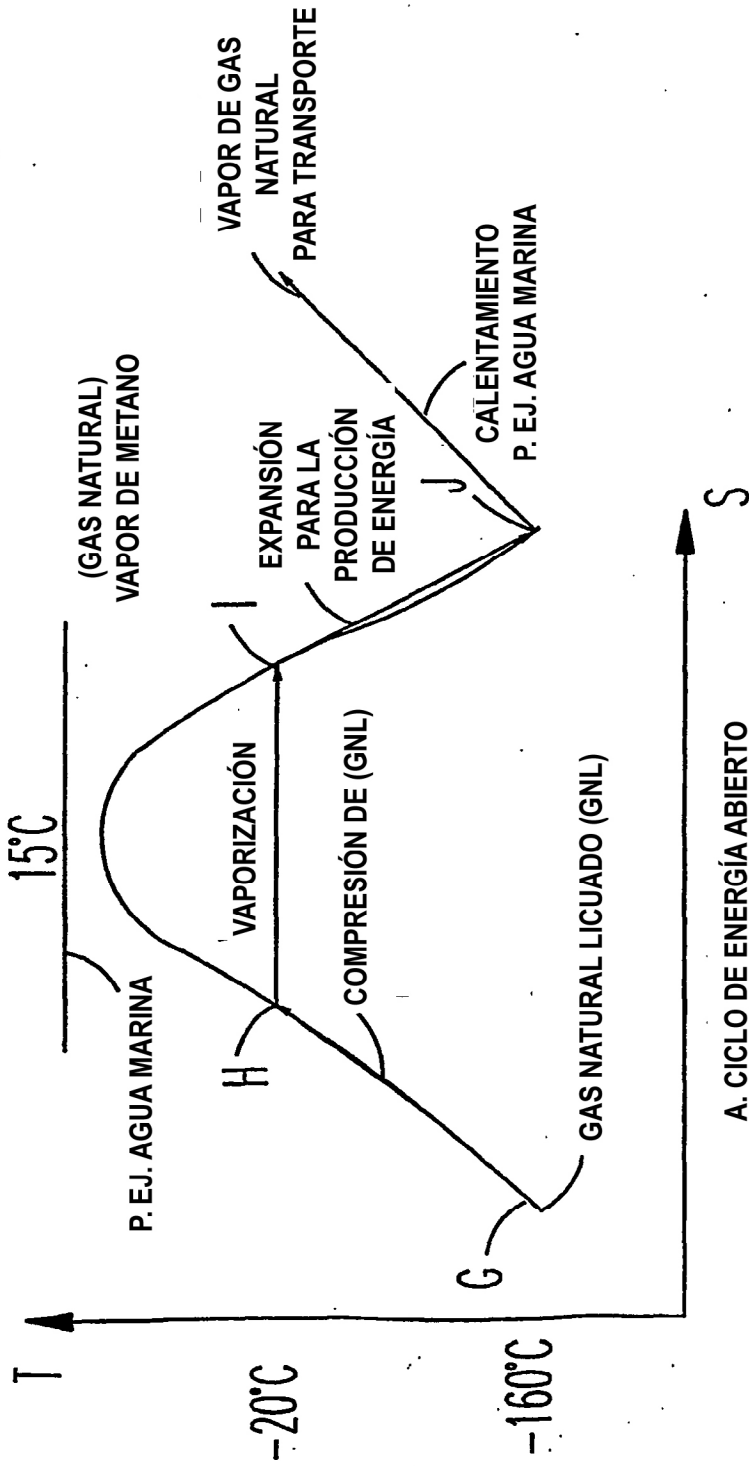


FIG. 3



A. CICLO DE ENERGÍA ABIERTO

FIG. 4

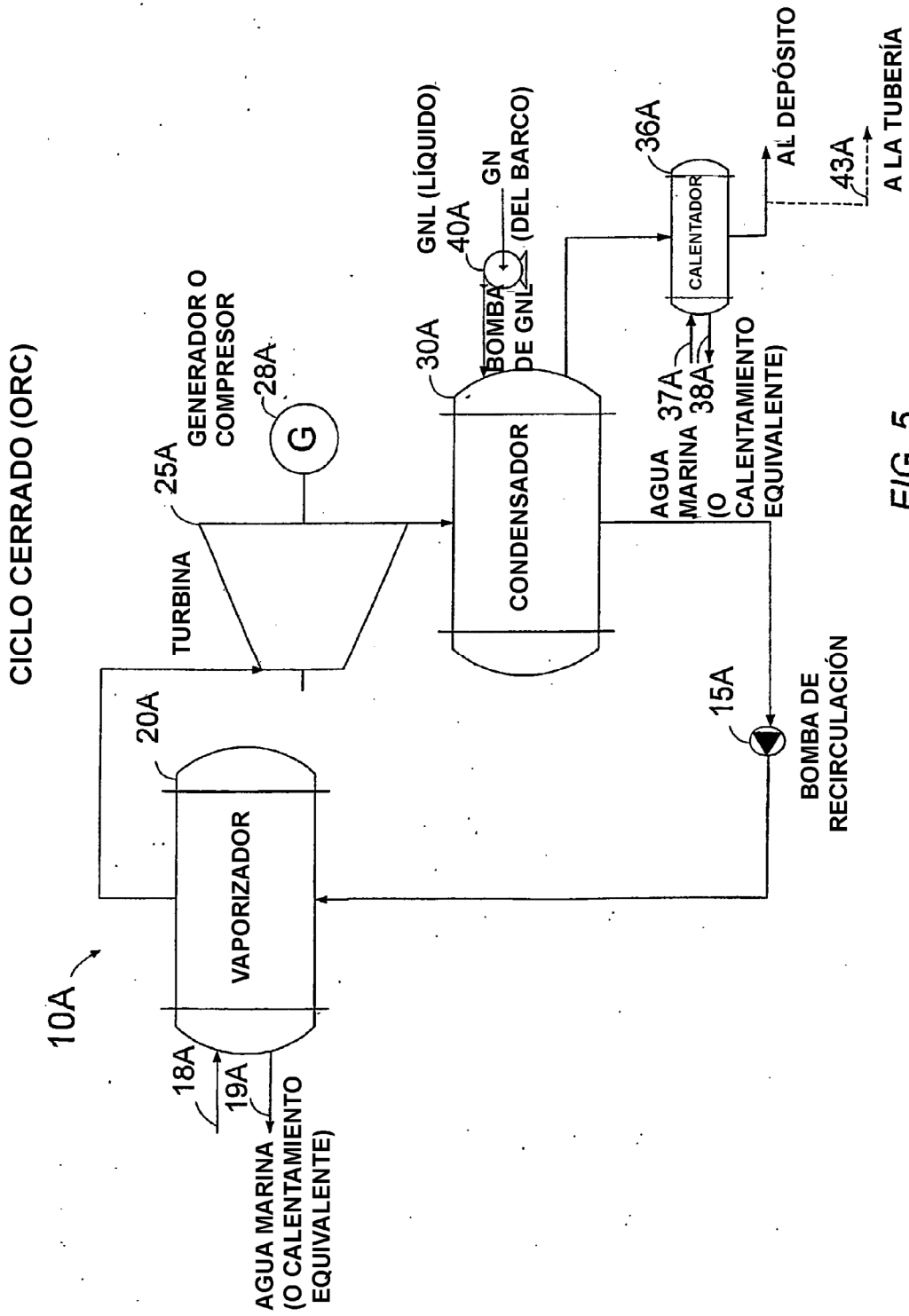


FIG. 5



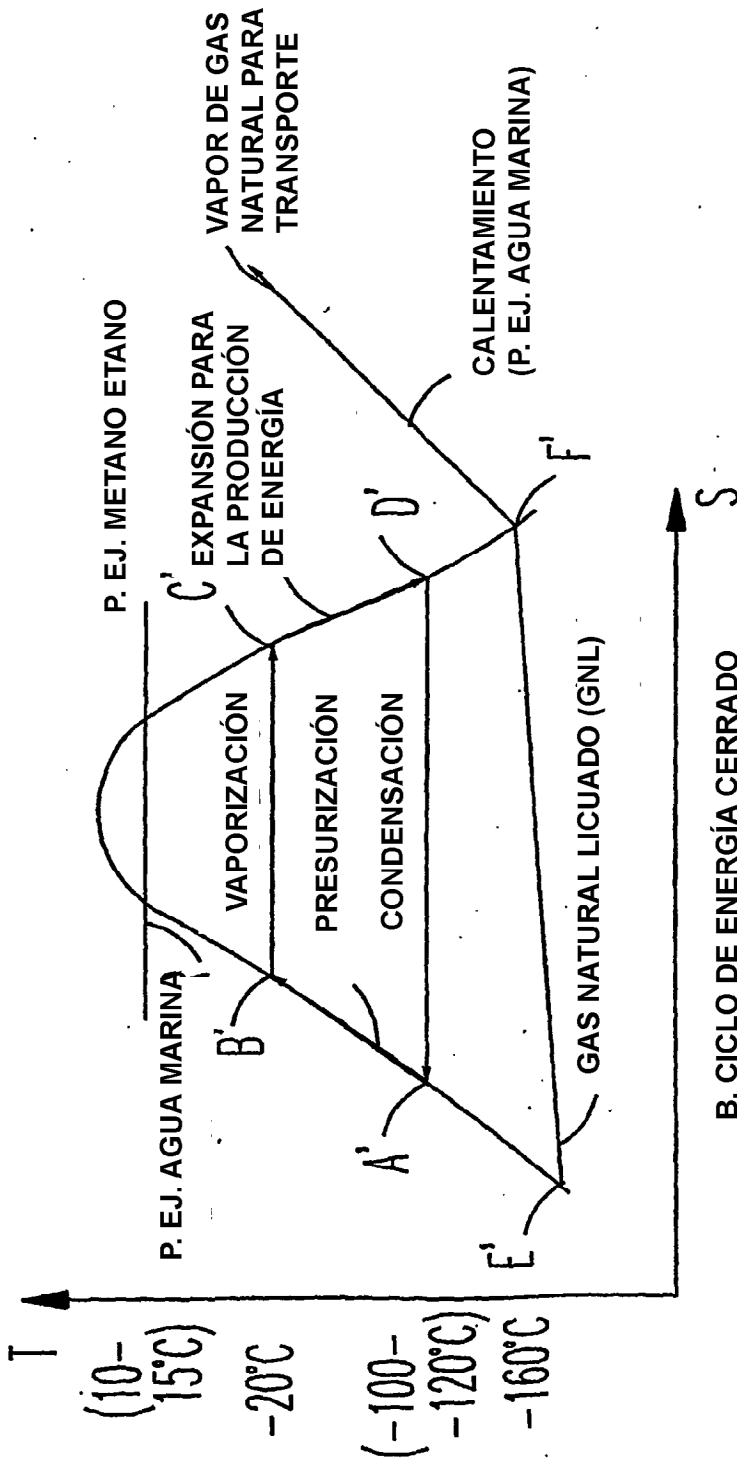
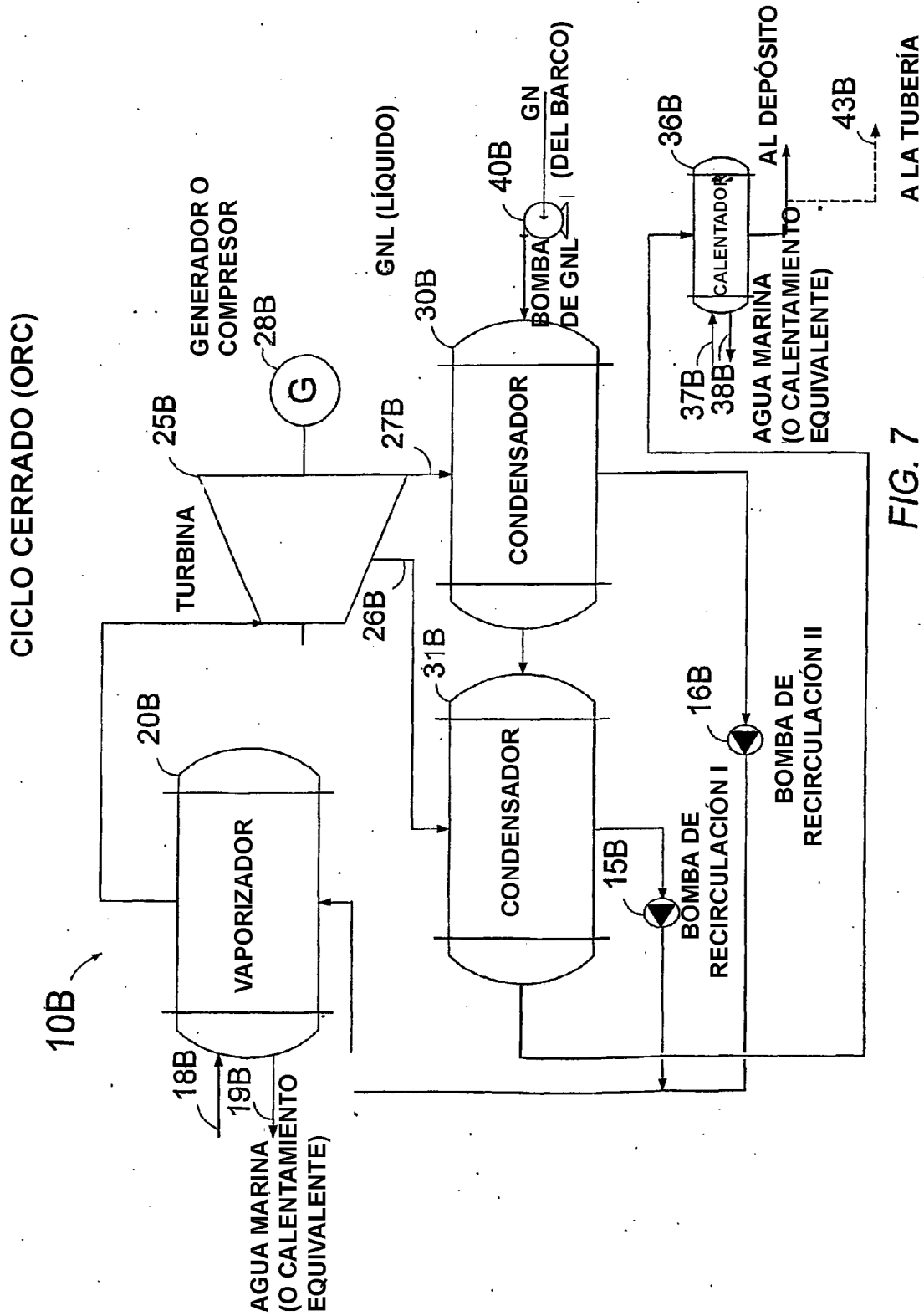


FIG. 6



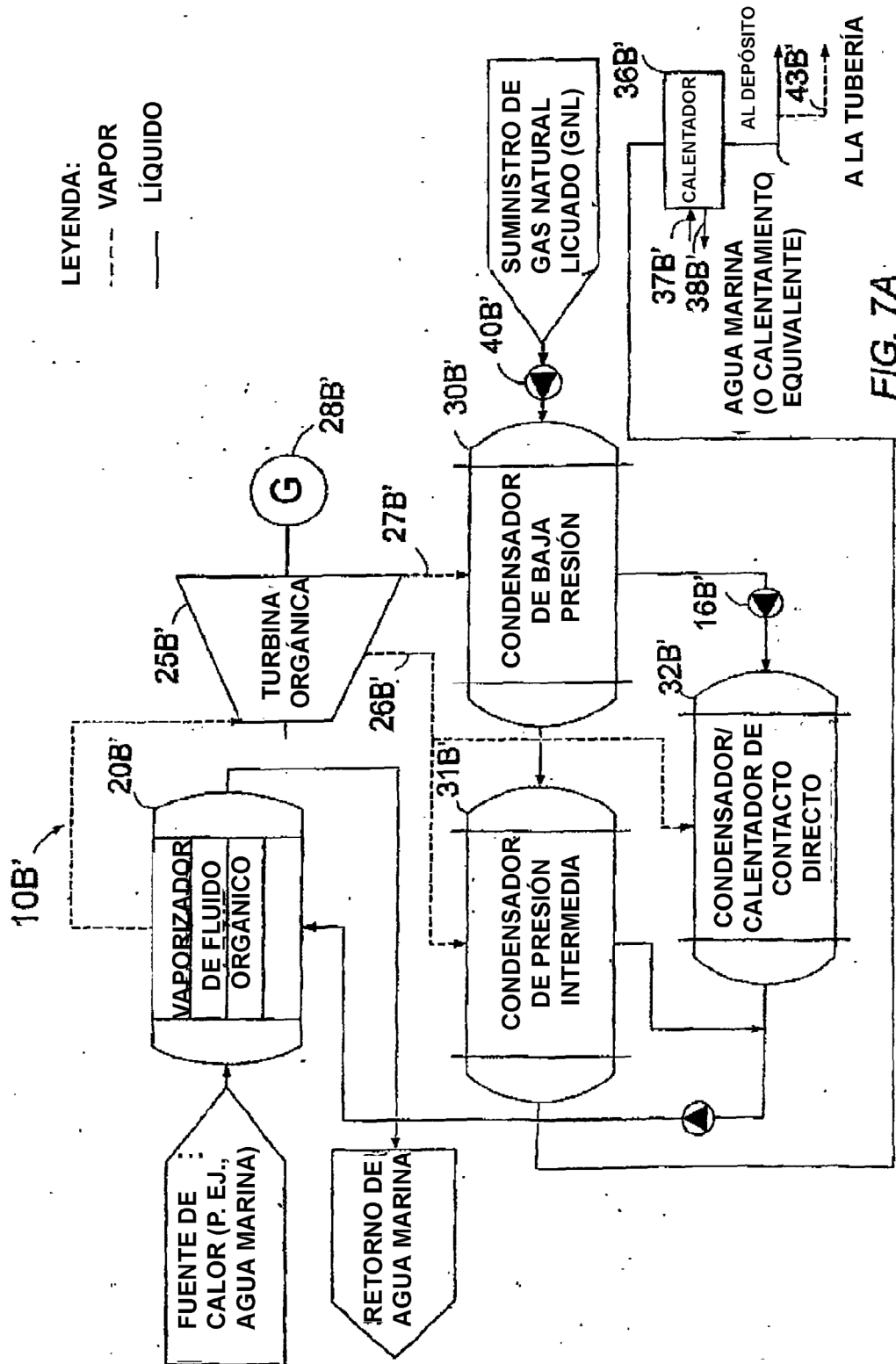


FIG. 7A

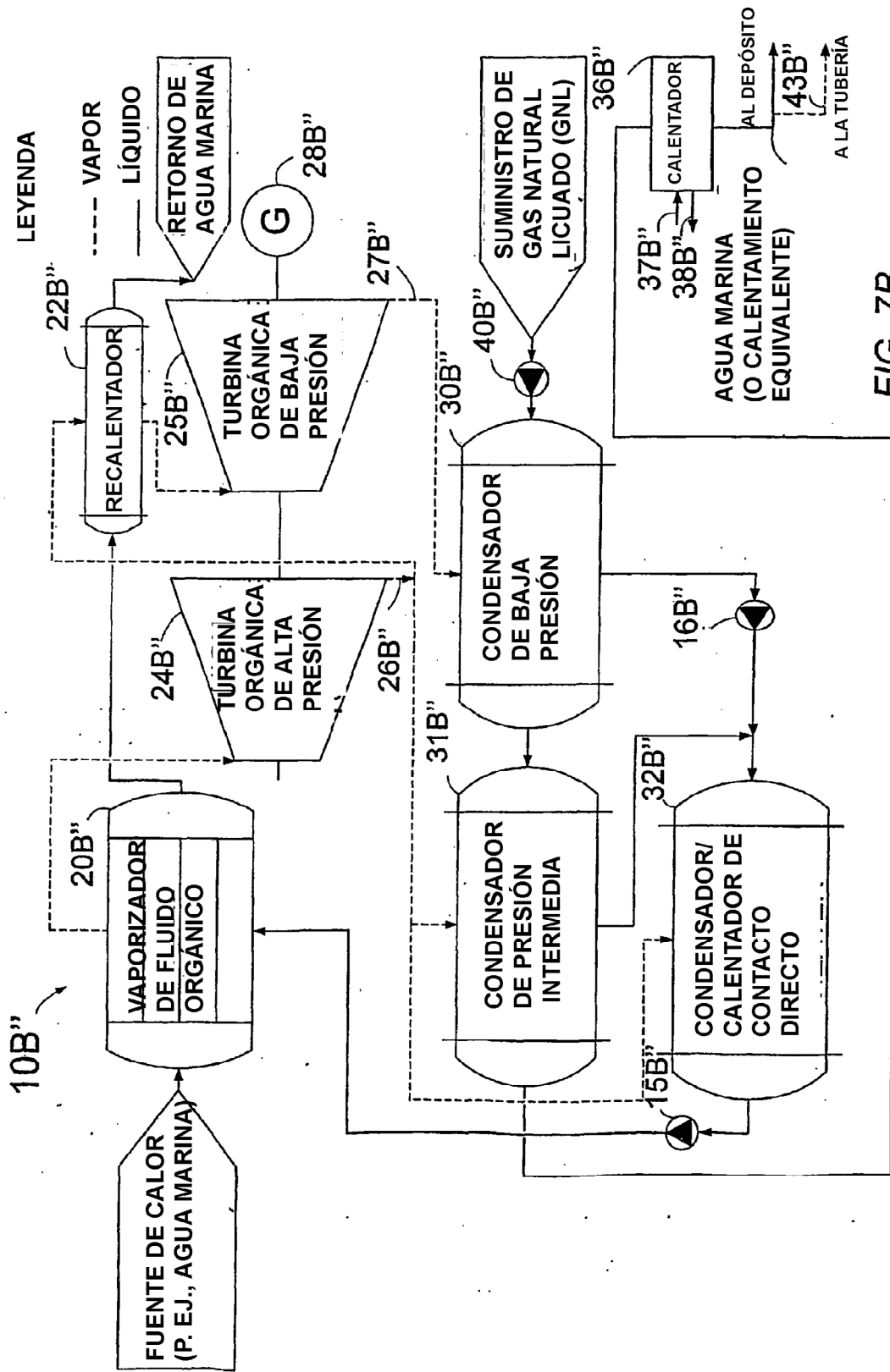
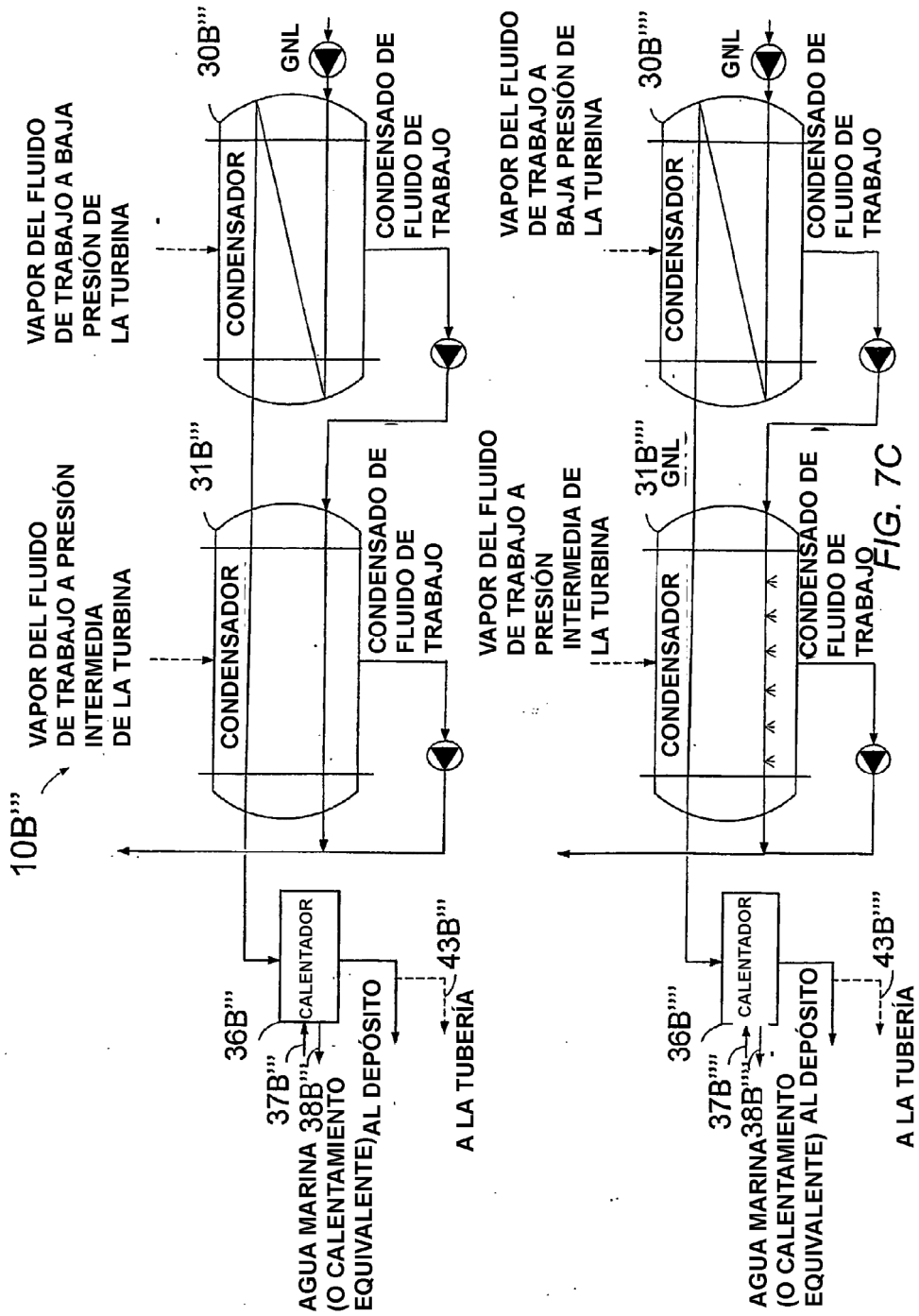


FIG. 7B



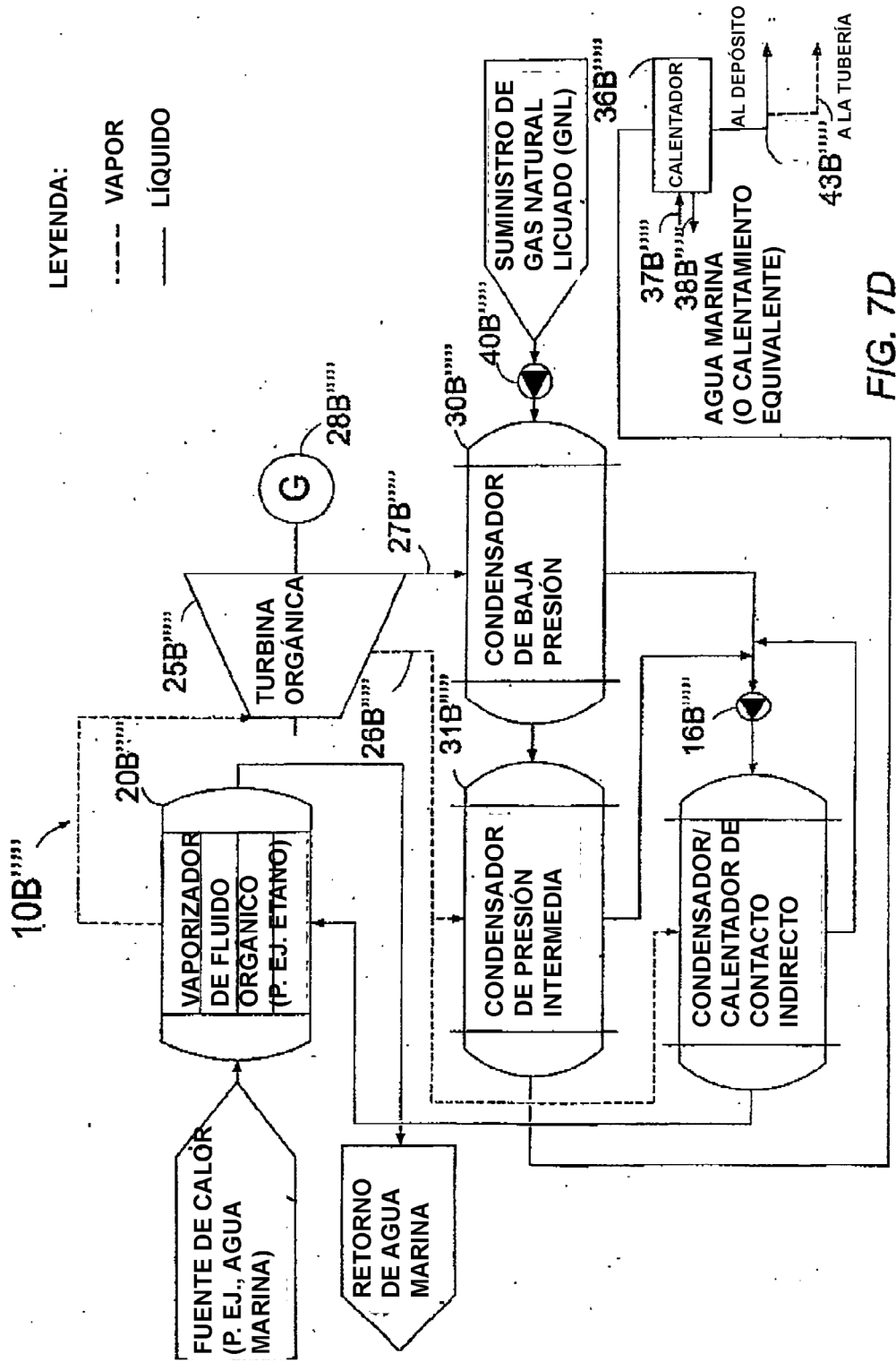


FIG. 7D

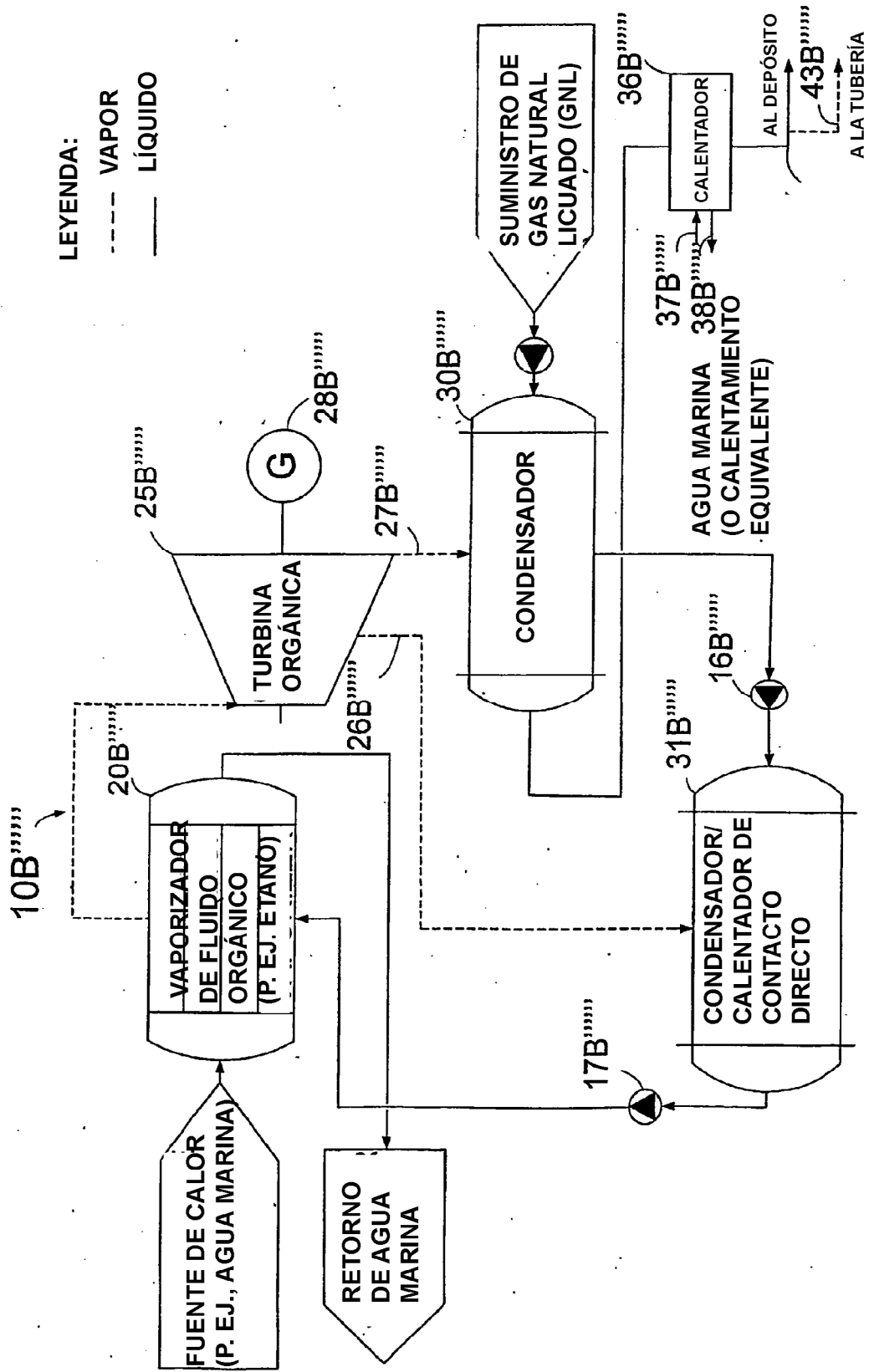
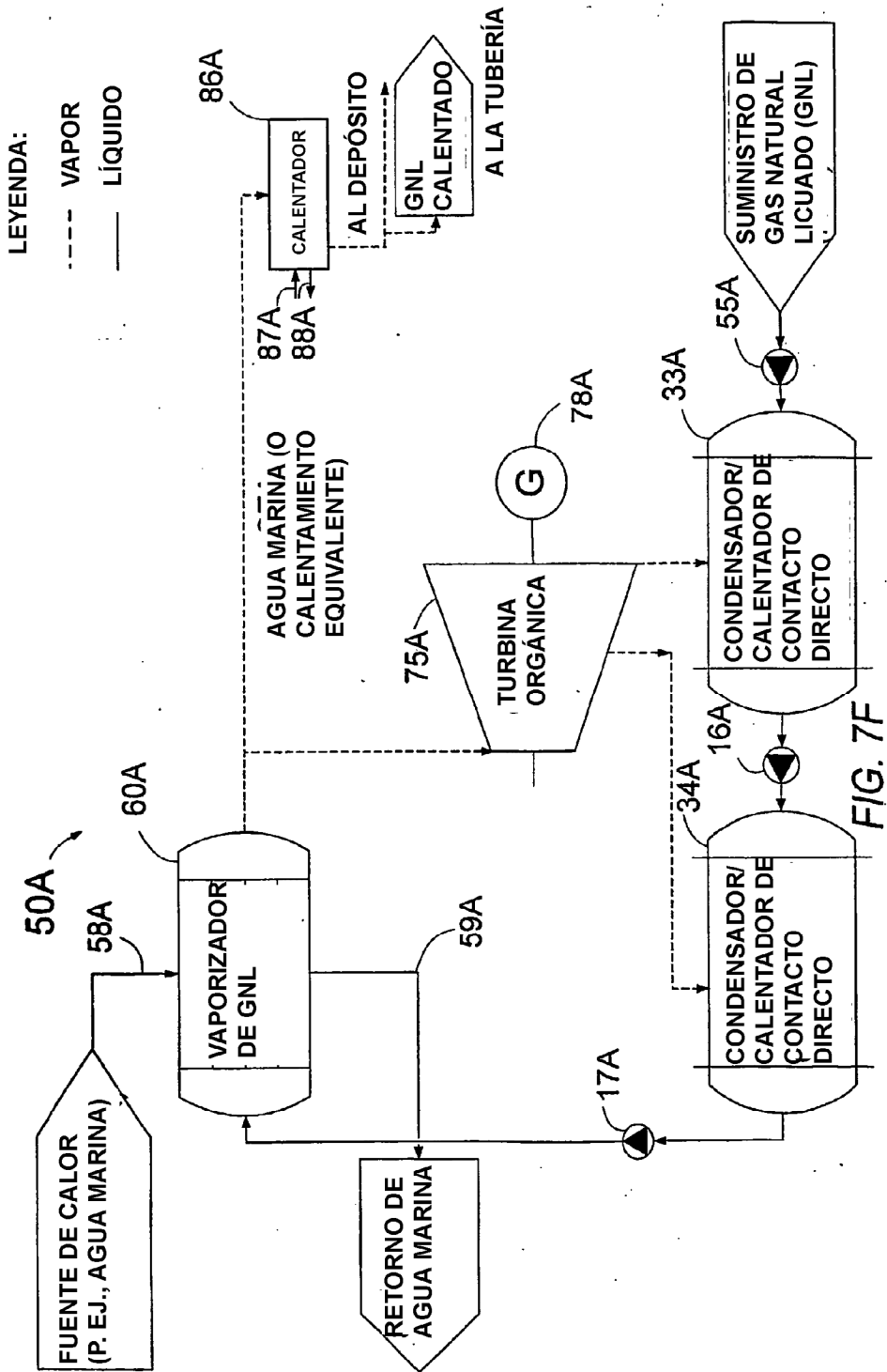
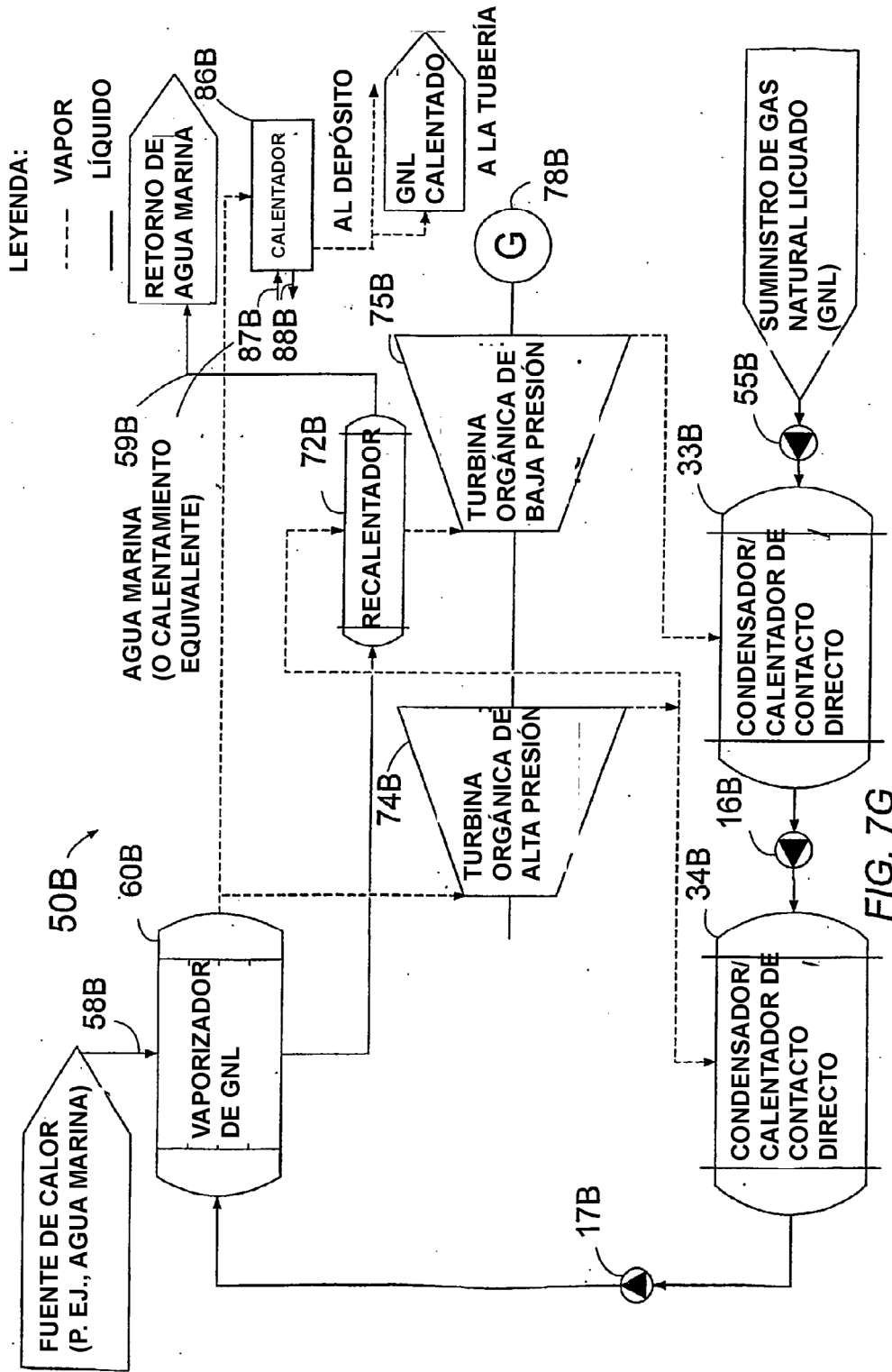
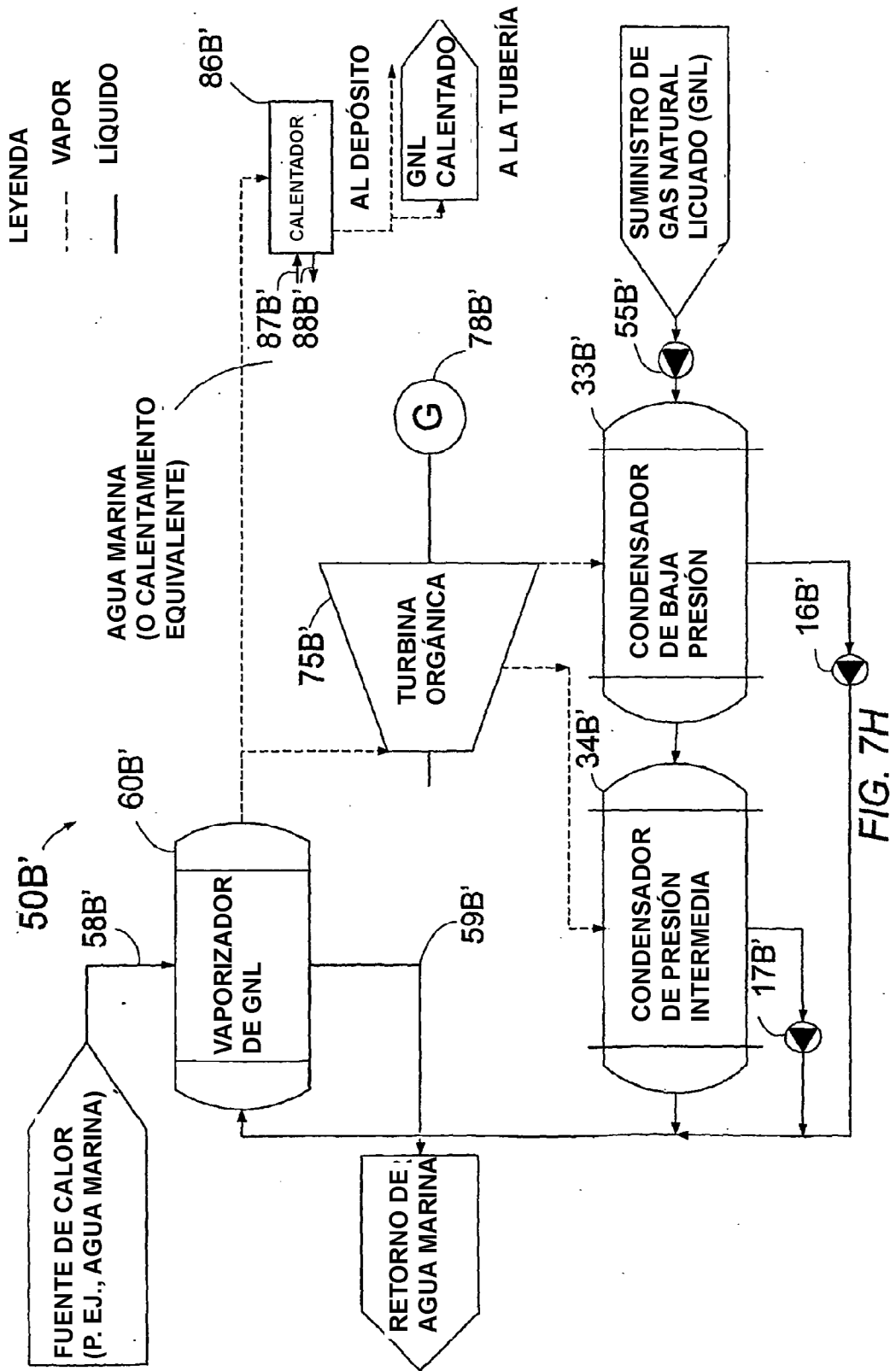


FIG. 7E









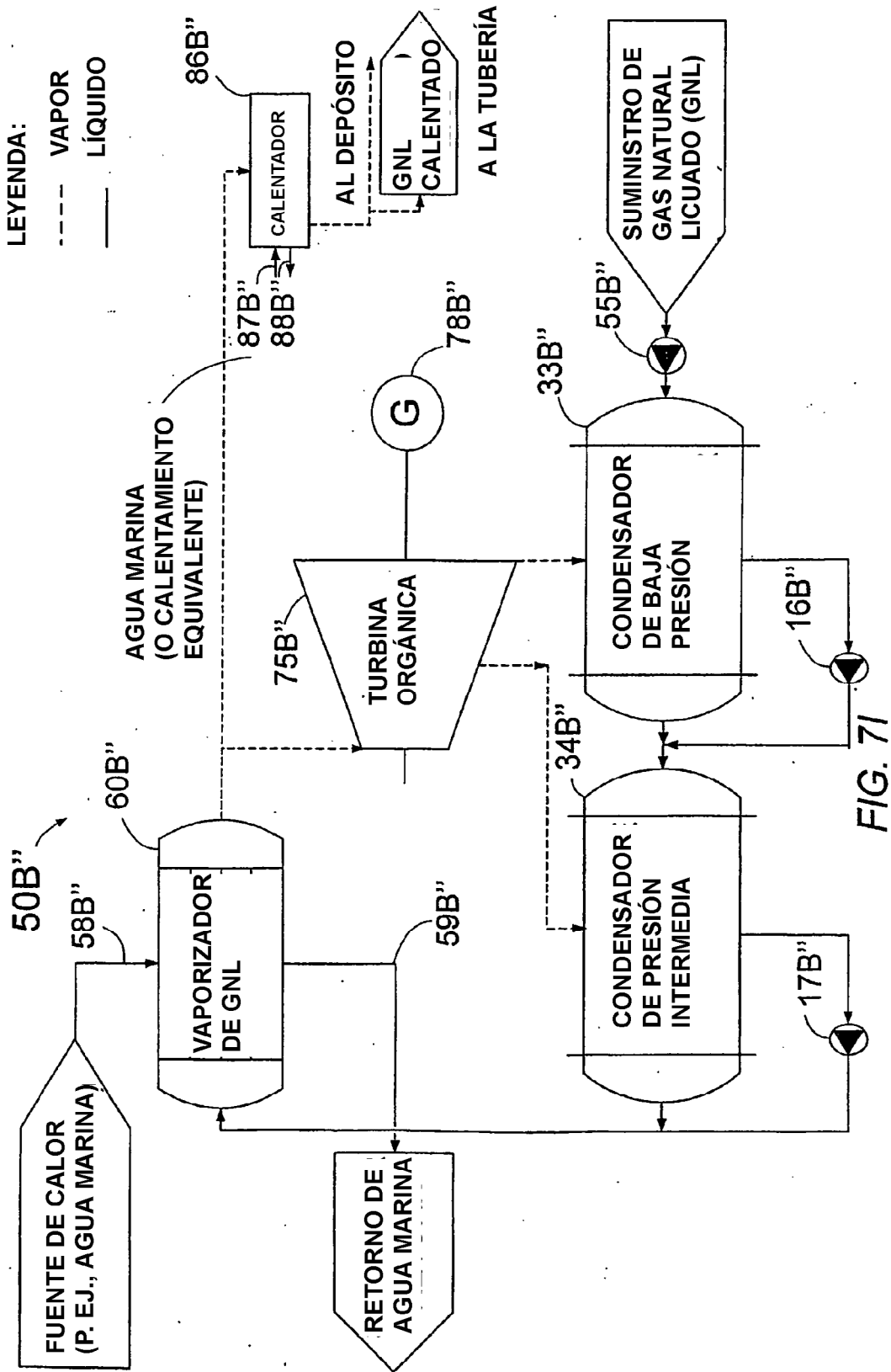
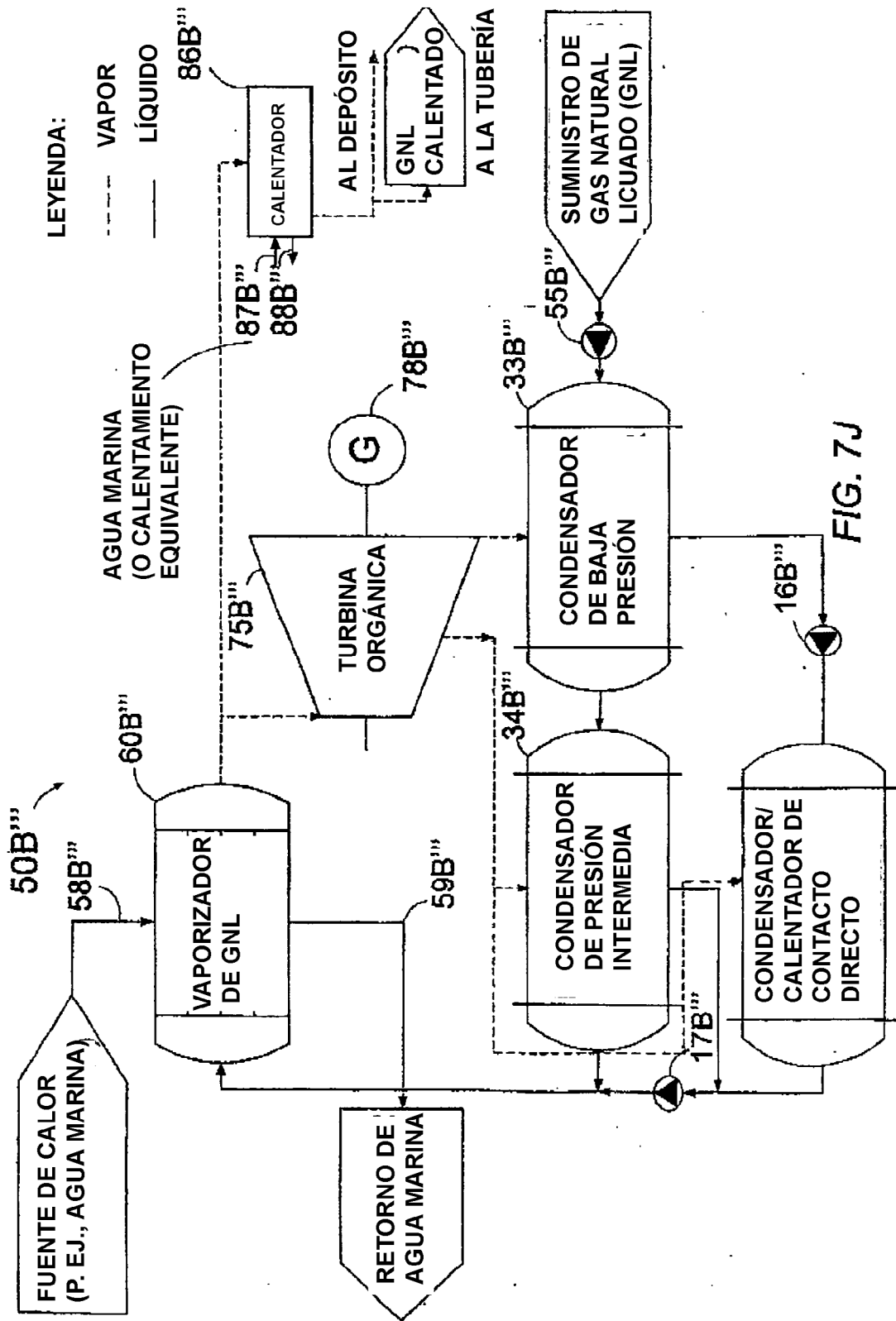
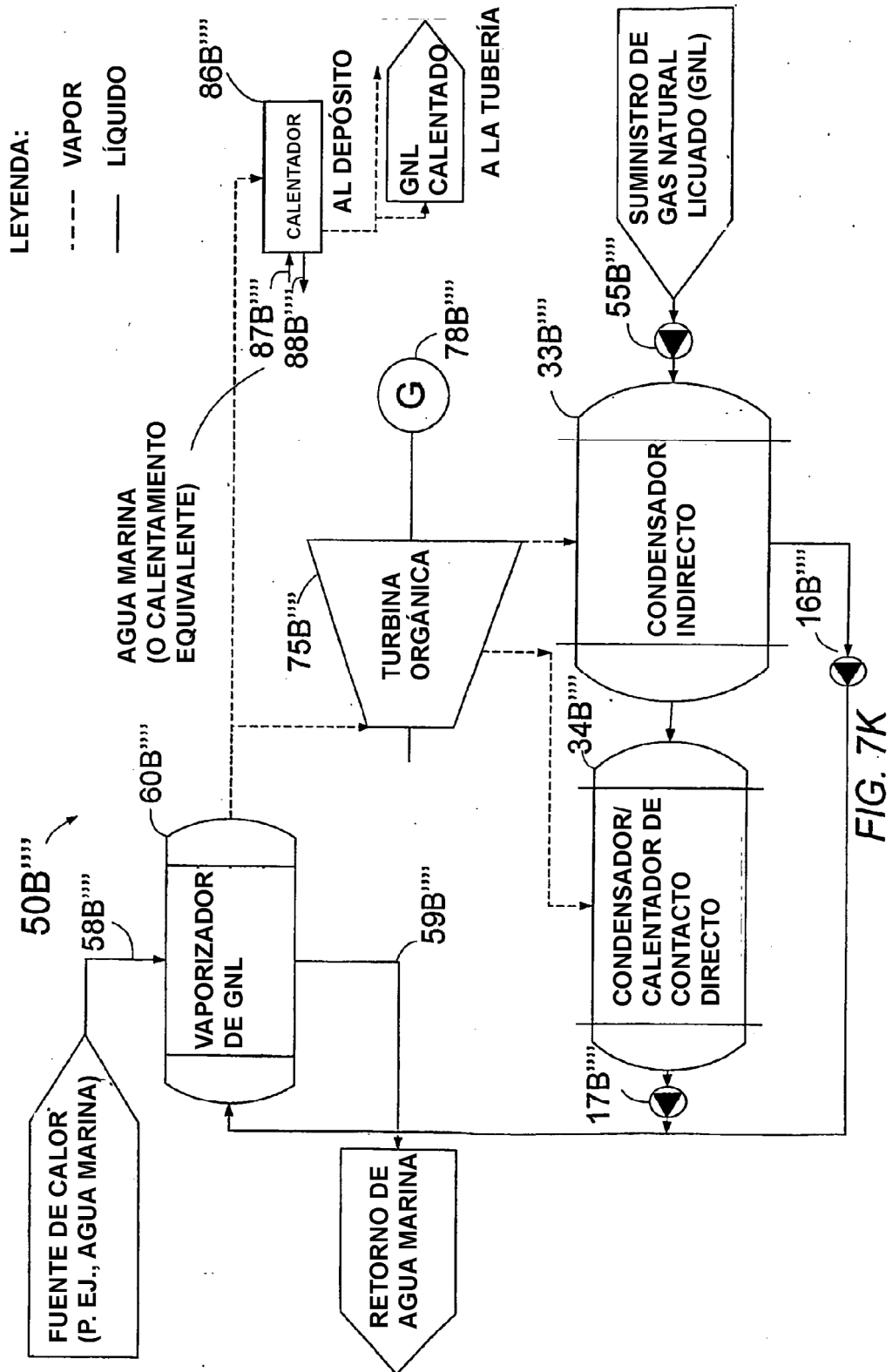


FIG. 71





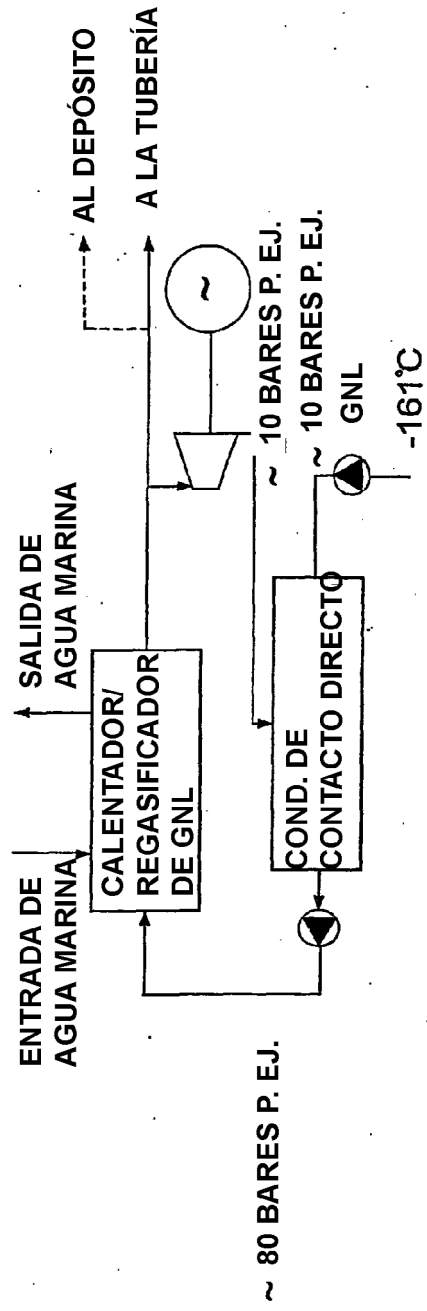
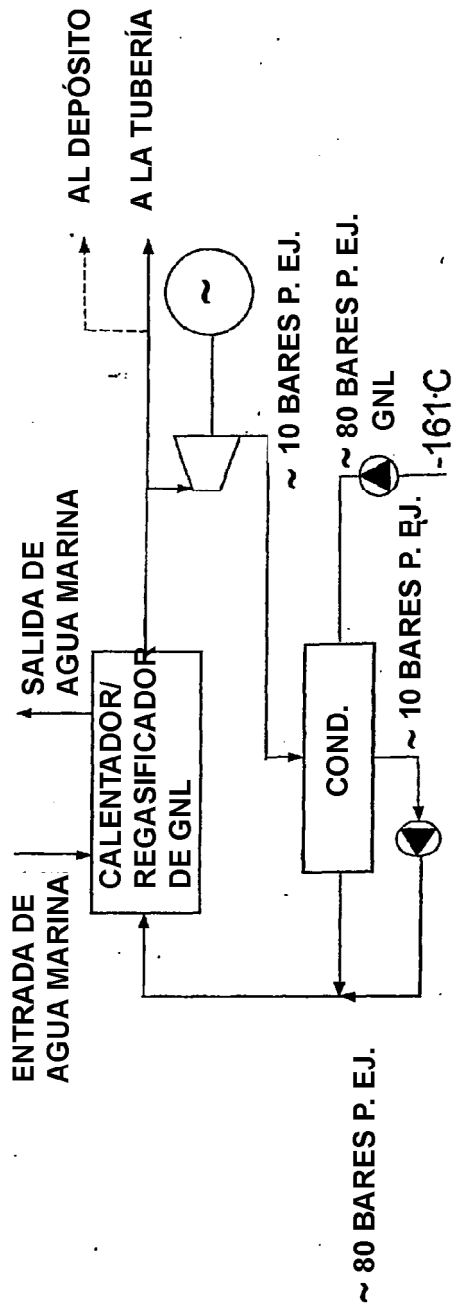


FIG. 7L

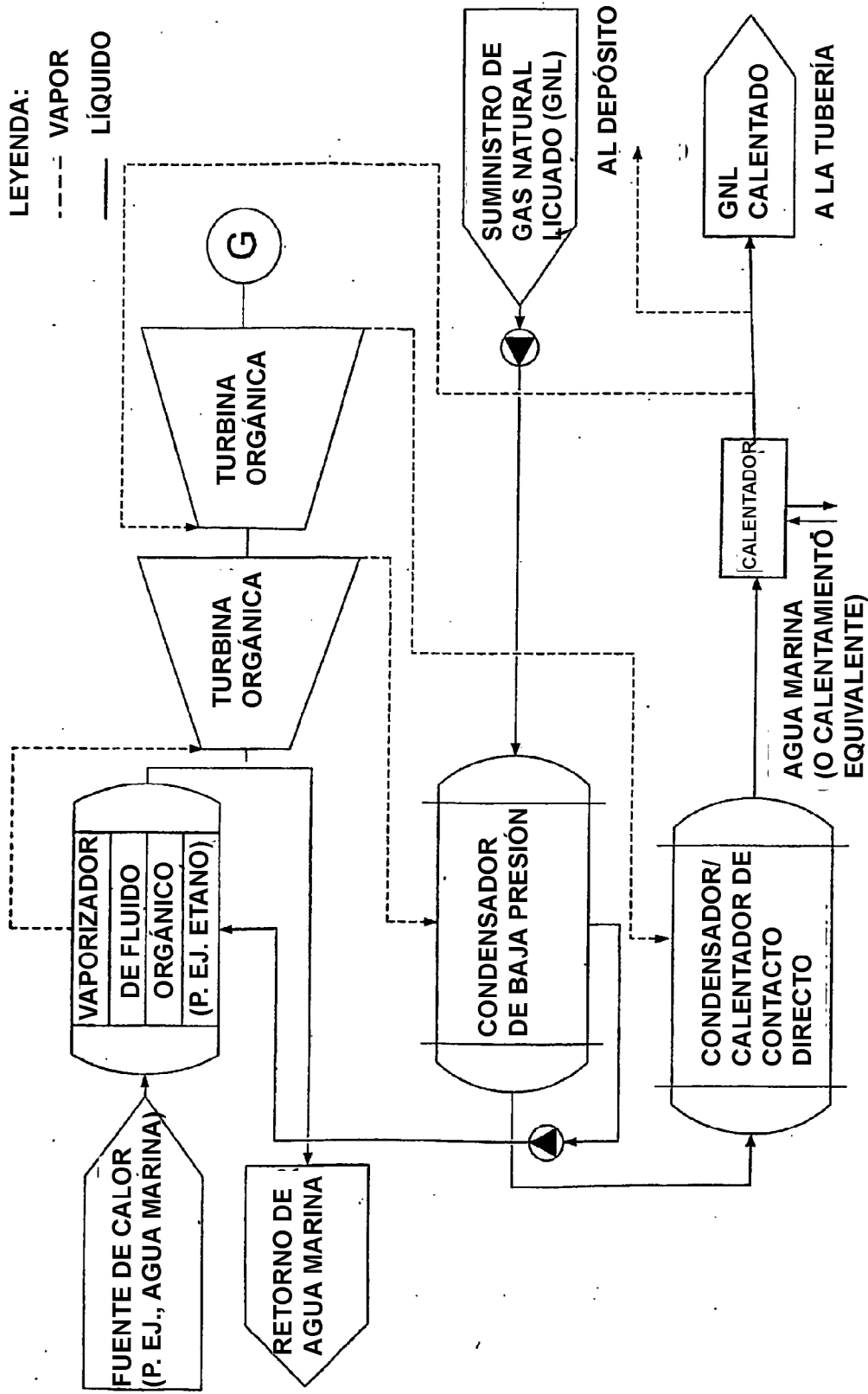


FIG. 7M

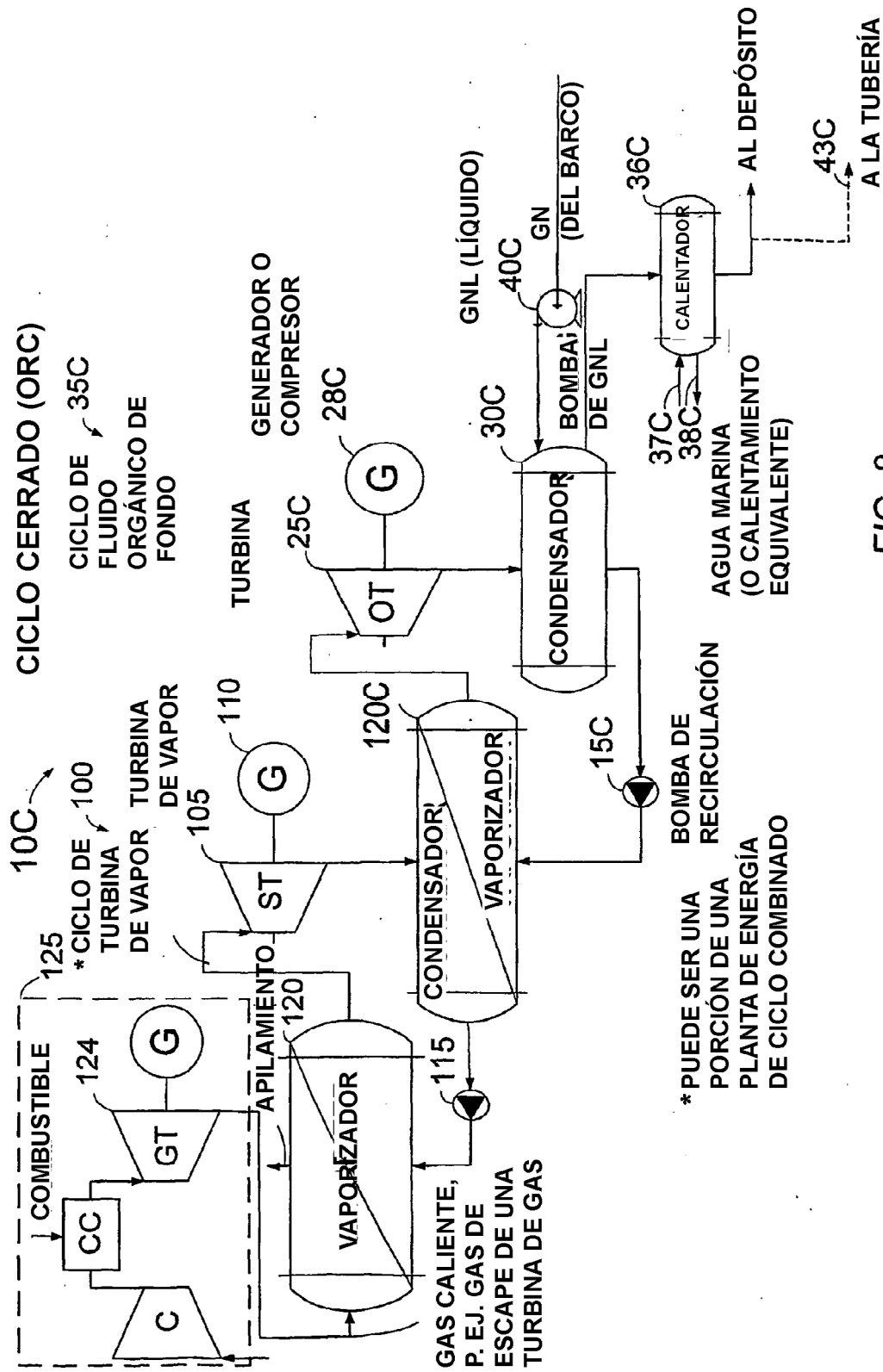


FIG. 8



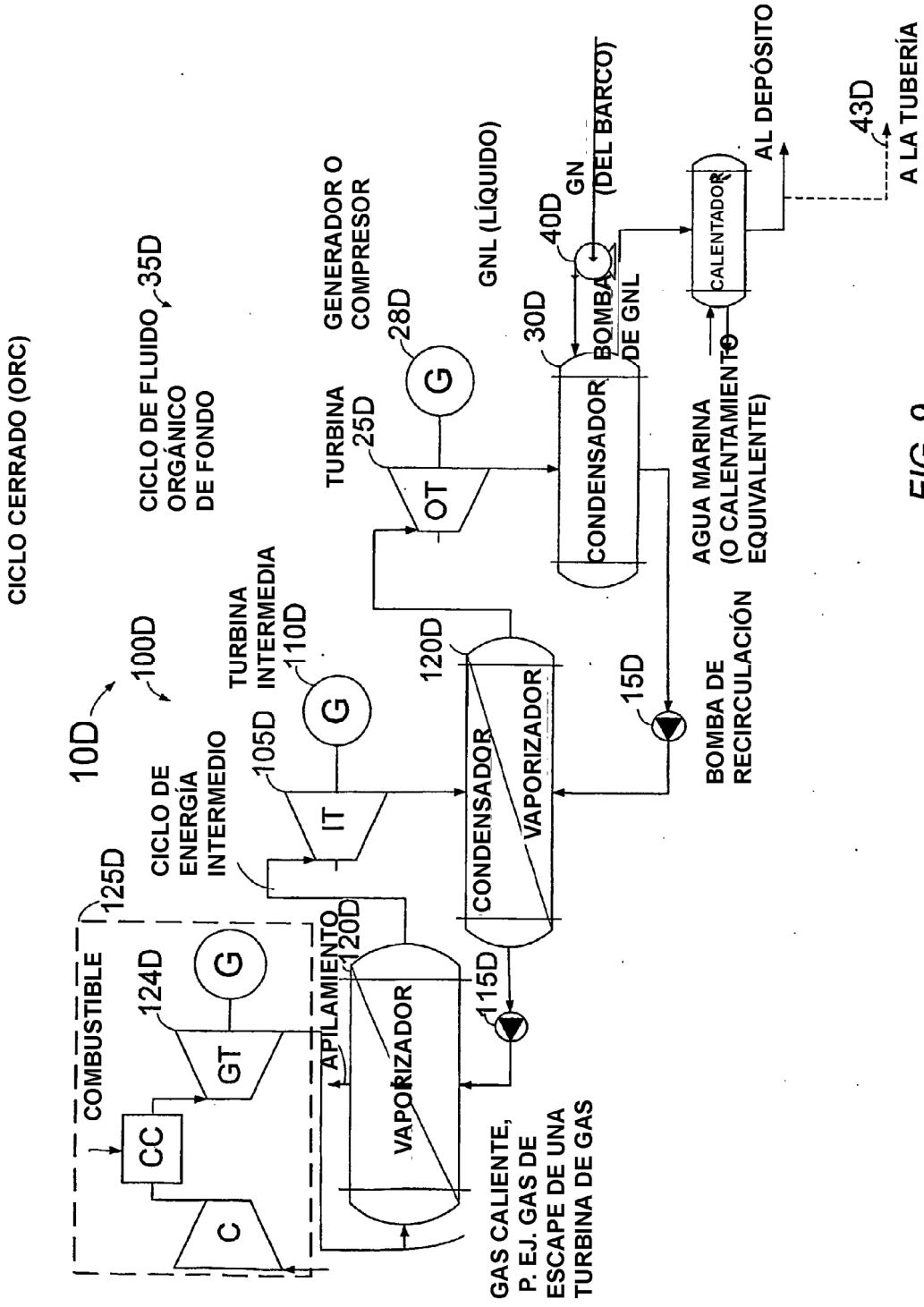


FIG. 9