

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 008**

51 Int. Cl.:

F25J 3/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08789332 .7**

96 Fecha de presentación: **16.07.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2167892**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **31.03.2010**

54 Título: **Integración térmica de centrales de oxígeno**

30 Prioridad:
19.07.2007 US 950649 P
11.07.2008 US 171766

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
11.09.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
11.09.2012

73 Titular/es:
**L'AIR LIQUIDE-SOCIETE ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES
GEORGES CLAUDE
75 QUAI D'ORSAY
75321 PARIS CEDEX 07, FR**

72 Inventor/es:
**BRUGEROLLE, Jean-Renaud y
HA, Bao**

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 387 008 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

Integración térmica de centrales de oxígeno

Se cree que hay efectos del calentamiento global que son causados por el aumento de la introducción de dióxido de carbono en la atmósfera. Una fuente principal de emisión de dióxido de carbono son los gases de combustión que son expulsados como resultado del proceso de combustión de una central eléctrica. Por lo tanto, los gobiernos y las compañías de servicios públicos han hecho esfuerzos para reducir estas emisiones.

Hay dos tipos principales de centrales eléctricas que se basan en procesos de combustión: combustión de carbón y combustión de gas natural. Ambos procesos producen dióxido de carbono como subproducto cuando generan energía. Se han hecho esfuerzos para aumentar la eficacia del quemador, y por lo tanto del propio proceso de combustión básico. En estos esfuerzos se ha intentado reducir el monóxido de carbono (el resultado de la combustión imperfecta), óxidos de nitrógeno y otros contaminantes. Sin embargo, puesto que el dióxido de carbono y el agua son productos básicos de la reacción química de combustión, la técnica más eficaz para minimizar la emisión de dióxido de carbono es capturar tanto dióxido de carbono como sea posible a medida que es creado por las centrales eléctricas. Con el fin de maximizar realmente la eficacia de esta técnica, las centrales de combustión de carbón existentes, que representan una gran parte de las centrales generadoras eléctricas del mundo, también deben ser un objetivo. La técnica de la oxicomcombustión es muy interesante y tiene ventajas significativas, puesto que se puede adaptar a las instalaciones existentes.

Las centrales eléctricas tradicionales usan aire como fuente de oxidante para la combustión del combustible (típicamente carbón). Se genera vapor por intercambio de calor indirecto con los productos de combustión calientes. El vapor después se expande en turbinas para separar la energía útil y de esta forma producir energía. El proceso de combustión produce dióxido de carbono como un subproducto, que se mezcla con el nitrógeno residual del aire de combustión. Debido al alto contenido de nitrógeno en el aire de entrada (78% en moles), el dióxido de carbono está diluido en los gases de combustión. Para asegurar la combustión completa, las centrales eléctricas también tienen que funcionar con una relación de aire en exceso que diluye más el dióxido de carbono en los gases de combustión. La concentración de dióxido de carbono en los gases de combustión de una central de combustión por aire típicamente es aproximadamente 20% en moles.

Esta dilución del dióxido de carbono aumenta el tamaño y el consumo de energía de cualquier unidad de recuperación de dióxido de carbono. Debido a esta dilución, se hace muy costoso y difícil recuperar el dióxido de carbono. Por lo tanto, es deseable producir gases de combustión con al menos aproximadamente 90% a 95% en moles de dióxido de carbono, con el fin de minimizar el coste de la reducción de emisiones. La tecnología actual para la recuperación del dióxido de carbono de los gases de combustión, usa una torre de contacto de amina para limpiar el dióxido de carbono. Sin embargo, la gran cantidad de calor que es necesaria para regenerar la amina y extraer el dióxido de carbono reduce la rentabilidad de los procedimientos.

Con el fin de evitar la dilución del dióxido de carbono en el nitrógeno, la industria de generación de energía está cambiando a un procedimiento de oxicomcombustión. En lugar de usar aire como oxidante, se usa oxígeno de alta pureza (típicamente aproximadamente 95% de pureza o mejor) en el proceso de combustión. El calor de combustión se disipa en los gases de combustión reciclados concentrados en dióxido de carbono. Esta técnica permite lograr gases de combustión que contienen entre aproximadamente 75% en moles y 95% en moles de dióxido de carbono. Esto es una mejora significativa frente a la concentración previa de aproximadamente 20% en moles, que se obtiene en la combustión con aire. La pureza del dióxido de carbono en los gases de combustión de la oxicomcombustión, depende en último término de la cantidad de escape de aire en el sistema y de la pureza del oxígeno que se usa. La alta pureza del oxígeno necesaria se suministra por una unidad de separación de aire.

Puesto que en el procedimiento de oxicomcombustión es necesario oxígeno puro, y por lo tanto potencia de entrada y coste de capital, para facilitar la captura de dióxido de carbono, el procedimiento entero, incluyendo la instalación de oxígeno, la propia central eléctrica y el concepto integrado relacionado, deben ser muy eficaces para minimizar el consumo de energía. De lo contrario, la economía de la recuperación del dióxido de carbono no será atractiva para el operador de la central generadora eléctrica. En resumen, la captura del dióxido de carbono con la oxicomcombustión es atractiva en términos de reducción de la polución, sin embargo, con el fin de conseguirlo deben minimizarse los gastos de capital y la potencia de entrada, para evitar un aumento prohibitivo del coste de la energía.

A lo largo de los años, se han hecho numerosos esfuerzos para reducir el coste de la instalación de separación de aire y en particular de la producción de oxígeno. Puesto que se usa el aire atmosférico gratis como alimentación para la instalación, el coste del oxígeno está relacionado directamente con el consumo de energía y el coste de equipamiento de los compresores, caja fría, destilación, purificación. Al usar grandes cantidades de oxígeno para la generación de energía (oxicomcombustión e IGCC) el tamaño de la instalación de oxígeno está aumentando rápidamente a 7-10 mil toneladas al día, requiriéndose múltiples trenes de oxígeno. En aplicaciones petroquímicas (oxidación parcial, procedimientos de gas a líquido, carbón a líquido, etc.), la necesidad de oxígeno es muy grande y alcanza 20-30 mil toneladas al día.

5 Es típico para la instalación de oxígeno usada en la oxicomustión para central eléctrica de carbón pulverizado, que el producto principal sea oxígeno de baja pureza de aproximadamente 95% en moles y no es necesario nitrógeno gaseoso. Sin la producción de nitrógeno, con la técnica tradicional no se puede coproducir nitrógeno presurizada para mejorar la eficacia del sistema. El consumo de energía de dicha instalación de oxígeno está directamente relacionado con la presión del aire que alimenta el sistema de columna de destilación criogénica. Cuanto menor es la presión, más eficaz es la instalación de separación de aire. Para este tipo de aplicaciones, la presión del aire normalmente es aproximadamente 3-4 bar abs.

10 El nitrógeno residual de dicha instalación de oxígeno debe generarse a baja presión para la ventilación atmosférica con el fin de no desperdiciar energía de presión. Por lo tanto, el sistema de tuberías e intercambiadores del circuito de nitrógeno residual debe hacerse de tamaño grande para tener una caída de presión baja, de lo contrario debe aumentarse la presión del aire, produciendo por consiguiente un mayor consumo energético.

15 Al operar en el procedimiento de separación de aire con una presión del aire de alimentación baja de aproximadamente 3-4 bar abs, el consumo de energía se puede minimizar cuando se compara con las instalaciones de oxígeno tradicionales que operan a 5-6 bar abs. Sin embargo, con una presión del aire de alimentación baja, el equipamiento de adsorción del extremo frontal para la separación de humedad y dióxido de carbono se vuelve problemático puesto que cuanto más baja es la presión más humedad es transportada en el aire de alimentación. La adsorción es exotérmica y al adsorber más humedad, no se puede evitar un mayor aumento de la temperatura en el lecho adsorbente, lo cual no es favorable para la adsorción. La capacidad de adsorción también se reduce más a baja presión debido a la presión parcial baja del CO₂, requiriendo equipamiento de enfriamiento de aire a temperatura inferior para minimizar la cantidad de adsorbente.

20 A partir de la descripción anterior se puede ver que el coste del equipamiento de la separación de aire aumenta rápidamente cuando la presión de aire se disminuye para reducir el consumo energético. La caída a baja presión da como resultado sistemas de tuberías, intercambiadores y columnas de destilación voluminosos y caros. El equipamiento de adsorción se hace muy grande y muy costoso.

25 Como se ha mencionado antes, el requisito del tamaño de la instalación también aumenta y el equipamiento más grande, en particular las columnas de destilación y las botellas de adsorción, superan el límite de transportabilidad. La capacidad del equipamiento criogénico debe reducirse para manejar el tamaño del equipamiento transportable máximo, de modo que es necesario un mayor número de trenes. Es evidente que los costes de equipamiento y de instalaciones serán mayores.

30 Si el producto nitrógeno de la columna de baja presión se puede usar a presión elevada (por ejemplo, como en el caso de la instalación de oxígeno integrada para la aplicación de gasificación de carbón integrada en ciclo combinado (IGCC)) entonces una solución alternativa sería el procedimiento de presión elevada. En este procedimiento, la presión de la columna de baja presión se eleva a 3-6 bar abs en lugar de 1,3-1,6 bar de la instalación de baja presión. Debido a la presión elevada de la columna de baja presión, la presión del aire de alimentación se hace mucho mayor a aproximadamente 10-16 bar abs. Cuando se compara con la solución de la presión baja, el procedimiento de separación del aire a presión elevada ofrece varias ventajas:

- 35 - unidad de purificación con extremo frontal más compacto debido a la mayor presión del aire de alimentación
- 40 - columnas de destilación de menor tamaño, en especial la columna de baja presión, debido a la mayor presión de operación
- intercambiadores de calor y sistema de tuberías de menor tamaño debido a la mayor presión de operación
- equipamiento más compacto significa más capacidad por tren de transporte

45 La penalización principal del procedimiento de presión elevada es el consumo energético mucho mayor debido a la mayor presión del aire. Si la presión del producto nitrógeno de la instalación no se puede valorizar, o no se necesita nitrógeno presurizado, entonces este planteamiento no se puede justificar económicamente en la mayoría de las circunstancias debido al gasto del consumo energético adicional.

50 Es útil tener en cuenta que la energía de separación del oxígeno para el procedimiento de presión elevada es aproximadamente 0,2-0,24 kWh/Nm³ o 20-30% mejor que la energía de separación de la instalación de baja presión (aproximadamente 0,26-0,30 kWh/Nm³), teniendo en cuenta el crédito de la energía del producto nitrógeno. Este tipo de procedimiento de separación de aire a presión elevada se describe en muchas publicaciones y patentes tales como US-A-4224045, US-A-5081845, US-A-5421166, US-A-5231837, US-A-6116052 etc.

Debido a la ventaja del ciclo de presión elevada existen muchas técnicas desarrolladas para recuperar eficazmente la energía del nitrógeno presurizado con el fin de usar este ciclo cuando no se requiere el nitrógeno presurizado.

55 El documento US-A-3950957 describe un procedimiento en el que el nitrógeno de la instalación de oxígeno de presión elevada se calienta recuperando el calor de la salida del compresor de aire. El nitrógeno se calienta más

- mediante los gases de combustión de una combustión de aire y combustible de un generador de vapor; después se expande en una turbina para la recuperación de energía. Los gases de escape de la turbina se mandan otra vez al generador de vapor para la posterior recuperación de calor. Mediante el intercambio de calor de baja temperatura en la salida de la turbina con el calor de alta temperatura suministrado para calentar el nitrógeno antes de la expansión, se puede mantener la eficacia térmica de la caldera y se puede recuperar energía adicional de la turbina para accionar el compresor de aire.
- 5 El documento US-A-4224045 describe la inyección de nitrógeno en la turbina de gas para recuperar su energía de presión.
- 10 El documento US-A-5040370 describe una configuración en la que el oxígeno de una instalación de separación de aire se usa en un procedimiento externo para producir una corriente caliente de fluido de temperatura inferior a 600°C, que se usa para calentar el nitrógeno antes de la expansión para la recuperación de energía.
- El documento US-A-5076837 describe un planteamiento similar al documento US-A- 5040370 para la aplicación con un procedimiento químico.
- 15 El documento US-A-5317862 propone humedecer y calentar nitrógeno y después expandirlo para recuperar energía para la aplicación en alto horno. Casi todas las técnicas se desarrollaron usando la integración con una turbina de gas para recuperar la energía de presión del nitrógeno producida por el procedimiento de presión elevada.
- El documento US-A-5388395 propone expandir el nitrógeno para la recuperación de energía. Se logra además ahorro energético mezclando el nitrógeno enfriado de los gases de escape de la turbina con una entrada de aire de la turbina de gas para disminuir la temperatura de entrada
- 20 El documento US-A-5635541 propone el uso de la instalación de presión elevada para el procedimiento de gas remoto tal como el procedimiento de gas a líquido (GTL) para minimizar el coste del equipamiento, y el nitrógeno simplemente se expande para la recuperación de energía.
- El documento US-A-6009723 sugiere la expansión del nitrógeno calentado para accionar algún compresor de ASU (unidad de separación de oxígeno).
- 25 El documento US-A-6263659B1 sugiere calentar el nitrógeno mediante intercambio de calor con los gases de escape de la turbina de gas y después expandir en el caso de que no haya ciclo de vapor combinado.
- El documento US-A-6282901 describe un procedimiento de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, que introduce oxígeno presurizado y combustible en la pared lateral de la caldera de recuperación de calor, después expande desarrollando trabajo los gases de combustión resultantes para recuperar energía.
- 30 En la caldera de combustión de carbón, los gases de combustión calientes a aproximadamente 2000°C generados por la combustión del carbón con oxígeno, se usan para vaporizar el agua de alimentación de la caldera a presión alta para producir vapor. Después el vapor se expande hasta presión baja (vacío) en múltiples turbinas de vapor para producir electricidad. La caldera usa gases de combustión muy calientes para generar vapor supercalentado a tanto como 570°C. Debido a la gran diferencia de temperatura, la relación del flujo de los gases de combustión al flujo del vapor es bastante pequeña. Al vaporizar el vapor a múltiples presiones, la baja relación de flujos de los gases de combustión se puede optimizar para la vaporización de agua a alta temperatura. Sin embargo, en el intervalo de temperaturas bajas, la relación de flujos baja de los gases de combustión no es suficiente para precalentar el agua de alimentación de la caldera y proporcionar calor para la desaireación. De hecho, en el caso de ciclos de vapor supercríticos, casi 70% del calor absorbido total es proporcionado por este medio y el calor de baja temperatura, hasta la temperatura crítica del agua de aproximadamente 340°C. Para complementar esta carencia, es necesaria la extracción de vapor a diferentes niveles intermedios. Esta extracción de vapor, incluso a presión baja, priva a las turbinas del vapor que se expande, reduciendo por lo tanto la potencia de salida de la central eléctrica y su eficacia térmica. Una configuración típica para la extracción de vapor y calentamiento del agua de alimentación de la caldera se ilustra en la figura 1.
- 35
- 40
- 45 Basándose en lo anterior, existe la necesidad de proporcionar un procedimiento de integración entre la instalación de oxígeno y la central eléctrica de carbón de oxicomustión, de modo que se pueda usar un procedimiento de oxígeno de presión elevada para reducir el coste de capital de la instalación de oxígeno. La integración térmica debe proporcionar también recuperación energética eficaz del nitrógeno presurizado y mejorar el rendimiento de la caldera.
- 50 La presente invención es un procedimiento para la integración de una instalación de separación de aire criogénica y una central eléctrica de oxicomustión de acuerdo con la reivindicación 1. Este procedimiento incluye producir una corriente de nitrógeno presurizada y una corriente de oxígeno presurizada en dicha instalación de separación de aire criogénica. Este procedimiento también incluye quemar una corriente de combustible generando así una corriente de vapor a partir de una corriente de agua de alimentación de la caldera, en el que dicha corriente de vapor se usa para el trabajo de expansión dentro de dicha central eléctrica de oxicomustión. Este procedimiento también incluye calentar dicha corriente de nitrógeno presurizada y dicha corriente de oxígeno presurizada con una corriente de aire
- 55

- comprimido que se extrae del compresor de aire de dicha instalación de separación de aire criogénica, formando así una corriente de nitrógeno presurizada calentada y una corriente de oxígeno presurizada calentada. Este procedimiento también incluye quemar una corriente de combustible con dicha corriente de oxígeno presurizada calentada para producir una corriente de gases de combustión. Este procedimiento también incluye calentar dicha corriente de nitrógeno presurizada calentada para formar una corriente de nitrógeno presurizada caliente. Este procedimiento también incluye trabajo de expansión de dicha corriente de nitrógeno presurizada caliente a una presión inferior, formando así una corriente de escape de nitrógeno caliente y recuperando energía. Y este procedimiento también incluye calentar dicha corriente de agua de alimentación de la caldera mediante intercambio indirecto de calor solo con dicha corriente de escape de nitrógeno caliente.
- 5 Esta invención se puede entender por referencia a la siguiente descripción tomada conjuntamente con los dibujos que acompañan, en los que:
- La figura 1 ilustra una representación estilizada de una configuración típica para la extracción de vapor y calentamiento del agua de alimentación de la caldera conocida en la técnica anterior.
- La figura 2 ilustra una representación estilizada de la integración térmica de una instalación de producción de oxígeno por destilación criogénica y un procedimiento de oxicomcombustión térmico tal como una central térmica de carbón de oxicomcombustión, alto horno, horno de vidriería, etc., de acuerdo con una realización de la presente invención.
- 15 La figura 3 ilustra una representación estilizada de la recuperación térmica de los gases de escape de la turbina de nitrógeno de acuerdo con una realización de la presente invención.
- 20 La figura 4 ilustra una representación estilizada de otra realización de la presente invención.
- La figura 5 ilustra una representación estilizada de otra realización de la presente invención.
- La figura 6 ilustra una representación estilizada de otra realización de la presente invención.
- La figura 7 ilustra una representación estilizada de otra realización de la presente invención.
- La figura 8 ilustra una representación estilizada de otra realización de la presente invención.
- 25 Esta invención se aplica en particular a la integración térmica de una instalación de producción de oxígeno por destilación criogénica y un procedimiento de oxicomcombustión térmica tal como una central térmica de carbón de oxicomcombustión, alto horno, horno de vidriería, etc. El procedimiento de combustión usa el oxígeno producido por la instalación de oxígeno. La integración mejora la eficacia del sistema global y reduce el coste de inversión.
- 30 La integración se describe en la figura 2. Se comprime aire atmosférico **8** en el compresor de aire **90** para formar la corriente **51** que puede tener una presión de aproximadamente 11 bar abs. Con el fin de recuperar el calor de compresión de baja temperatura de una forma que mejore la eficacia térmica del ciclo general, en una realización el compresor **90** es un compresor de tipo adiabático, es decir, sin refrigeradores, para maximizar la temperatura de salida de la corriente de aire comprimido. La corriente **51** puede tener, por lo tanto, una temperatura de aproximadamente 350°C, y después se enfría en el intercambiador **50** y se alimenta a la unidad de separación de
- 35 aire **1** (ASU) como corriente de aire de alimentación comprimida y enfriada **53**. La corriente **53** se trata y se separa en el producto oxígeno **54** a una presión de aproximadamente 1,8 bar abs y una corriente de nitrógeno presurizada **52** a una presión de aproximadamente 4,7 bar abs. En una realización, el nitrógeno presurizado también se puede extraer del sistema de columna de destilación a dos presiones diferentes. La corriente de nitrógeno a presión superior se puede expandir desarrollando trabajo a una presión intermedia para accionar un compresor frío, en el que este compresor frío después puede comprimir la corriente de presión inferior a esa presión intermedia, de modo que solo está disponible una corriente de nitrógeno. Las corrientes **52** y **54** intercambian calor con la corriente **51** en el intercambiador **50** para formar la corriente de nitrógeno **9** y la corriente de oxígeno **10**, ambas con una temperatura resultante de aproximadamente 330°C. Después la corriente de oxígeno **10** se alimenta a la caldera de oxicomcombustión **7** para proporcionar las moléculas de oxígeno para la combustión del carbón pulverizado **5**. La caldera en una central de oxicomcombustión opera con un ligero vacío o muy cerca de la presión atmosférica. La pared lateral de la caldera **7** no está presurizada. La corriente de gases de combustión está aproximadamente a presión atmosférica. En una realización, esta corriente de gases de combustión tiene una presión entre 12,5 milibares manométricos y 50 mbar manométricos. Como se ha explicado antes, no se usa aire atmosférico en una caldera de oxicomcombustión. En algunas realizaciones, el oxígeno se puede mezclar con una parte de los gases de combustión de
- 40 CO₂ reciclados **12**, mientras que el resto de los gases de combustión de CO₂ reciclados se pueden inyectar directamente en el quemador.
- 45 La combustión del carbón y oxígeno genera gases de combustión muy calientes, típicamente con una temperatura de aproximadamente 2000°C. Estos gases de combustión muy calientes después se usan para calentar y vaporizar el agua de alimentación de la caldera **21** en el tren de intercambiadores **75** y así producir vapor a presión alta. El vapor se puede producir a múltiples niveles de presión para optimizar el rendimiento de la caldera. Para el ciclo de vapor supercrítico, las presiones del vapor son superiores a 221 bar. La corriente de nitrógeno **9** se puede calentar
- 55

mediante los gases de combustión a una temperatura de aproximadamente 730°C y después se puede expandir a aproximadamente presión atmosférica en la turbina de expansión **28** para la recuperación de energía. La corriente de salida **27** de esta turbina de expansión **28** puede tener una temperatura de aproximadamente 450°C. La corriente de salida **27** se usa para calentar el agua de alimentación de la caldera **13** en el intercambiador **2** para dar el agua caliente **6** que se envía al tren de intercambiadores **75** para el calentamiento adicional y generación de vapor. El vapor de presión alta **15** después se expande en la turbina de vapor **16** para producir energía para la generación de electricidad. La turbina de vapor **16** puede comprender múltiples turbinas con extracciones laterales, configuraciones de recuperadores de calor, etc., como saben y entenderán los expertos en la materia. La salida de la turbina típicamente estará a presión de vacío proporcionada por el condensador de vapor **18**, que condensará este vapor de la salida de la turbina de vapor. Este condensado de vapor **19** después se bombea a presión alta mediante la bomba **20** y se devuelve a la caldera **7** como agua de alimentación de la caldera **21**. El nitrógeno enfriado **33** a la salida del intercambiador **2** se ventila a la atmósfera.

En una realización de una configuración de los gases de escape de la caldera de recuperación de calor **7**, una parte **31** de los gases de combustión **30**, que consisten principalmente en CO₂ y vapor de agua, a la salida de la caldera **7** se vuelven a reciclar al extremo frontal de la caldera **7**. Otra parte **32** de los gases de combustión se trata en la unidad **3** en la que se enfría y se reduce su contenido de humedad. El polvo y los gases ácidos contenidos en **32** también se reducen. En una realización, la corriente de gases de combustión **25** también se puede volver a reciclar al extremo frontal de la caldera **7**. La parte restante de los gases de combustión entra entonces en la unidad de recuperación de CO₂ **4** donde es tratada para dar la corriente de CO₂ **40** para la captura y uso. En una realización, mediante la extracción del calor de alta temperatura de los gases de combustión para el calentamiento del nitrógeno y el trabajo expansión del nitrógeno calentado, se puede recuperar energía adicional. El calor de alta temperatura extraído, típicamente por encima de aproximadamente 730°C es compensado recuperando el calor de baja temperatura, típicamente por debajo de aproximadamente 330°C, de la compresión de aire y de los gases de escape de la turbina de nitrógeno, de modo que se puede mejorar así la eficacia general del sistema.

Se puede calentar el nitrógeno por encima de 600°C, quizás a aproximadamente 1290°C, como se sugería en el documento US-A-3950957, seguido de expansión para aumentar mucho la recuperación de energía de la turbina de nitrógeno, sin embargo debe usarse material resistente al calor especial o calentador de cantos rodados o calentador alimentado por gas internamente, para el calentador de alta temperatura. Actualmente, estos tipos de calentadores de nitrógeno, para calentar el nitrógeno por encima de aproximadamente 750°C, todavía no están económicamente disponibles para el volumen de flujo de nitrógeno y la presión a la que funciona la instalación de separación de aire actual típica. Además, cuando la temperatura de entrada se acerca a aproximadamente 1290°C, también debe usarse la tecnología de turbina de gas para la turbina de nitrógeno con el fin de que sea compatible con dicha alta temperatura, puesto que las turbinas de gas caliente tradicionales para la recuperación de energía actualmente no están diseñadas para que superen aproximadamente 750°C en la entrada. Además, cuando la temperatura de entrada de la turbina se acerca a aproximadamente 1290°C, la temperatura de los gases de escape de la turbina de nitrógeno también es mucho mayor, típicamente a una temperatura de aproximadamente 900°C, lo cual después requiere esquemas de recuperación de calor más complejos tales como vaporización y supercalentamiento para recuperar eficazmente este calor de alta temperatura. La figura 3 ilustra una realización de la recuperación de calor de los gases de escape de la turbina de nitrógeno.

La unidad de purificación del extremo frontal de la instalación de oxígeno criogénico para la separación de agua y CO₂ requiere servicio de reactivación para restaurar su capacidad de adsorción después de saturación. Es necesario nitrógeno limpio, seco y caliente para realizar este servicio. La realización descrita en la figura 4 muestra una disposición en la que el nitrógeno caliente de baja presión de los gases de escape de la turbina de nitrógeno se puede extraer del intercambiador de recuperación de calor para usar como gas de regeneración para el calentamiento y enfriamiento del lecho de adsorción.

En otra realización del procedimiento de producción de oxígeno criogénico, se prefiere producir nitrógeno presurizado a dos presiones diferentes. La integración térmica de la invención se puede adaptar a esta situación en una realización descrita en la figura 5. El sistema de numeración de las corrientes es similar al de la figura 2. La instalación de oxígeno produce dos corrientes de nitrógeno, la corriente **52** a aproximadamente 4 bar abs y la **55** a aproximadamente 10 bar abs. Las corrientes **52** y **55** se calientan en el intercambiador de recuperación **50** para dar las corrientes **9** y **56** respectivamente. La corriente **56** se calienta mediante los gases de combustión de la caldera a mayor temperatura y después se expande a aproximadamente 4 bar abs en la turbina **58** para la recuperación de energía. El gas de salida **59** de la turbina **58** después se mezcla con la corriente **9** y las corrientes combinadas se calientan otra vez mediante los gases de combustión a una temperatura superior a aproximadamente 730°C, después se expande en la turbina **28** para la recuperación de energía. La corriente de salida **27** de la turbina **28** se envía al intercambiador de recuperación de calor **2** donde transfiere el calor al agua de alimentación de la caldera.

En otra realización similar a la figura 5 y descrita en la figura 6, en lugar de calentarla mediante los gases de combustión, la corriente **56** se expande a una presión inferior en la turbina **58**, los gases de escape de la turbina **59** se mezclan con la corriente de nitrógeno de presión baja y la corriente combinada se calienta otra vez en el intercambiador de calor de recuperación **50** antes de calentar mediante los gases de combustión.

La figura 7 describe otra realización en la que la corriente de nitrógeno de presión inferior **9** se comprime más en el compresor **68** y se mezcla con la corriente de nitrógeno de presión superior **56** y la corriente combinada se calienta mediante los gases de combustión.

5 Puesto que la oxidación usa oxígeno criogénico como oxidante en lugar de moléculas de oxígeno libres contenidas en el aire atmosférico, la eficacia termodinámica de la unidad de separación de aire es de máxima importancia para la rentabilidad global del procedimiento de oxidación. Para este fin, es preferible usar el esquema del procedimiento de columna triple similar al procedimiento descrito en la figura 8 (documento US-A-6116052).

10 En este procedimiento, el aire de alimentación frío **12** se trata en la columna de presión alta **9** para producir un primer gas rico en nitrógeno en la parte superior y un primer líquido enriquecido en oxígeno **18** en el fondo. El líquido enriquecido en oxígeno **18** se envía a una columna de presión intermedia **25** equipada con un condensador superior y un evaporador en el fondo para producir un segundo gas rico en nitrógeno y un segundo líquido enriquecido en oxígeno **35**. El primer y segundo líquidos enriquecidos en oxígeno se envían a la columna de baja presión para producir el oxígeno líquido **52** en el fondo y un tercer gas rico en nitrógeno **43** en la parte superior. Este oxígeno líquido **52** después se vaporiza a una presión baja de aproximadamente 2 bar abs en el evaporador superior de la columna intermedia contra el segundo gas rico en nitrógeno que condensa para dar el oxígeno gaseoso **41**, que después se calienta y se recupera como producto oxígeno **44**. El primer gas rico en nitrógeno condensa contra el oxígeno líquido que vaporiza en el fondo de la columna de baja presión y el segundo líquido enriquecido en oxígeno que vaporiza en el fondo de la columna de presión intermedia. La columna intermedia opera a una presión mayor que la presión de la columna de baja presión y menor que la presión de la columna de presión alta. Una parte del primer gas rico en nitrógeno se recupera como nitrógeno a presión alta **20** a aproximadamente 10 bar abs. El tercer gas rico en nitrógeno se recupera como producto nitrógeno de presión media **45** a aproximadamente 4 bar abs. Usando este tipo de procedimiento y el esquema integrado de esta invención para recuperar la energía de presión de las corrientes de nitrógeno de presión alta y presión media, mejora mucho la eficacia termodinámica de la producción de oxígeno lograda.

15

20

25

REIVINDICACIONES

- 1.- Un procedimiento para la integración de una instalación de separación de aire criogénica (1) y una central eléctrica de oxidación, que comprende:
- 5 - producir una corriente de nitrógeno presurizada (52, 55) y una corriente de oxígeno presurizada (54) en dicha instalación de separación de aire criogénica;
 - quemar una corriente de combustible (5) generando así una corriente de vapor (15) procedente de una corriente de agua de alimentación de la caldera calentada (6), en el que dicha corriente de vapor se usa para trabajo de expansión dentro de dicha central eléctrica de oxidación;
 - 10 - calentar dicha corriente de nitrógeno presurizada y dicha corriente de oxígeno presurizada con una corriente de aire comprimido (51) que se extrae de un compresor de aire (90) de dicha instalación de separación de aire criogénica, formando así una corriente de nitrógeno presurizada calentada (9, 56) y una corriente de oxígeno presurizada calentada (10);
 - 15 - quemar una corriente de combustible con dicha corriente de oxígeno presurizada calentada para producir una corriente de gases de combustión (30), en el que dicha corriente de gases de combustión está aproximadamente a presión atmosférica;
 - calentar dicha corriente de nitrógeno presurizada calentada para formar una corriente de nitrógeno presurizada caliente (14);
 - expandir desarrollando trabajo dicha corriente de nitrógeno presurizada caliente a una presión inferior formando así una corriente de escape de nitrógeno caliente (27) y recuperar energía; y
 - 20 - calentar una corriente de agua de alimentación de la caldera (13) para formar dicha corriente de agua de alimentación de la caldera calentada mediante el intercambio de calor indirecto con dicha corriente de escape de nitrógeno caliente
 - caracterizado porque la corriente de agua de alimentación de la caldera se calienta corriente arriba de la caldera mediante intercambio de calor indirecto solo con dicha corriente de escape de nitrógeno caliente.
- 25 2.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el calentamiento de dicha corriente de nitrógeno caliente es por intercambio de calor indirecto con dicha corriente de gases de escape (30).
- 3.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicha corriente de nitrógeno presurizada comprende una corriente de nitrógeno a presión alta (55) y una corriente de nitrógeno a presión media (52), en el que tanto dicha corriente de nitrógeno a presión alta como dicha corriente de nitrógeno a presión media son producidas en dicha instalación de separación de aire criogénica (1).
- 30 4.- El procedimiento de la reivindicación 3, que además comprende:
- 35 - calentar dicha corriente de nitrógeno a presión alta (55), dicha corriente de nitrógeno a presión media (52) y dicha corriente de oxígeno presurizada (54) con dicha corriente de aire comprimido, formando así una corriente de nitrógeno a presión alta calentada (56), una corriente de nitrógeno a presión media calentada (9) y una corriente de oxígeno presurizada calentada (10);
 - quemar una corriente de combustible (5) con dicha corriente de oxígeno presurizada calentada para producir una corriente de gases de combustión;
 - calentar dicha corriente de nitrógeno a presión alta calentada (56) para formar una corriente de nitrógeno a presión alta caliente (57);
 - 40 - expandir desarrollando trabajo la corriente de nitrógeno a presión alta caliente a una presión inferior formando así una corriente de escape de nitrógeno a presión media caliente (59) recuperando así una primera parte de energía;
 - mezclar dicha corriente de escape de nitrógeno a presión media caliente con dicha corriente de nitrógeno calentada a presión media para formar una corriente de nitrógeno a presión media combinada templada;
 - 45 - calentar dicha corriente de nitrógeno a presión media combinada templada para formar una corriente de nitrógeno a presión media combinada caliente; en la que la corriente de nitrógeno a presión media combinada caliente constituye la corriente de nitrógeno presurizada caliente.
- 5.- El procedimiento de la reivindicación 4, en el que el calentamiento de dicha corriente de nitrógeno a presión alta caliente (57) es por intercambio de calor indirecto con dichos gases de combustión (30).
- 50 6.- El procedimiento de la reivindicación 3, que además comprende:

- calentar dicha corriente de nitrógeno a presión alta (55), dicha corriente de nitrógeno a presión media (52) y dicha corriente de oxígeno presurizada (54) con dicha corriente de aire comprimido (51), formando así una corriente de nitrógeno a presión alta calentada (56), una corriente de nitrógeno a presión media calentada (9) y una corriente de oxígeno presurizada calentada (10);
- 5
- quemar una corriente de combustible con dicha corriente de oxígeno presurizada calentada para producir una corriente de gases de combustión;
 - expandir desarrollando trabajo dicha corriente de nitrógeno calentada a presión alta (56) a una presión inferior formando así una corriente de escape de nitrógeno a presión media caliente (59) recuperando así una primera parte de energía;
- 10
- mezclar dicha corriente de escape de nitrógeno a presión media caliente con dicha corriente de nitrógeno a presión media calentada para formar una corriente de nitrógeno a presión media combinada templada (9);
 - calentar dicha corriente de nitrógeno a presión media combinada templada para formar una corriente de nitrógeno a presión media combinada caliente; en la que la corriente de nitrógeno a presión media combinada caliente constituye la corriente de nitrógeno presurizada caliente.
- 15
- 7.- El procedimiento de la reivindicación 3, que además comprende:
- calentar dicha corriente de nitrógeno a presión alta (55) y dicha corriente de oxígeno comprimido (54) con dicha corriente de aire comprimido (51), formando así una primera corriente de nitrógeno a presión alta calentada (56) y una corriente de oxígeno presurizada calentada (10);
- 20
- quemar una corriente de combustible con dicha corriente de oxígeno presurizada calentada para producir una corriente de gases de combustión;
 - comprimir más dicha corriente de nitrógeno a presión media (52) a presión superior para formar una segunda corriente de nitrógeno a presión alta calentada (59);
- 25
- mezclar dicha primera corriente de nitrógeno a presión alta calentada (56) con dicha segunda corriente de nitrógeno a presión alta calentada (59), formando así una corriente de nitrógeno a presión alta combinada calentada;
 - calentar dicha corriente de nitrógeno a presión alta combinada calentada para formar una corriente de nitrógeno a presión media combinada caliente; en la que la corriente de nitrógeno a presión media combinada caliente constituye la corriente de nitrógeno presurizada caliente.
- 30
- 8.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la instalación de separación de aire criogénica (1) tiene un sistema de columna de destilación que comprende una columna de presión alta (9), una columna de presión baja (19) y una columna de presión intermedia (25) que opera a una presión inferior a la presión de dicha columna de presión alta y superior a la presión de dicha columna de presión baja.
- 35
- 9.- El procedimiento de la reivindicación 8, en el que:
- a. dicha columna de presión intermedia tiene un condensador superior (31); y
 - b. el oxígeno líquido (52) se extrae en el fondo de dicha columna de presión baja y se vaporiza en dicho condensador superior para producir dicho vapor de oxígeno gaseoso comprimido.
- 40
- 10.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la temperatura de dicha corriente de nitrógeno presurizada caliente (14) no supera 800°C.
- 11.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicho combustible (5) es carbón.
- 12.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicha corriente de agua de alimentación de la caldera y dicha corriente de escape de nitrógeno caliente intercambian calor en un intercambiador de calor (2), y en el que una parte de dicha corriente de escape de nitrógeno caliente se extrae de dicho intercambiador de calor a una temperatura entre 80°C y 300°C.

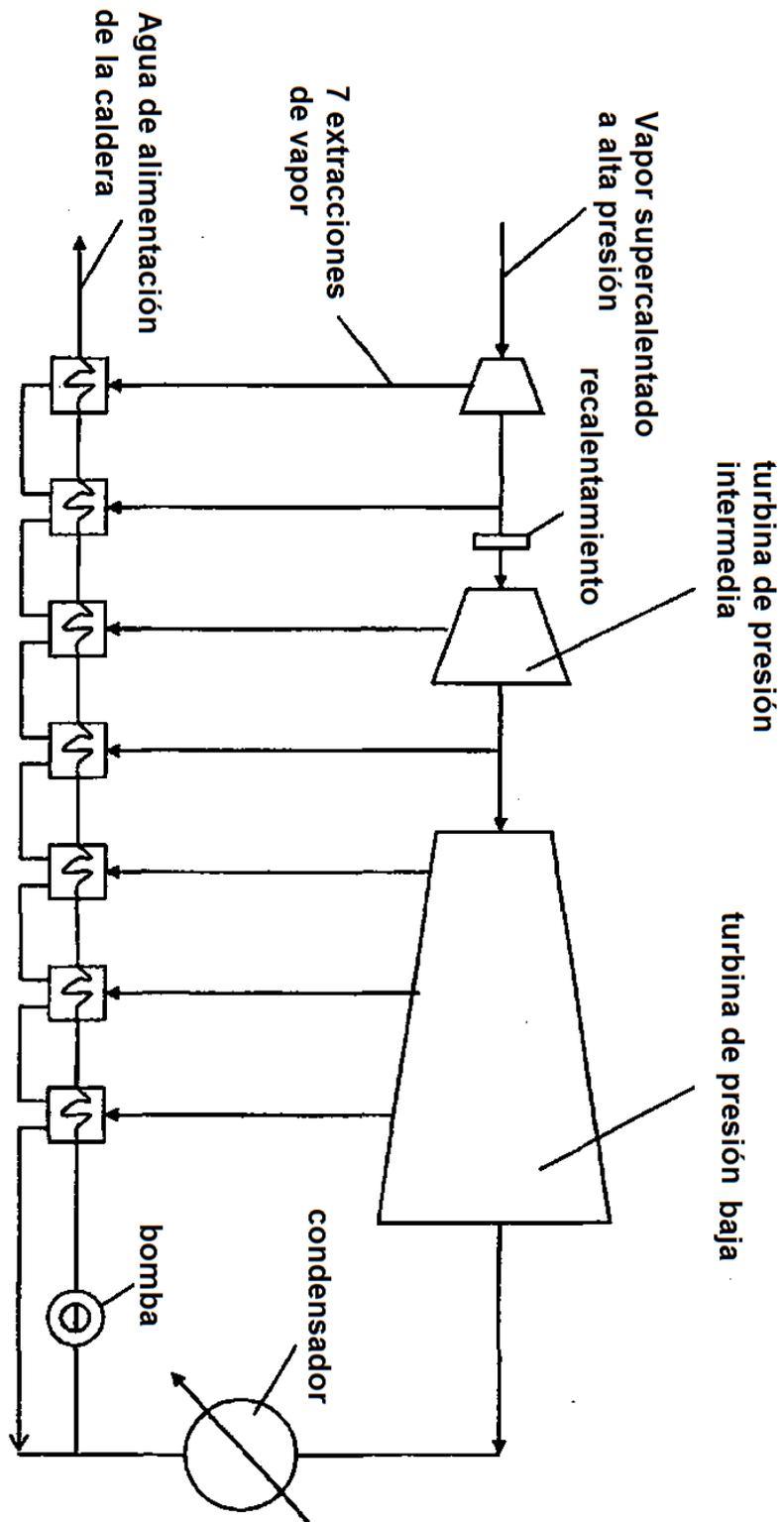


Fig. 1

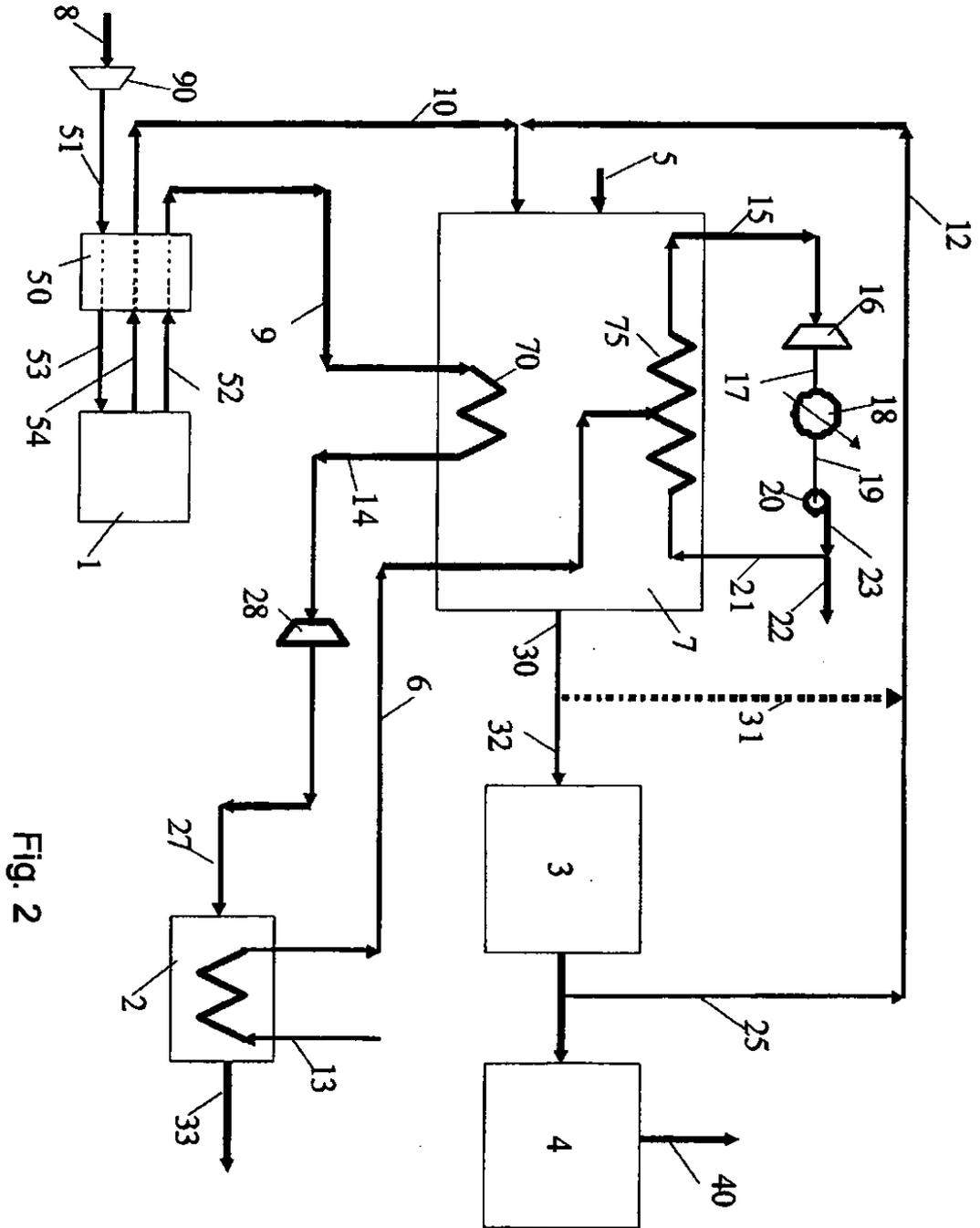


Fig. 2

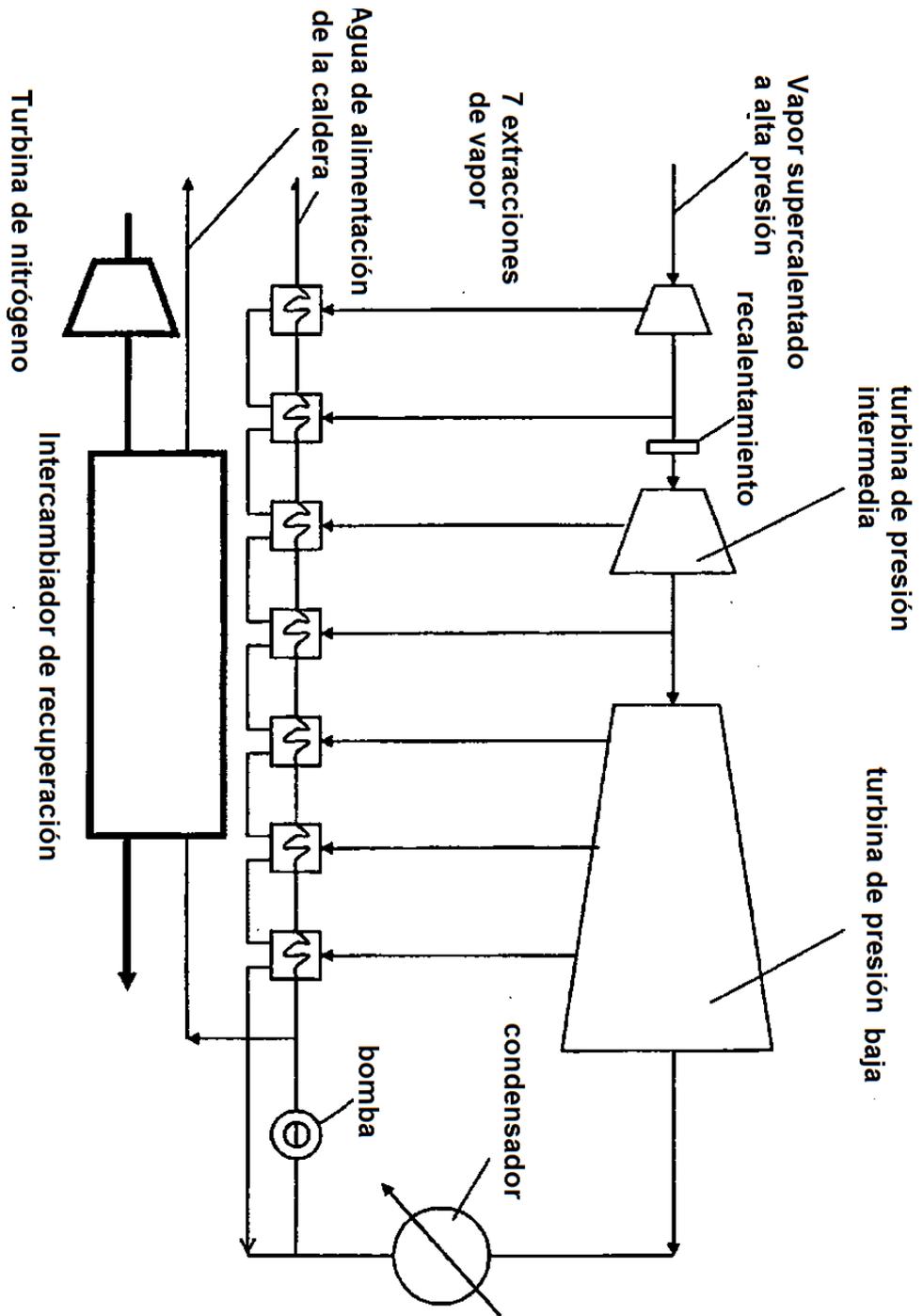


Fig. 3

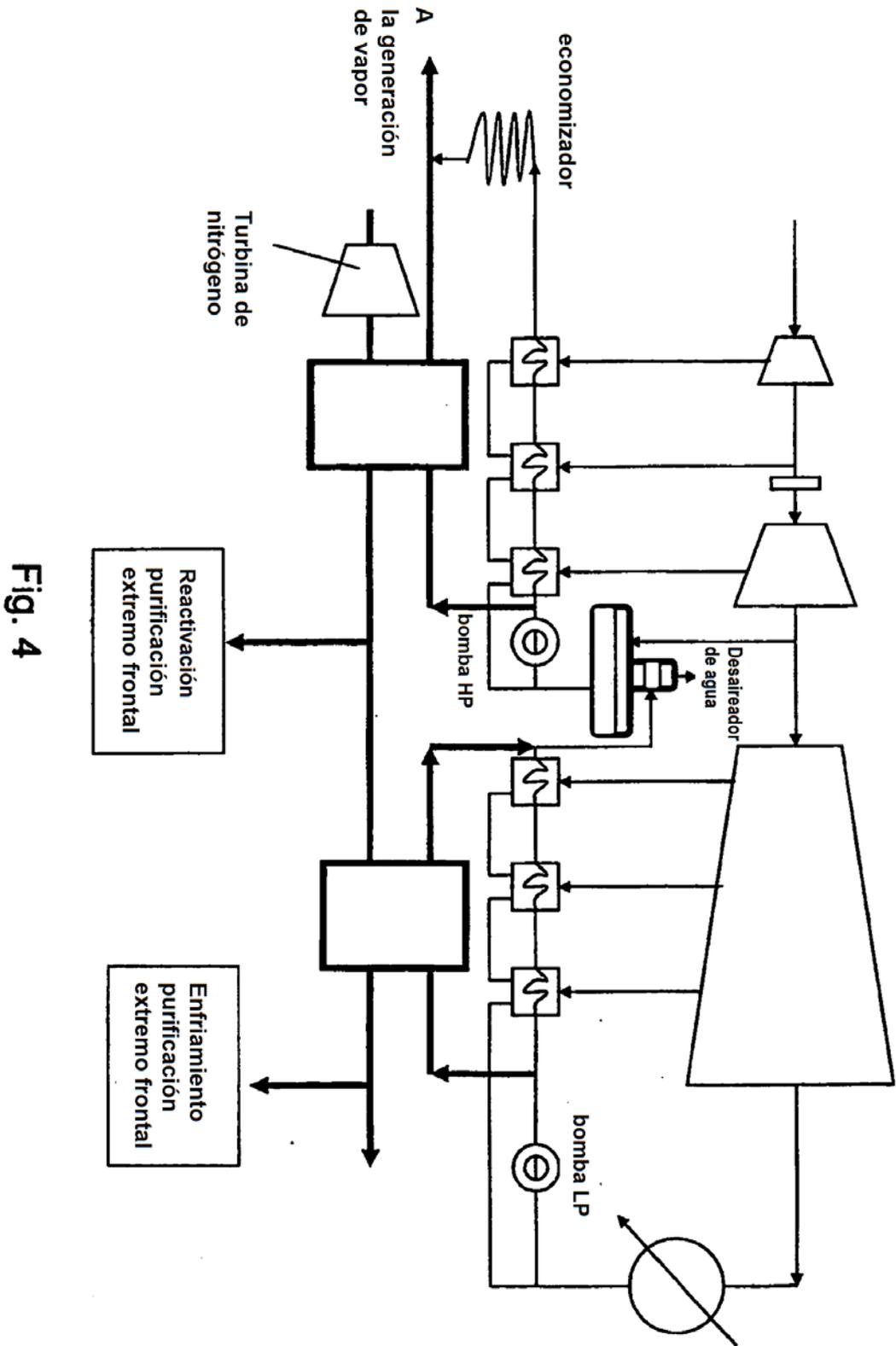


Fig. 4

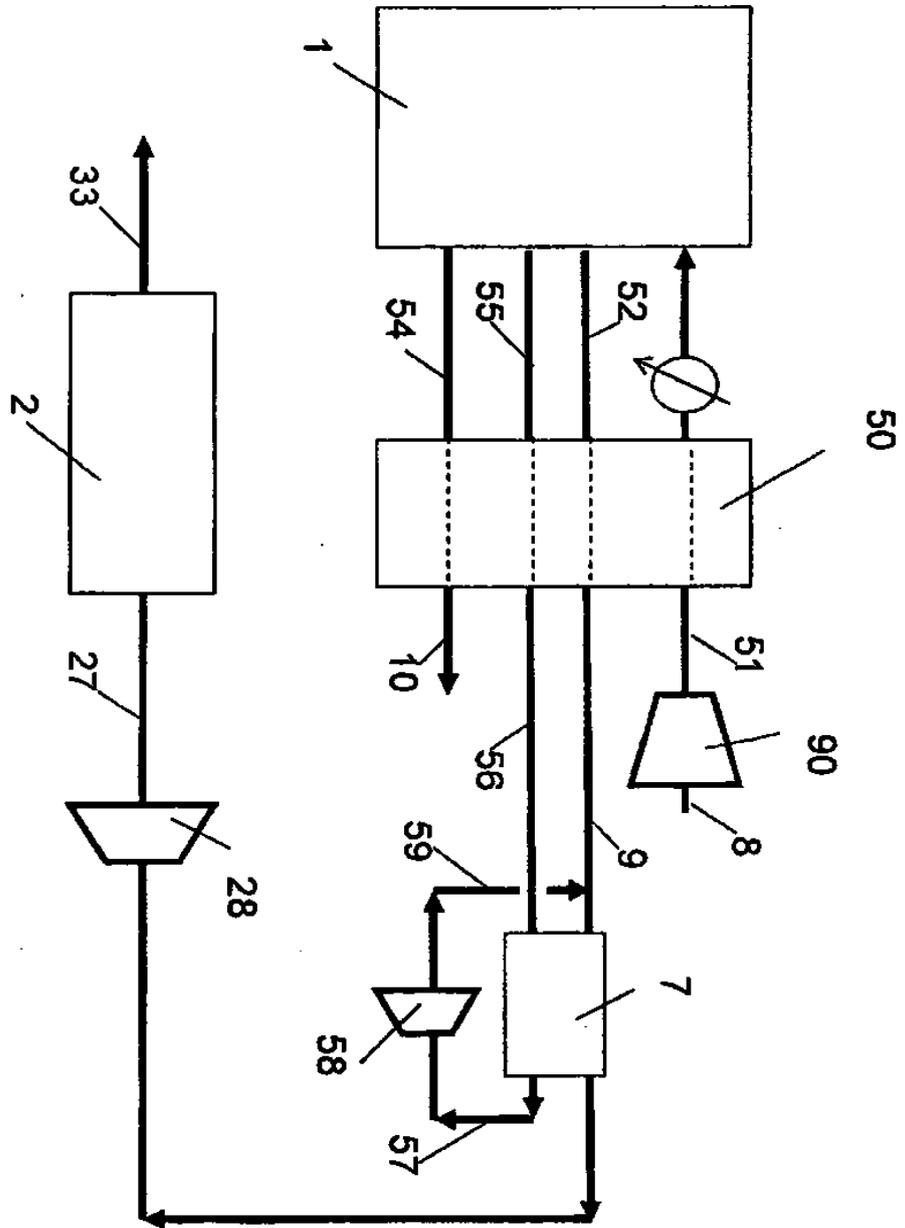


Fig. 5

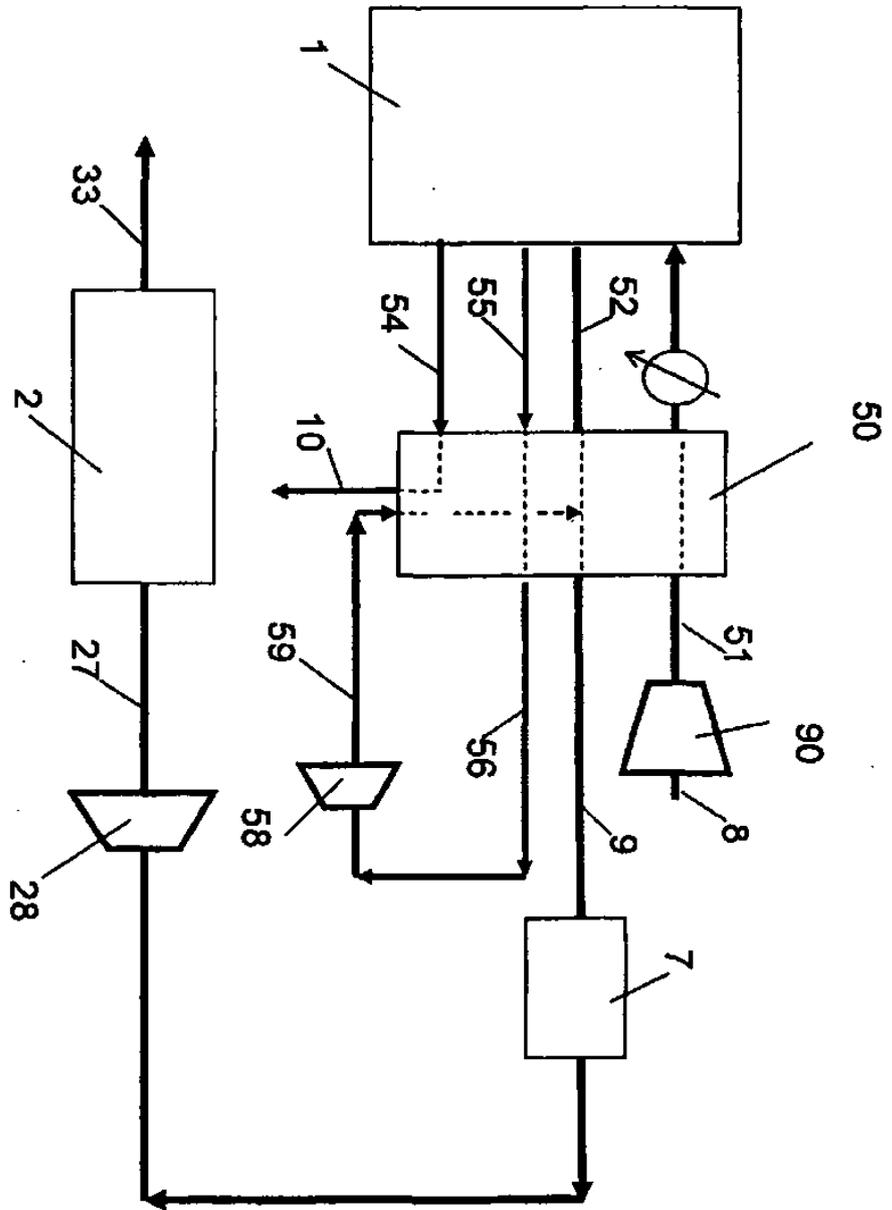


Fig. 6

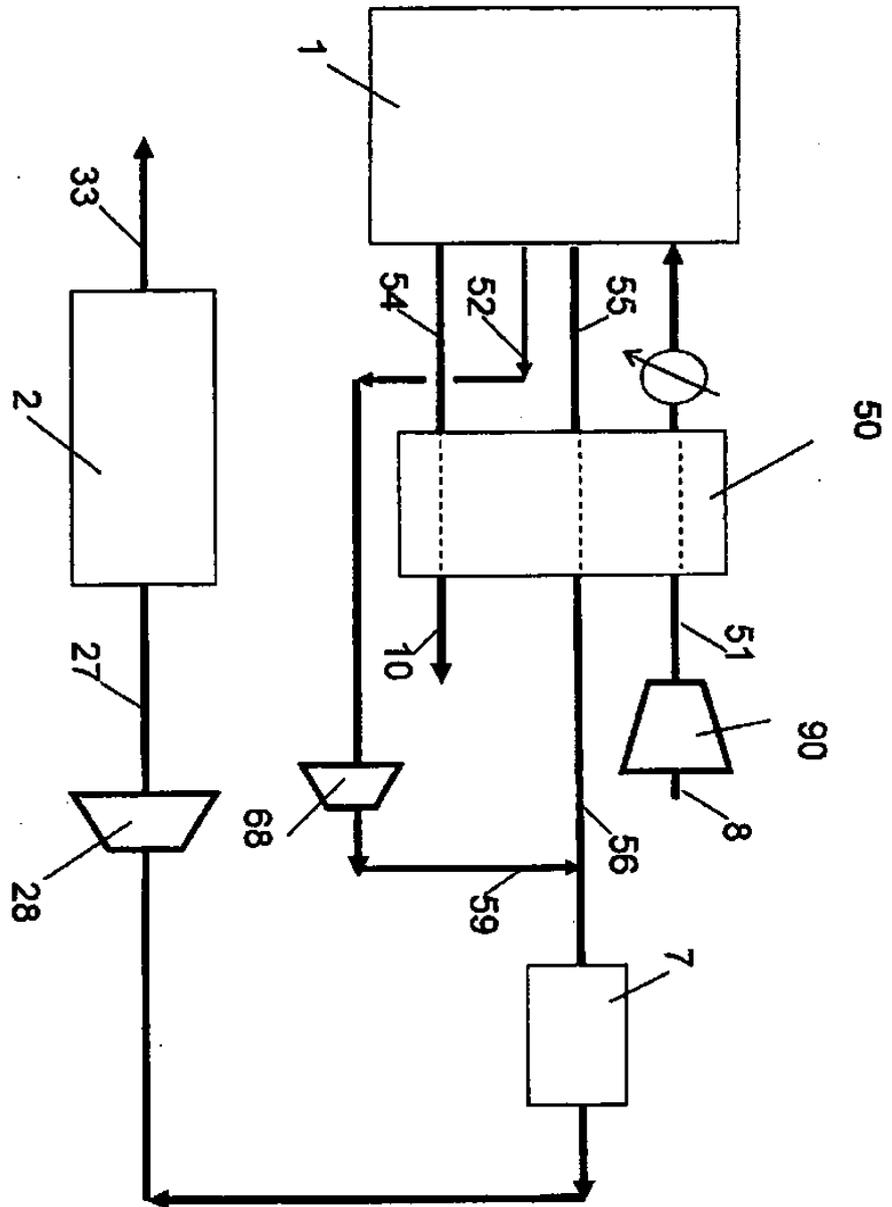


Fig. 7

