

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 993 712**

51 Int. Cl.:

C01B 21/26 (2006.01)
C01B 21/28 (2006.01)
C01B 21/40 (2006.01)
B01D 53/56 (2006.01)
C25B 1/04 (2011.01)
C25B 1/50 (2011.01)
C25B 9/77 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.09.2021** **PCT/EP2021/075157**
87 Fecha y número de publicación internacional: **17.03.2022** **WO22053698**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.09.2021** **E 21765811 (1)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2024** **EP 4211076**

54 Título: **Planta de presión dual para la producción de ácido nítrico y método para operarla**

30 Prioridad:

14.09.2020 EP 20195977

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.01.2025

73 Titular/es:

YARA INTERNATIONAL ASA (100.00%)
Drammensveien 131
0277 Oslo, NO

72 Inventor/es:

VIGELAND, BENT;
ØIEN, HALVOR;
RÖSLER, RONALD;
DE SMET, ANDRÉ y
FAUCONNIER, PETER

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 993 712 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

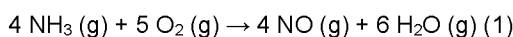
Planta de presión dual para la producción de ácido nítrico y método para operarla

5 **Campo de la divulgación**

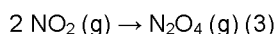
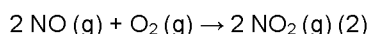
La divulgación se refiere al campo de la producción de ácido nítrico, más en particular, a una planta de presión dual que opera con una unidad blanqueadora de alta presión y a un método para operar dicha planta de presión dual, en particular, para la recuperación de energía proporcionada mediante la operación de dicha unidad blanqueadora de alta presión.

Antecedentes de la divulgación

El ácido nítrico puro es un líquido transparente incoloro con un olor fuerte. El ácido nítrico se produce en grandes cantidades principalmente mediante la oxidación catalítica de amoníaco (proceso Ostwald). El amoníaco se convierte en ácido nítrico en dos etapas. Primero se oxida el amoníaco en un quemador de amoníaco sobre gases de platino (comúnmente denominado convertidor de amoníaco), lo que produce óxido nítrico (monóxido de nitrógeno) y agua:

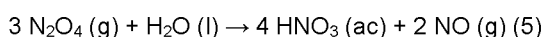
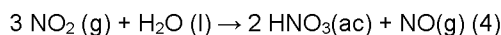


El producto de reacción de (1), óxido nítrico (en la presente divulgación también denominado monóxido de nitrógeno (NO)), después del enfriamiento, se oxida luego a dióxido de nitrógeno (NO₂) y además a tetróxido de dinitrógeno N₂O₄ (g) en una sección de oxidación:



El enfriamiento de los gases de óxido de nitrógeno se logra a través del intercambio de calor en un condensador enfriador en el que se separa ácido nítrico condensado de gases de óxido nítrico, dióxido de nitrógeno y tetróxido de dinitrógeno, denominados de manera colectiva gases NO_x.

Mediante absorción en agua, después de la compresión a través de un compresor de gas NO_x, el dióxido de nitrógeno y tetróxido de dinitrógeno se convierten en ácido nítrico y óxido nítrico:



Se obtiene ácido nítrico débil que es hasta 68 % (azeótropo). A través de un proceso de rectificación, la concentración de ácido nítrico puede aumentarse hasta 99 % de ácido nítrico concentrado. La reacción total se obtiene mediante la siguiente fórmula:



Las unidades de procesamiento principales en una planta de producción de ácido nítrico incluyen un convertidor de amoníaco (conversión de amoníaco en óxidos nítricos mediante el uso de oxígeno sobre un catalizador adecuado), una sección de oxidación (conversión de óxido nítrico en dióxido de nitrógeno y tetróxido de nitrógeno), una unidad absorbente (para la absorción de gases NO_x en agua) y una unidad blanqueadora (eliminación de gases disueltos sin reaccionar, que contiene en particular NO_x y gases, de la solución acuosa de ácido nítrico, que le da a esta su color amarillado típico).

El proceso para la producción de ácido nítrico puede diferenciarse en un proceso de monopresión (presión única) y presión dual (presión dividida).

En un proceso de monopresión, el convertidor y la unidad absorbente operan a aproximadamente la misma presión de funcionamiento. Tal proceso de monopresión generalmente incluye procesos de baja presión (2 a 6 bar) y alta presión (6 a 16 bar, en particular, 9 a 16 bar).

En un proceso de presión dual, la unidad absorbente opera a una presión de funcionamiento mayor que el convertidor de amoníaco. Los procesos de presión dual modernos presentan un convertidor de amoníaco de baja presión (LP) que opera en general de 2 a 6 bar y una unidad absorbente de alta presión (HP) que opera de 9 a 16 bar.

Un proceso de presión dual necesita un compresor de aire para suministrar aire de baja presión (que comprende alrededor de 21 % en volumen de oxígeno) al convertidor y un compresor de gas NO_x para suministrar gases NO_x de alta presión a la unidad absorbente. La presión de funcionamiento de un compresor de aire es de 2 a 6 bar, inclusive,

y la presión de funcionamiento de un compresor de gas NO_x es de 9 a 16 bar, inclusive.

La potencia de accionamiento del compresor de aire y de gas NO_x generalmente se origina de una turbina de gas residual y una turbina de vapor o motor eléctrico. En consecuencia, el tren compresor de una planta de producción de ácido nítrico generalmente comprende un compresor de aire, un compresor de gas NO_x , una turbina de gas residual y una turbina de vapor o motor eléctrico.

Más detalladamente en referencia a la figura 1, una planta y un proceso de presión dual de acuerdo con el arte previo funcionan de la siguiente manera. El amoníaco **10**, opcionalmente precalentado en una unidad precalentadora **1**, se mezcla con aire comprimido **13** en un aparato de mezcla **3**, se presuriza hasta una baja presión mediante el uso de un compresor de aire **2** operable a una baja presión de gas, y la mezcla de amoníaco/aire resultante **14** se suministra a un convertidor de amoníaco **4**, que opera a una baja presión, en donde el amoníaco se oxida sobre un catalizador adecuado, y se obtiene así una mezcla gaseosa de gas/vapor NO_x de LP **15**, que comprende agua y NO . El calor de la mezcla que sale del convertidor de amoníaco se recupera, después de lo cual la mezcla de gas/vapor NO_x se enfría posteriormente en un enfriador/condensador de agua **9a** hasta una temperatura en la que el agua se condensa, y se separa una mezcla acuosa de ácido nítrico diluida **17** de un flujo gaseoso de NO_x **18**. En la etapa de oxidación **20** posterior, el flujo gaseoso de NO_x de LP se oxida adicionalmente para convertir además el NO a NO_2 y N_2O_4 , y se vuelve a enfriar en un enfriador/separador **9b** para separar una mezcla acuosa de ácido nítrico diluida **21** que se dirige a una unidad absorbente **6**, comúnmente denominada torre de absorción. Por otro lado, el flujo gaseoso de NO_x **22** se envía a un compresor de gas NO_x **5** en donde su presión se eleva de una baja presión a una alta presión, que es aproximadamente igual a la presión de funcionamiento de la unidad absorbente, y el flujo gaseoso de NO_x presurizado **24** también se envía a la unidad absorbente **6**. Dentro de la unidad absorbente **6**, el gas NO_x de HP reacciona con agua para producir un flujo de ácido nítrico crudo que también contiene gas NO_x residual **27**, que se suministra a un blanqueador **7** mediante una válvula **31**. El gas NO_x residual luego se extrae con un medio gaseoso **16** tal como un gas o aire que contiene oxígeno, dentro de una unidad blanqueadora **7**, que opera a baja presión; la unidad blanqueadora generalmente se opera a alrededor de la misma presión que el convertidor de amoníaco. El gas de extracción cargado de NO_x **19** se dirige a la sección de oxidación, corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**. El flujo de ácido nítrico extraído **29** de la unidad blanqueadora **7** se envía luego a almacenamiento para procesamiento adicional.

La potencia de accionamiento del compresor de aire **2** y compresor de gas NO_x **5** se origina de una turbina de gas residual **8** y una turbina de vapor o motor eléctrico (no se muestra).

El aire usado para la oxidación de amoníaco comúnmente se designa como aire primario; el aire usado como medio de extracción en la unidad blanqueadora se designa como aire secundario.

De acuerdo con el arte previo, el remodelado de las plantas de producción de ácido nítrico para aumentar su capacidad comúnmente se basa en el aumento de la cantidad de aire primario en el reactor, lo que genera un aumento proporcional de la cantidad de ácido nítrico producida.

El aumento de la cantidad de aire primario en el reactor implica la instalación de un compresor de aire nuevo o el remodelado del actual. El aumento del aire primario también causa una mayor cantidad de gas que se debe procesar en el compresor de gas NO_x posterior, lo que implica el remodelado adicional del compresor de gas NO_x o la instalación de uno nuevo, y la modificación o reemplazo de las turbinas de gas residual y/o de vapor y/o el motor eléctrico. De otro modo, el compresor de gas NO_x alcanzaría fácilmente su límite de proceso, y se convertiría así en el cuello de botella de la planta.

Sin embargo, el remodelado tiene desventajas significativas. En primer lugar, implica costos elevados para la modificación o reemplazo del equipo actual, es decir, el compresor de aire, el compresor de gas NO_x y las turbinas y motor eléctrico correspondientes. Además, el remodelado del equipo también es demandante desde el punto de vista técnico, lo que genera una prolongada inactividad de la planta.

Otro problema relacionado con las plantas de producción de ácido nítrico es la alta cantidad de energía necesaria para operar el compresor de gas NO_x . En consecuencia, se necesita una gran cantidad de energía para alcanzar el rendimiento diana de la producción de ácido nítrico.

Antecedentes de la técnica anterior

En WO2018/162150A1 (Casale SA, 13 de septiembre de 2018) se propone una solución para superar las desventajas del remodelado. WO2018162150A1 divulga una planta de presión dual para la producción de ácido nítrico que comprende un reactor que proporciona un efluente gaseoso que contiene óxidos de nitrógeno, una unidad absorbente en la que los óxidos de nitrógeno reaccionan con agua proporcionando ácido nítrico crudo y, la unidad absorbente que opera a una presión mayor que la presión del reactor, un compresor que eleva la presión del efluente del reactor hasta la presión de la unidad absorbente, en donde la planta también comprende una primera unidad blanqueadora de HP y una segunda unidad blanqueadora de LP, en donde la primera unidad blanqueadora de HP extrae con aire el gas NO_x del flujo de salida de la unidad absorbente, y proporciona así un flujo de ácido nítrico parcialmente extraído y un

flujo de aire cargado de óxidos de nitrógeno, en donde el primero se suministra a la segunda unidad blanqueadora de LP y el segundo se recicla en la sección de oxidación, corriente arriba del compresor de gas NO_x.

El documento US2016/122885 divulga un sistema de electrólisis de agua de presión diferencial

5 También se proporciona un compresor de aire adicional, que suministra aire a la primera unidad blanqueadora de HP. Por lo tanto, se necesita energía para operar una primera unidad blanqueadora de HP a una alta presión y luego reciclar los gases NO_x en el lado de administración del compresor de gas NO_x.

10 De este modo, sigue existiendo la necesidad de un proceso y una configuración de planta correspondiente para minimizar la cantidad de energía necesaria para operar el compresor de gas NO_x y, preferentemente, también el compresor de aire, y evitar así cuellos de botella en el rendimiento de la producción de ácido nítrico asociado con aquellos compresores.

15 Sumario de la divulgación

El objetivo de la divulgación se alcanza con una planta de presión dual de acuerdo con la reivindicación 1 y las reivindicaciones dependientes 2 a 5, para la producción de ácido nítrico.

20 El objetivo de la divulgación se alcanza además mediante la operación de una unidad blanqueadora de alta presión en una planta de producción de ácido nítrico de presión dual, de acuerdo con la reivindicación 6 y las reivindicaciones dependientes 7 a 10.

La forma de realización principal de la divulgación tiene varias ventajas.

25 Una primera ventaja es que, de acuerdo con la divulgación, el compresor de gas NO_x no está más cargado por el gas de extracción cargado de NO_x de la unidad blanqueadora, ya que el gas de extracción cargado de NO_x se dirige hacia el lado corriente abajo del compresor de gas NO_x, y se combina con el flujo gaseoso de NO_x de HP, por lo que requiere que el compresor de gas NO_x trabaje menos (para el mismo rendimiento del convertidor) o, dicho de otra manera, en donde el compresor de gas NO_x puede manejar un aumento del rendimiento de gas cargado de NO_x de la sección de oxidación (a un mayor rendimiento del convertidor).

30 Una segunda ventaja es que el compresor de aire ahora solo presuriza aire primario para el convertidor, ya que el suministro de aire secundario para la unidad blanqueadora se reemplazó por un flujo de un gas rico en oxígeno proporcionado al menos en parte por una unidad electrolizadora de agua de alta presión (HP) que se opera a una presión del gas de 9 a 30 bar, preferentemente, 15 a 30 bar. Debido a que bombear agua requiere menos energía que comprimir gas, hay un ahorro general de energía significativo. Además, el compresor de aire está menos cargado ya que solo comprime aire primario, por lo que requiere que el compresor de aire produzca menos trabajo (para el mismo rendimiento del convertidor) o, dicho de otra manera, en donde el compresor de aire puede manejar un mayor rendimiento de aire primario (a un mayor rendimiento del convertidor).

Una tercera ventaja es que el compresor de aire o el compresor de gas NO_x no necesita reemplazarse con uno de mayor rendimiento, y se puede alcanzar una mayor producción de ácido nítrico solamente al redireccionar algunos de los flujos de gas.

45 Lista de figuras

Figura 1: Representación esquemática de una planta de producción de ácido nítrico de presión dual de acuerdo con el estado de la técnica.

50 Figura 2: Representación esquemática de una planta de producción de ácido nítrico de presión dual de acuerdo con la presente divulgación que involucra el suministro de un gas rico en oxígeno en una unidad blanqueadora de HP de una planta de producción de ácido nítrico de presión dual, en donde el gas de extracción cargado de NO_x se dirige al lado de descarga del compresor de NO_x.

55 Figura 3: Representación esquemática de una planta de producción de ácido nítrico de presión dual de acuerdo con la divulgación como se representa en la figura 2, que involucra además un tanque flash.

60 Figura 4: Representación esquemática de una planta de producción de ácido nítrico de presión dual de acuerdo con la divulgación como se representa en la figura 2, que involucra además una segunda torre blanqueadora de baja presión.

Descripción detallada de la divulgación

65 A lo largo de la descripción y las reivindicaciones de la presente memoria descriptiva, los términos "comprende" y variaciones de estos significan "que incluye, entre otros", y no pretenden excluir (ni excluyen) otras porciones, aditivos,

componentes, enteros o etapas. A lo largo de la descripción y las reivindicaciones de la presente memoria descriptiva, el singular abarca el plural a menos que el contexto lo indique de otro modo. En particular, cuando se usa el artículo indefinido, se entiende que la memoria descriptiva contempla la pluralidad al igual que la singularidad, a menos que el contexto lo indique de otro modo.

5 Cabe destacar que los rasgos, números enteros, características, compuestos, porciones químicas o grupos descritos en conjunto con un aspecto, forma de realización o ejemplo particular de la divulgación son aplicables a cualquier otro aspecto, forma de realización o ejemplo descrito en la presente, a menos que sea incompatible. Todas las características divulgadas en esta memoria descriptiva (que incluye cualquier reivindicación, resumen y dibujos
10 adjuntos) y/o todas las etapas de cualquier método o proceso divulgados, se pueden combinar en cualquier combinación, excepto combinaciones en donde al menos algunas de las características y/o etapas sean mutuamente excluyentes. La divulgación no se limita a los detalles de cualquiera de las formas de realización anteriores. La divulgación se extiende a cualquier elemento novedoso, o combinación novedosa, de los elementos divulgados en la presente memoria descriptiva (que incluye cualquier reivindicación, resumen y dibujo adjuntos), o cualquier elemento
15 novedoso, o cualquier combinación novedosa, de las etapas de cualquier método o proceso divulgados.

La enumeración de valores numéricos mediante rangos de cifras comprende todos los valores y fracciones en estos rangos, así como los extremos citados. La expresión "de... a..." como se usa al hacer referencia a un rango de un valor medible, tal como un parámetro, una cantidad, un periodo de tiempo y similares, incluye los límites asociados
20 con el rango que se divulga.

Como se define en la presente, los gases de óxidos de nitrógeno o gases NO_x comprenden, como los componentes principales de gas NO_x , gases de óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y tetróxido de dinitrógeno (N_2O_4).

25 Como se define en la presente, y a menos que se defina explícitamente de otro modo para un caso específico, una baja presión (LP) se define como una presión que varía de 2 a 6 bar, y una alta presión (HP) se define como una presión que varía de 9 a 16 bar. Una baja presión siempre es menor que una alta presión.

30 Como se define en la presente, y a menos que se defina explícitamente de otro modo para un caso específico, "medios para dirigir" se define como medios seleccionados del grupo de tubos, tuberías, canales, conductos, ductos y similares, capaces de dirigir un líquido de un punto A a un punto B, en donde los puntos A y B pueden definirse explícita o implícitamente, dependiendo del caso específico.

35 Como se define en la presente, y a menos que se defina explícitamente de otro modo para un caso específico, "alrededor de" se define como una variación máxima de 10 % del valor considerado. Por lo tanto, alrededor de 100 se define como un valor de 90 a 110. Esto representa, entre otras cosas, la precisión de medición y la depuración.

Planta de producción de ácido nítrico - forma de realización principal

40 De acuerdo con un primer aspecto de la divulgación, y con referencia a la figura 2, se proporciona una planta de presión dual para la producción de ácido nítrico. La planta comprende al menos:

- un compresor de aire **2**, operable para presurizar aire **12** hasta una presión que varía de 2 bar a 6 bar (baja presión, LP);
- 45 - un convertidor **4**, que opera a una baja presión (LP), operable para recibir un flujo de una mezcla de amoníaco/aire presurizado **14** a baja presión (LP), para oxidar el amoníaco y para producir una mezcla gaseosa de gas/vapor NO_x de LP **15**, que comprende agua y NO;
- un compresor de gas NO_x **5**, operable para elevar la presión de un flujo gaseoso de NO_x **22** de una baja presión (LP) a una presión que varía de 9 bar a 16 bar (alta presión, HP), que produce, en su lado corriente abajo, un flujo gaseoso de NO_x **24** de HP que posteriormente intercambia calor con el gas residual **30** en el intercambiador de calor **9d**, que
50 produce el flujo gaseoso de NO_x de HP **26**;
- una unidad absorbente **6**, que opera a una alta presión (HP), operable para hacer reaccionar los óxidos de nitrógeno contenidos en el flujo gaseoso de NO_x de HP **26** con agua, en donde la unidad absorbente **6** proporciona un flujo de producto de salida **27** que contiene ácido nítrico y óxidos de nitrógeno disueltos, y un gas residual **30**; y
- 55 - una unidad blanqueadora **7**, operable para extraer óxidos de nitrógeno disueltos del flujo de producto de salida **27** con un medio de extracción **38**, que proporciona un flujo de ácido nítrico extraído **29** y un gas de extracción cargado de NO_x **19**, en donde:
- la unidad blanqueadora **7** opera a una alta presión (HP), que es aproximadamente igual a la presión a la que la unidad absorbente **6** opera;
- 60 - la unidad blanqueadora **7** está en comunicación fluida con una fuente de gas rico en oxígeno de HP **60**, para proporcionar a la unidad blanqueadora **7** un gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción **38**; y
- la planta comprende medios para dirigir el gas de extracción cargado de NO_x **19** hacia el lado corriente abajo del compresor de gas NO_x **5**.

65 La planta de acuerdo con la divulgación se caracteriza por comprender además:

- un electrolizador de agua de alta presión (HP) (60), en comunicación fluida con la unidad blanqueadora (7) para proporcionar el gas rico en oxígeno de alta presión (HP) que debe usarse como el medio de extracción (38), solo o mezclado con aire presurizado o cualquier otro gas adecuado.

Como se define en la presente, un gas rico en oxígeno es un gas que comprende más oxígeno que el presente en promedio en el aire. En particular, un gas rico en oxígeno comprende más de 21 % en volumen de oxígeno, más en particular, más de 30 % en volumen, más de 40 % en volumen, más de 50 % en volumen, más de 60 % en volumen, más de 70 % en volumen, más de 80 % en volumen, más de 90 % en volumen, más de 95 % en volumen y más de 99 % en volumen, más en particular, comprende alrededor de 100 % en volumen de oxígeno.

El gas rico en oxígeno difiere del gas usado en el arte previo en que contiene más oxígeno, en particular, más de 21 % en volumen de oxígeno.

El gas rico en oxígeno puede obtenerse mezclando oxígeno con aire o cualquier otro gas., adecuado para su objetivo primario, es decir, como un medio de extracción en una unidad blanqueadora.

Como se define en la presente, la unidad blanqueadora **7** puede ser cualquier unidad blanqueadora conocida en el arte previo, tal como, entre otras, una unidad blanqueadora de bandeja de tamiz, una unidad blanqueadora de envasado aleatorio o una unidad blanqueadora de envasado estructurado.

La forma de realización principal de la divulgación tiene varias ventajas, de las cuales las más evidentes se enumeran a continuación.

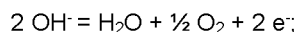
Al dirigir el gas de extracción cargado de NO_x **19** hacia el lado corriente abajo del compresor de gas NO_x **5**, el compresor no se carga más por el gas de extracción cargado de NO_x, por lo que requiere que el compresor de gas NO_x trabaje menos (para el mismo rendimiento del convertidor). Por lo tanto, el compresor de gas NO_x puede manejar un mayor rendimiento de gas cargado de NO_x de la sección de oxidación (a un mayor rendimiento del convertidor).

Al usar una fuente individual de gas que contiene oxígeno, distinta de aire, en este caso gas rico en oxígeno, el compresor de aire **2** ahora solo presuriza aire primario para el convertidor, ya que el suministro de aire secundario para la unidad blanqueadora ahora se reemplaza por un flujo de un gas rico en oxígeno de una fuente de gas rica en oxígeno de HP proporcionada al menos en parte por una unidad electrolizadora de agua de HP, en particular, una unidad electrolizadora de agua que opera a una presión de gas de 30 bar. Debido a que bombear agua requiere menos energía que comprimir gas, hay un ahorro general de energía significativo. Además, el compresor de aire está menos cargado ya que solo comprime aire primario, por lo que requiere que el compresor de aire produzca menos trabajo (para el mismo rendimiento del convertidor). Por lo tanto, el compresor de aire puede manejar un aumento del rendimiento de aire primario (a un mayor rendimiento del convertidor).

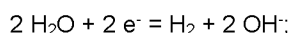
Un electrolizador de agua es un dispositivo para la electrólisis de agua, que es la descomposición de agua en oxígeno y gas de hidrógeno, debido al pasaje de una corriente eléctrica a lo largo de esta. Esta técnica puede usarse para elaborar gas de hidrógeno, un componente principal del combustible de hidrógeno, y gas de oxígeno respirable.

Un electrolizador de agua de alta presión adecuado puede estar compuesto de:

- un ánodo que produce gas de oxígeno de acuerdo con la reacción



- un cátodo, que produce gas de hidrógeno de acuerdo con la reacción



- un electrolito que consiste en una solución alcalina, tal como hidróxido de potasio; y

- un diafragma poroso que separa el ánodo y el cátodo, para evitar la mezcla de gas de hidrógeno y gas de oxígeno que en conjunto forma una mezcla explosiva. De manera alternativa, el ánodo y el cátodo pueden separarse mediante un electrolito de polímero sólido, tal como el fluoropolímero Nafion, donde el electrolito proporciona el transporte selectivo de protones desde el ánodo hasta el cátodo, así como el aislamiento eléctrico entre el ánodo y el cátodo, y evita que el gas de hidrógeno y el gas de oxígeno se mezclen y formen en conjunto una mezcla explosiva.

El ánodo y cátodo pueden ser de níquel o acero, o mezclas de estos. De manera alternativa, con el fin de mejorar las reacciones de electrodos, el ánodo y cátodo pueden contener catalizadores que pueden ser de iridio y platino, respectivamente. El diafragma de un material de aislamiento eléctrico se basa, por ejemplo, en circonio. El diafragma tiene una porosidad tal que forma una barrera contra el transporte de burbujas de gas de hidrógeno y de oxígeno, mientras que contiene un continuo de electrolito de líquido penetrado.

Un ensamblaje de ánodo-diafragma-cátodo constituye una celda de electrólisis. Las celdas de electrólisis se apilan en

series de pilas que componen el núcleo de un electrolizador. La producción de hidrógeno y oxígeno para un determinado volumen de pila es proporcional a la densidad de corriente e inversamente proporcional a la distancia de apilado. Independientemente del volumen de pila, la producción de hidrógeno y oxígeno es proporcional a la corriente total.

5 Además de la pila, el electrolizador comprende auxiliares tales como un rectificador de corriente, una unidad de desmineralización de agua, una bomba de agua y un sistema de enfriamiento, una unidad de purificación de hidrógeno e instrumentación.

10 El electrolizador se opera mediante la aplicación de un voltaje correspondiente al potencial estándar y el sobrepotencial en cada celda. El voltaje total depende de la cantidad total de celdas que componen el electrolizador. Los iones de OH⁻ generados en el cátodo migran a través del electrolito dentro del diafragma hacia el ánodo, donde son consumidos por la reacción de ánodo. Los electrones viajan en la dirección opuesta en un circuito externo.

15 El electrolizador se puede operar a una temperatura de 50 a 80 °C, o 60 a 80 °C, y una presión de gas de 9 a 30 bar, preferentemente, 15 a 30 bar.

20 De acuerdo con una forma de realización específica de la divulgación, el medio de extracción **38** puede acondicionarse hasta una temperatura que varíe de temperatura ambiente a 120 °C, o de 50 °C a 120 °C, o de 80 °C a 120 °C, o de 90 a 120 °C, antes de que se dirija a la unidad blanqueadora **7**. El blanqueamiento de ácido nítrico en una unidad blanqueadora en una planta de ácido nítrico generalmente puede estar acondicionado de manera que la temperatura del ácido nítrico esté en el rango de 30 a 60 °C (como se midió dentro del blanqueador). Al preacondicionar el gas de oxígeno, aumentará la eficacia de blanqueamiento alcanzada en el blanqueador **7**. Además, de acuerdo con una forma de realización específica, la planta de acuerdo con la divulgación comprende además medios (no se muestran) para calentar el medio de extracción **38**, tal como, entre otros, un precalentador o un sistema de intercambio de calor.

De acuerdo con una forma de realización específica de la divulgación, la unidad blanqueadora **7** es una torre blanqueadora vertical, que comprende:

30 - un envasado estructurado; y
- un distribuidor de líquido que comprende una caja de alimentación que tiene un vertedero dentado para la distribución del flujo de producto de salida **27** que comprende óxidos de nitrógeno disueltos a través de estrías que apuntan hacia arriba del vertedero dentado hacia bandejas perforadas del distribuidor de líquido y ubicado encima del envasado estructurado para la distribución de la solución acuosa de ácido nítrico que comprende los óxidos de nitrógeno disueltos en el envasado estructurado.

40 El diseño anterior de la unidad blanqueadora tiene distintas ventajas. La torre blanqueadora es una unidad de restricción conocida (cuello de botella) en la producción de ácido nítrico. El problema es cumplir con las especificaciones del ácido del producto a carga alta. En general, el diseño de la columna debe asegurar la distribución y el contacto uniformes entre el gas que fluye hacia arriba (medio de extracción) y el flujo de líquido hacia abajo (solución acuosa de ácido nítrico) a través de toda la columna. La ventaja del diseño específico es que se puede obtener una mayor capacidad de producción de ácido nítrico y una reducción de la cantidad de gas de extracción usado, y al mismo tiempo al menos mantener la calidad de la solución acuosa de ácido nítrico, es decir, el nivel bajo de gases de óxido de nitrógeno disueltos.

45 Preferentemente, el envasado estructurado tiene un área de superficie de al menos 250 m²/m³, preferentemente, 450-750 m²/m³.

50 Preferentemente, el distribuidor de líquido tiene una densidad de punto de goteo de al menos 30 puntos de goteo por m², preferentemente, de 60 a -200 puntos de goteo por m².

Preferentemente, la relación entre la altura del envasado estructurado y el diámetro de la torre blanqueadora vertical es al menos 1, preferentemente, al menos 1,5, con mayor preferencia, al menos 2.

55 Preferentemente, el gas de extracción es un gas rico en oxígeno, que se mueve en una dirección contracorriente con respecto a la solución ácida, es decir, el flujo de producto de salida **27** y tiene una relación aire/solución ácida de menos de 75 m³ aire/m³ de solución ácida, preferentemente, menos de 45 m³ aire/m³ de solución ácida, con mayor preferencia, menos de 30 m³ aire/m³ de solución ácida, aun con mayor preferencia, menos de 20 m³ aire/m³ de solución ácida.

60 Preferentemente, la caída de presión sobre la torre blanqueadora vertical está entre 25 mbar y 65 mbar.

Planta de producción de ácido nítrico - segunda forma de realización

65 De acuerdo con una segunda forma de realización de la divulgación, y con referencia a la figura 3, la planta de acuerdo con la forma de realización principal comprende además un tanque flash **32** en comunicación fluida con la unidad

blanqueadora **7**, en donde el tanque flash **32** comprende:

- una entrada para el flujo de ácido nítrico extraído **29** en comunicación fluida con la unidad blanqueadora **7**; en donde el flujo de ácido nítrico extraído **29** se reduce rápidamente en presión (secado) de una alta presión (HP) a una baja presión (LP), en particular, a una presión correspondiente a una sección corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**;
 - una primera salida para gases **33** producida en el tanque flash **32**, en comunicación fluida con una sección corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**; y
 - una segunda salida para recolectar el flujo de ácido nítrico secado **35** del tanque flash **32**.
- Mediante el uso de la forma de realización anterior, la presión del flujo de ácido nítrico extraído **29** se reduce rápidamente, y los gases disueltos, que contienen en particular NO_x y gases de oxígeno, se evacúan del flujo de ácido nítrico extraído **29**.

La forma de realización divulgada anteriormente tiene varias ventajas, de las cuales las más evidentes se enumeran a continuación.

Una primera ventaja es que la calidad del flujo de ácido nítrico extraído **29** puede mejorarse, en el sentido de que contiene menos gases disueltos, en particular, gases NO_x y de oxígeno. Además, al secar el flujo de ácido nítrico extraído **29** que sale de la unidad blanqueadora **7**, puede reducirse la cantidad de gases de oxígeno que se liberarán cuando el flujo de ácido nítrico extraído **29** se seca hasta presión atmosférica en el tanque de almacenamiento. Una alta concentración de oxígeno fuerza el equilibrio de óxido nítrico ↔ dióxido de nitrógeno hacia dióxido de nitrógeno, lo que genera emisiones de gas marrón del sistema de ventilación del tanque de almacenamiento. Por lo tanto, el secado del flujo de ácido nítrico extraído **29** corriente abajo de la torre blanqueadora **7** y previo al almacenamiento del producto de ácido nítrico, puede generar menos emisiones de gas marrón que salen del sistema de ventilación del tanque de almacenamiento de producto.

Una segunda ventaja es que los gases **33b** pueden usarse para mejorar además el proceso de oxidación en la etapa de oxidación **20**, que es parte de la sección corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**, cuando están (parcialmente) dirigidos hacia un punto corriente arriba del enfriador/condensador de agua **9a**. Los gases **33a** también pueden estar (parcialmente) dirigidos hacia un punto directamente corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**, donde no contribuyen a la oxidación en la etapa de oxidación **20**, pero se comprimen nuevamente a una alta presión (HP) para suministrarse al absorbente **6**. La viabilidad de este circuito de reciclaje para los gases **33a** está respaldada por el aumento de la capacidad del compresor de gas NO_x **5**, en comparación con la forma de realización del arte previo.

Una tercera ventaja es que, al usar un gas rico en oxígeno como medio de extracción **38**, el gas de extracción cargado de NO_x **33** tiene un contenido de oxígeno mucho mayor que el gas de extracción cargado de NO_x de acuerdo con el arte previo. Esto beneficiará la oxidación en la etapa de oxidación **20**, lo que proporciona una oxidación más eficaz del flujo gaseoso de NO_x **18**. Como resultado, el gas residual **30** del absorbente **6** estará más limpio y se requerirá que la unidad de DeNO_x trabaje menos (no se muestra) para tratar el gas residual **30**.

Planta de producción de ácido nítrico - tercera forma de realización

De acuerdo con una tercera forma de realización de la divulgación, y con referencia a la figura 4, la planta de acuerdo con la forma de realización principal comprende además una segunda unidad blanqueadora **34**, además de la primera unidad blanqueadora **7**, en donde dicha segunda unidad blanqueadora **34** comprende:

- una primera entrada para el flujo de ácido nítrico extraído **29** en comunicación fluida con la unidad blanqueadora **7**;
- una segunda entrada para un flujo de gas de extracción **39**;
- una primera salida para un flujo de gas de extracción cargado de NO_x **36** en comunicación fluida con una sección corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**; y

una segunda salida para recolectar el flujo de ácido nítrico blanqueado **37** de la segunda unidad blanqueadora **34**; en donde

- la segunda unidad blanqueadora **34** opera a una baja presión (LP), que es menor que la presión a la que la unidad blanqueadora **7** opera;
- la segunda unidad blanqueadora **34** está en comunicación fluida con una fuente de gas rico en oxígeno de HP **38a**, para proporcionar a la segunda unidad blanqueadora **34** un gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción; y/o está en comunicación fluida con el gas de extracción cargado de NO_x **19a** del blanqueador **7**, para proporcionar a la segunda unidad blanqueadora **34** un gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción; de acuerdo con una forma de realización adicional, no existe conexión **19a**, o el flujo **19a** se regula para que sea cero (sin flujo de masa).
- la planta comprende medios para dirigir el flujo de gas de extracción cargado de NO_x **36** hacia el lado corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**.

Como se define en la presente, la segunda unidad blanqueadora **34** puede ser cualquier unidad blanqueadora conocida en el arte previo, tal como, entre otras, una unidad blanqueadora de bandeja de tamiz, una unidad

blanqueadora de envasado aleatorio o una unidad blanqueadora de envasado estructurado.

La forma de realización divulgada anteriormente tiene varias ventajas, de las cuales las más evidentes se enumeran a continuación.

5 Una primera ventaja es que, de acuerdo con los hallazgos de los inventores, la cantidad total de aire consumido por la combinación de los blanqueadores **7** y **34** se reduce con respecto al consumo de aire de la planta de ácido nítrico de acuerdo con la primera forma de realización de la divulgación, en donde solo se usa blanqueador **7**.

10 Una segunda ventaja es que la calidad del flujo de ácido nítrico extraído **37** mejora, en el sentido de que contiene menos gases disueltos, en particular, gases NO_x y de oxígeno.

Una tercera ventaja es que los gases **36b** pueden usarse para mejorar además el proceso de oxidación en la etapa de oxidación **20**, que es parte de la sección corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**, cuando están (parcialmente) dirigidos hacia un punto corriente arriba del enfriador/condensador de agua **9a**. Los gases **36a** también pueden estar (parcialmente) dirigidos hacia un punto directamente corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**, donde no contribuyen a la oxidación en la etapa de oxidación **20**, pero se comprimen nuevamente hasta una alta presión (HP) para suministrarse al absorbente **6**. La viabilidad de este circuito de reciclaje para los gases **36a** está respaldada por el aumento de la capacidad del compresor de gas NO_x **5**, en comparación con la forma de realización del arte previo.

20 Una cuarta ventaja es que, al usar un gas rico en oxígeno **38a**, **19a** como medio de extracción, el gas de extracción cargado de NO_x **36** tiene un contenido de oxígeno mucho mayor que el gas de extracción cargado de NO_x de acuerdo con el arte previo. Esto beneficiará la oxidación en la etapa de oxidación **20**, lo que proporciona una oxidación más eficaz del flujo gaseoso de NO_x **18**. Como resultado, el gas residual **30** del absorbente **6** estará más limpio y se requerirá que la unidad de DeNOx trabaje menos (no se muestra) para tratar el gas residual **30**.

Además, al extraer adicionalmente el flujo de ácido nítrico extraído **29** que sale de la unidad blanqueadora **7**, se reduce la cantidad de oxígeno que se liberará cuando el flujo de ácido nítrico extraído **29** se seca hasta presión atmosférica en el tanque de almacenamiento. Una alta concentración de oxígeno fuerza el equilibrio de óxido nítrico \leftrightarrow dióxido de nitrógeno hacia dióxido de nitrógeno, lo que genera emisiones de gas marrón del sistema de ventilación del tanque de almacenamiento. Por lo tanto, la extracción adicional del flujo de ácido nítrico extraído **29** corriente abajo de la torre blanqueadora **7** y previo al almacenamiento del producto de ácido nítrico, genera menos emisiones de gas marrón que salen del sistema de ventilación del tanque de almacenamiento de producto.

35 De acuerdo con una forma de realización específica de la divulgación, la segunda unidad blanqueadora **34** es una torre blanqueadora vertical, que comprende:

- un envasado estructurado; y
- un distribuidor de líquido que comprende una caja de alimentación que tiene un vertedero dentado para la distribución del flujo de producto de salida **29** del primer blanqueador **7** de HP que comprende óxidos de nitrógeno disueltos a través de estrías que apuntan hacia arriba del vertedero dentado hacia bandejas perforadas del distribuidor de líquido y ubicado encima del envasado estructurado para la distribución de la solución acuosa de ácido nítrico que comprende los óxidos de nitrógeno disueltos en el envasado estructurado.

45 En particular, para la segunda unidad blanqueadora **34**, aplican los mismos parámetros que para la torre blanqueadora **7**.

Método para operar una unidad blanqueadora de alta presión

50 De acuerdo con un segundo aspecto de la divulgación, se proporciona un método para operar una unidad blanqueadora de alta presión en una planta de acuerdo con la divulgación, que comprende las etapas de:

- a) operar la unidad blanqueadora **7** a una alta presión (HP), que es aproximadamente igual a la presión a la que la unidad absorbente **6** opera;
- 55 b) proporcionar la unidad blanqueadora **7** con un gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción **38**; y
- c) dirigir el gas de extracción cargado de NO_x **19** hacia el lado corriente abajo del compresor de gas NO_x **5**.

60 Como se define en la presente, la unidad blanqueadora **7** puede ser cualquier unidad blanqueadora conocida en el arte previo, tal como, entre otras, una unidad blanqueadora de bandeja de tamiz, una unidad blanqueadora de envasado aleatorio o una unidad blanqueadora de envasado estructurado.

Al operar de acuerdo con el método de la divulgación, los inventores descubrieron que es posible reducir el trabajo del compresor de gas, tal como un compresor de aire o un compresor de gas NO_x , en una planta de producción de ácido nítrico de presión dual, al utilizar la energía disponible de gas presurizado, más específicamente, gas de extracción cargado de NO_x de la unidad blanqueadora. De hecho, al redireccionar el gas presurizado corriente abajo de un compresor de gas NO_x , se necesita menos trabajo del compresor de gas NO_x . Además, el concepto aumenta el

rendimiento del convertidor y la tasa de producción de ácido nítrico en plantas donde el compresor de aire o el compresor de gas NO_x es un cuello de botella.

De acuerdo con una forma de realización del método de la divulgación, el gas rico en oxígeno de HP comprende más de 21 % en volumen de oxígeno, en particular, más de 95 % en volumen de oxígeno.

De acuerdo con una forma de realización del método de la divulgación, el gas rico en oxígeno de HP se proporciona mediante un electrolizador de agua de alta presión. Se descubrió que se puede alcanzar una mejora al utilizar oxígeno que ya está presurizado. De hecho, el oxígeno producido por un electrolizador de agua que opera a alta presión estará presurizado. Para operar el electrolizador de agua a alta presión es necesario bombear agua al electrolizador de agua a una alta presión. Sin embargo, bombear un líquido, en particular, agua, a un electrolizador de agua requiere significativamente menos energía que la compresión de un gas que contiene oxígeno, en particular, aire, para su uso en una planta de producción de ácido nítrico de presión dual. Por lo tanto, la integración de un electrolizador de agua de alta presión en una planta de producción de ácido nítrico de presión dual, en donde se suministra oxígeno presurizado a la planta de producción de ácido nítrico de presión dual, proporciona un gran beneficio en la forma de ahorro de energía asociado con la compresión del gas rico en oxígeno antes de su introducción en la planta de producción de ácido nítrico de presión dual.

Como se define en la presente, el gas que contiene oxígeno es el gas rico en oxígeno proporcionado por la unidad del electrolizador de agua o una mezcla del gas rico en oxígeno proporcionada por la unidad del electrolizador de agua y aire comprimido por el compresor de aire.

De acuerdo con una forma de realización del método de la divulgación, el método comprende además la etapa de:

d) precalentar el gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción **38** hasta una temperatura que varía de temperatura ambiente a 120 °C, o de 50 °C a 120 °C, o de 80 °C a 120 °C, o de 90 a 120 °C.

El blanqueamiento de ácido nítrico en una unidad blanqueadora en una planta de ácido nítrico generalmente puede llevarse a cabo de modo que la temperatura del ácido nítrico esté en el rango de 30 a 60 °C (como se midió dentro del blanqueador). Al preacondicionar el gas de oxígeno, aumentará la eficacia de blanqueamiento alcanzada en el blanqueador **7**.

De acuerdo con una forma de realización del método de la divulgación, el método comprende además, en una planta de acuerdo con la segunda forma de realización, las etapas de:

e) secar el flujo de ácido nítrico extraído **29** de una alta presión (HP) a una baja presión (LP); y
f) dirigir los gases **33** producidos en el tanque flash **32**, hasta una sección corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**.

El secado del flujo de ácido nítrico extraído **29** mejora el blanqueamiento de este flujo de ácido nítrico al eliminar gases de óxidos de nitrógeno disueltos adicionales y permite la recuperación y reutilización del gas de oxígeno, originalmente proporcionado a la unidad blanqueadora **7**. El oxígeno recuperado se puede reciclar en el quemador de amoníaco **4**, la etapa de oxidación **20** o bien la unidad absorbente **6**. Cuando el oxígeno se recicla en el quemador de amoníaco **4** o la etapa de oxidación **20**, la oxidación de amoníaco a óxido nítrico y la oxidación de óxido nítrico a dióxido de nitrógeno y tetróxido de dinitrógeno aumentará respectivamente. Cuando se recicla a la unidad absorbente **6** (después de presurizarse en el compresor de gas NO_x **5**) la eficacia de la absorción en la unidad absorbente **6** se aumentará a través de la mayor conversión de óxido nítrico a dióxido de nitrógeno y tetróxido de dinitrógeno. Como resultado del reciclaje del oxígeno recuperado en el quemador de amoníaco **4**, la etapa de oxidación **20** o bien la unidad absorbente **6**, el gas residual **30** del absorbente **6** estará más limpio y se requerirá menor trabajo de una unidad de DeNO_x (no se muestra) para tratar el gas residual **30**. Además, al secar el flujo de ácido nítrico extraído **29** que sale de la unidad blanqueadora **7**, se reduce la cantidad de oxígeno que se liberará cuando el flujo de ácido nítrico extraído **29** se seca hasta presión atmosférica en el tanque de almacenamiento. Una alta concentración de oxígeno fuerza el equilibrio de óxido nítrico ↔ dióxido de nitrógeno hacia dióxido de nitrógeno, lo que genera emisiones de gas marrón del sistema de ventilación del tanque de almacenamiento. Por lo tanto, el secado del flujo de ácido nítrico extraído **29** corriente abajo de la torre blanqueadora **7** y previo al almacenamiento del producto de ácido nítrico, genera menos emisiones de gas marrón que salen del sistema de ventilación del tanque de almacenamiento de producto.

De acuerdo con otra forma de realización del método de la divulgación, el método comprende además, en una planta de acuerdo con la tercera forma de realización, las etapas de:

g) operar una segunda unidad blanqueadora **34** a una baja presión (LP), que es menor que la presión a la que la unidad blanqueadora **7** opera;
h) proporcionar la segunda unidad blanqueadora **34** con un gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción **38**; y
i) dirigir el gas de extracción cargado de NO_x **36** hacia el lado corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**.

La extracción del flujo de ácido nítrico extraído **29** mejora el blanqueamiento de este flujo de ácido nítrico al eliminar gases de óxidos de nitrógeno disueltos adicionales y permite la recuperación y reutilización del gas de oxígeno, originalmente proporcionado a la unidad blanqueadora **7**. El oxígeno recuperado se puede reciclar en el quemador de amoníaco **4**, la etapa de oxidación **20** o bien la unidad absorbente **6**. Cuando el oxígeno se recicla en el quemador de amoníaco **4** o la etapa de oxidación **20**, la oxidación de amoníaco a óxido nítrico y la oxidación de óxido nítrico a dióxido de nitrógeno y tetróxido de dinitrógeno aumentará respectivamente. Cuando se recicla a la unidad absorbente **6** (después de presurizarse en el compresor de gas NO_x **5**) la eficacia de la absorción en la unidad absorbente **6** se aumentará a través de la mayor conversión de óxido nítrico a dióxido de nitrógeno y tetróxido de dinitrógeno. Como resultado del reciclaje del oxígeno recuperado en el quemador de amoníaco **4**, la etapa de oxidación **20** o bien la unidad absorbente **6**, el gas residual **30** del absorbente **6** estará más limpio y se requerirá menor trabajo de una unidad de DeNO_x (no se muestra) para tratar el gas residual **30**. Además, al reextraer el flujo de ácido nítrico extraído **29** que sale de la unidad blanqueadora **7**, se reduce la cantidad de oxígeno que se liberará cuando el flujo de ácido nítrico extraído **29** se seca hasta presión atmosférica en el tanque de almacenamiento. Una alta concentración de oxígeno fuerza el equilibrio de óxido nítrico ↔ dióxido de nitrógeno hacia dióxido de nitrógeno, lo que genera emisiones de gas marrón del sistema de ventilación del tanque de almacenamiento. Por lo tanto, el secado del flujo de ácido nítrico extraído **29** corriente abajo de la torre blanqueadora **7** y previo al almacenamiento del producto de ácido nítrico, genera menos emisiones de gas marrón que salen del sistema de ventilación del tanque de almacenamiento de producto.

Uso

De acuerdo con un tercer aspecto de la divulgación, se divulga el uso de cualquier forma de realización de una planta de producción de ácido nítrico a presión dual de acuerdo con la divulgación, para recuperación de energía de una unidad blanqueadora de alta presión que opera en la planta de producción de ácido nítrico a presión dual. En particular, se divulga el uso de cualquier forma de realización de una planta de producción de ácido nítrico a presión dual de acuerdo con la divulgación, para proporcionar ahorros de energía en la planta de producción de ácido nítrico a presión dual, específicamente al suministrar el oxígeno presurizado de un electrolizador de agua de alta presión a una unidad blanqueadora de alta presión que opera en dicha planta de producción de ácido nítrico a presión dual.

Ejemplos

Ejemplo 1

Se hace referencia a la figura 2.

La unidad absorbente se operó a una presión que varió de 11.9 bar a 12.0 bar. El gas de oxígeno presurizado **38** de un sistema electrolizador de agua de HP presurizado externo **60** se suministró en la unidad blanqueadora de ácido nítrico **7** como el medio de extracción. El gas de extracción cargado de NO_x **19** se redirigió corriente abajo al compresor de gas NO_x **5**. Como la unidad blanqueadora **7** operaba a un nivel de presión de salida de compresor de gas NO_x, los gases de la unidad blanqueadora **7**, que contenía gases de óxidos de nitrógeno, podrían inyectarse corriente abajo del compresor de gas NO_x **5**. El trabajo de compresión en el compresor de aire se redujo 31,8 kWh/t 100 % de ácido nítrico. El trabajo de compresión en el compresor de gas NO_x se redujo 6 kWh/t 100 % de ácido nítrico sin ningún impacto en las emisiones del tanque de almacenamiento de ácido nítrico.

Ejemplo 2

Se hace referencia a la figura 3.

La unidad absorbente se operó a una presión que varió de 11.9 bar a 12.0 bar. Además del proceso descrito en el ejemplo 1, el ácido nítrico producido de la unidad blanqueadora de alta presión **7** se secó en un tanque flash **32**. El tanque flash contenía un dispositivo de separación para asegurar que la fase gaseosa y líquida estuvieran bien separadas. Al secar, la presión se redujo a una presión sustancialmente igual a la presión corriente arriba del condensador enfriador de baja presión **9b** o corriente arriba del compresor de gas de óxidos de nitrógeno **5**. Los gases **33** del tanque flash **32** luego se dirigieron corriente arriba del condensador enfriador de baja presión **9b** o bien corriente arriba del compresor de gas nitrógeno **5**. El trabajo de compresión en el compresor de aire se redujo 31,8 kWh/t 100 % de ácido nítrico. El trabajo de compresión en el compresor de gas NO_x se redujo 6 kWh/t 100 % de ácido nítrico sin ningún impacto en las emisiones del tanque de almacenamiento de ácido nítrico. A partir de las simulaciones, las emisiones de NO₂ en el sistema de ventilación del tanque de almacenamiento de producto de ácido nítrico (no se muestra) se redujeron 50 a 60 % con respecto al ejemplo 1.

Ejemplo 3

Se hace referencia a la figura 4.

La unidad absorbente se operó a una presión que varió de 11.9 bar a 12.0 bar. Además del proceso descrito en el ejemplo 1, el flujo de ácido nítrico extraído **29** de la unidad blanqueadora de alta presión **7** se secó a través de una válvula (no se muestra) en una unidad blanqueadora de baja presión **34**. La unidad blanqueadora de baja presión **34**

operaba a una presión de 5 bar de manera que el gas **36** de la unidad blanqueadora de baja presión **34** pudiera devolverse a la etapa de oxidación **20** corriente arriba del condensador enfriador de baja presión **9b** o corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**. La unidad blanqueadora de baja presión **34** se operó parcialmente mediante oxígeno producido de un electrolizador de agua de alta presión **60** y se proporcionó como un flujo **38a**, y parcialmente mediante el gas de extracción cargado de NO_x de la torre blanqueadora **7**, proporcionado como un flujo **19a**. El trabajo de compresión en el compresor de aire se redujo 31,9 kWh/t 100 % de ácido nítrico. El trabajo de compresión en el compresor de gas NO_x se redujo 6 kWh/t 100 % de ácido nítrico sin ningún impacto en las emisiones del tanque de almacenamiento de ácido nítrico.

10 Ejemplo 4

Se hace referencia a la figura 4.

La unidad absorbente se operó a una presión que varió de 11.9 bar a 12.0 bar. Además del proceso descrito en el ejemplo 1, el flujo de ácido nítrico extraído **29** de la unidad blanqueadora de alta presión **7** se secó a través de una válvula (no se muestra) en una unidad blanqueadora de baja presión **34**. La unidad blanqueadora de baja presión **34** operaba a tal presión que el gas **36** de la unidad blanqueadora de baja presión **34** pudiera devolverse a la etapa de oxidación **20** corriente arriba del condensador enfriador de baja presión **9b** o corriente arriba del compresor de gas NO_x **5**. La unidad blanqueadora de baja presión **34** se operó mediante oxígeno producido de un electrolizador de agua de alta presión **60** y se proporcionó como un flujo **38a**. Los gases, expandidos sobre válvulas adecuadas, aumentaron en volumen debido a la presión reducida en la unidad blanqueadora de baja presión **34** y contribuyeron a un blanqueamiento mejorado del flujo de producto de ácido nítrico **37**. El trabajo de compresión en el compresor de aire se redujo 31,9 kWh/t 100 % de ácido nítrico. El trabajo de compresión en el compresor de gas NO_x se redujo 16,2 kWh/t 100 % de ácido nítrico sin ningún impacto en las emisiones del tanque de almacenamiento de ácido nítrico. Además, a partir de las simulaciones, se observó una reducción de 6,8 % en la cantidad de aire de blanqueamiento requerido en el ejemplo 1.

Lista de números de referencia

1	Unidad precalentadora de amoníaco		
2	Compresor de aire de LP	19,19a	Gas de extracción cargado de NO_x
3	Aparato de mezcla	20	Sección de oxidación
4	Quemador de amoníaco (convertidor)	24,26	Flujo que contiene NO_x de HP
5	Compresor de gas NO_x	27	Flujo de salida de absorbente
6	Unidad absorbente	29	Flujo de salida de blanqueador de HP
7	Unidad blanqueadora	30	Gas residual de absorbente
8	Turbina de gas residual	31	Válvula
9a	Condensador de enfriador de agua	32	Tanque flash
9d	Calentador de gas residual	33,33a,33b	Flujo blanqueador de efluente de NO_x
9b,9c	Enfriador/condensador de agua	34	Unidad blanqueadora de LP
10	Flujo de amoníaco	35	Flujo de salida de tanque flash
11	Flujo de amoníaco precalentado	36,36a,36b	Flujo de gas de extracción cargado de NO_x
12	Flujo de aire	37	Flujo de salida de blanqueador de LP
14	Convertidor de flujo de entrada	38,38a	Flujo de oxígeno de HP
15	Convertidor de flujo de salida	39	Flujo de gas de extracción
17,21,23,25,28	Flujo de ácido nítrico líquido	60	Fuente de gas rico en oxígeno de HP, en particular, un electrolizador de agua de HP
18, 22	Flujo que contiene gases NO_x		

REIVINDICACIONES

1. Una planta de presión dual para la producción de ácido nítrico, que comprende:

- 5 - un compresor de aire (2), operable para presurizar aire (12) hasta una presión que varía de 2 bar a 6 bar (baja presión, LP);
- un convertidor (4), que opera a una baja presión (LP), operable para recibir un flujo de una mezcla de amoníaco/aire presurizado (14) a baja presión (LP), para oxidar el amoníaco y para producir una mezcla gaseosa de gas/vapor NO_x de LP (15), que comprende agua y NO ;
- 10 - un compresor de gas NO_x (5), operable para elevar la presión de un flujo gaseoso de NO_x (22) de una baja presión (LP) a una presión que varía de 9 bar a 16 bar (alta presión, HP), que produce, en su lado corriente abajo, un flujo gaseoso de NO_x de HP (24);
- una unidad absorbente (6), que opera a una alta presión (HP), operable para hacer reaccionar los óxidos de nitrógeno contenidos en el flujo gaseoso de NO_x de HP (24) con agua, en donde la unidad absorbente (6) proporciona un flujo de producto de salida (27) que contiene ácido nítrico y óxidos de nitrógeno disueltos, y un gas residual (30); y
- 15 - una unidad blanqueadora (7), operable para extraer óxidos de nitrógeno disueltos del flujo de producto de salida (27) con un medio de extracción (38), que proporciona un flujo de ácido nítrico extraído (29) y un gas de extracción cargado de NO_x (19);

20 en donde

- la unidad blanqueadora (7) opera a una alta presión (HP), que es aproximadamente igual a la presión a la que la unidad absorbente (6) opera;
- la unidad blanqueadora (7) está en comunicación fluida con una fuente de gas rico en oxígeno de HP (60), para proporcionar a la unidad blanqueadora (7) un gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción (38);
- 25 - la planta comprende medios para dirigir el gas de extracción cargado de NO_x (19) hacia el lado corriente abajo del compresor de gas NO_x (5);

30 la planta se caracteriza porque comprende además

- un electrolizador de agua de alta presión (HP) (60), en comunicación fluida con la unidad blanqueadora (7) para proporcionar el gas rico en oxígeno de alta presión (HP) que debe usarse como el medio de extracción (38), solo o mezclado con aire presurizado o cualquier otro gas adecuado.

35 2. Planta de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el gas rico en oxígeno de HP comprende más de 21 % en volumen de oxígeno, en particular, más de 95 % en volumen de oxígeno.

3. Planta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde la unidad blanqueadora (7) es una torre blanqueadora vertical, que comprende:

- 40 - un envasado estructurado; y
- un distribuidor de líquido que comprende una caja de alimentación que tiene un vertedero dentado para la distribución del flujo de producto de salida (27) que comprende óxidos de nitrógeno disueltos a través de estrías que apuntan hacia arriba del vertedero dentado hacia bandejas perforadas del distribuidor de líquido y ubicado encima del envasado estructurado para la distribución de la solución acuosa de ácido nítrico que comprende los óxidos de nitrógeno disueltos en el envasado estructurado.
- 45

4. Planta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además un tanque flash (32) en comunicación fluida con la unidad blanqueadora (7), que comprende:

- 50 - una entrada para el flujo de ácido nítrico extraído (29) en comunicación fluida con la unidad blanqueadora (7); en donde el flujo de ácido nítrico extraído (29) se reduce rápidamente en presión (secado) de una alta presión (HP) a una baja presión (LP);
- una primera salida para gases (33) producida en el tanque flash (32), en comunicación fluida con una sección corriente arriba del compresor de gas NO_x (5); y
- 55 - una segunda salida para recolectar el flujo de ácido nítrico secado (35) del tanque flash (32).

5. Planta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además una segunda unidad blanqueadora (34), que comprende:

- 60 - una primera entrada para el flujo de ácido nítrico extraído (29) en comunicación fluida con la unidad blanqueadora (7);
- una segunda entrada para un flujo de gas de extracción (39);
- una primera salida para un flujo de gas de extracción cargado de NO_x (36) en comunicación fluida con una sección corriente arriba del compresor de gas NO_x (5); y
- 65 - una segunda salida para recolectar el flujo de ácido nítrico blanqueado (37) de la segunda unidad blanqueadora (34);

en donde

- 5 - la segunda unidad blanqueadora (34) opera a una baja presión (LP), que es menor que la presión a la que la unidad blanqueadora (7) opera;
- la segunda unidad blanqueadora (34) está en comunicación fluida con una fuente de gas rico en oxígeno de HP (38a), para proporcionar a la segunda unidad blanqueadora (34) un gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción (38a); y
- 10 - la planta comprende medios para dirigir el gas de extracción cargado de NO_x (36) hacia el lado corriente arriba del compresor de gas NO_x (5).

- 6. Un método para operar una unidad blanqueadora de alta presión en una planta de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 1 a 5, que comprende las etapas de:
- 15 a) operar la unidad blanqueadora (7) a una alta presión (HP), que es aproximadamente igual a la presión a la que la unidad absorbente (6) opera;
- b) proporcionar a la unidad blanqueadora (7) un gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción (38); y
- c) dirigir el gas de extracción cargado de NO_x (19) hacia el lado corriente abajo del compresor de gas NO_x (5);
- 20 en donde el gas rico en oxígeno de HP se proporciona mediante un electrolizador de agua de alta presión.

- 7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el gas rico en oxígeno de HP comprende más de 21 % en volumen de oxígeno, en particular, más de 95 % en volumen de oxígeno.
- 25 8. El método de acuerdo con la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en donde el método comprende además, en una planta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, antes de la etapa b), la etapa de:
- d) precalentar el gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción (38) hasta una temperatura que varía de temperatura ambiente a 120 °C, o de 50 °C a 120 °C, o de 80 °C a 120 °C, o de 90 °C a 120 °C.
- 30 9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en donde el método comprende además, en una planta de acuerdo con la reivindicación 4, las etapas de:
- e) secar el flujo de ácido nítrico extraído (29) de una alta presión (HP) a una baja presión (LP), y
- 35 f) dirigir los gases (33) producidos en el tanque flash (32), hasta una sección corriente arriba del compresor de gas NO_x (5).

- 10. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en donde el método comprende además, en una planta de acuerdo con la reivindicación 6, las etapas de:
- 40 g) operar la segunda unidad blanqueadora (34) a una baja presión (LP), que es menor que la presión a la que la unidad blanqueadora (7) opera;
- h) proporcionar a la segunda unidad blanqueadora (34) un gas rico en oxígeno de HP como un medio de extracción (38); y
- 45 i) dirigir el gas de extracción cargado de NO_x (36) hacia el lado corriente arriba del compresor de gas NO_x (5).

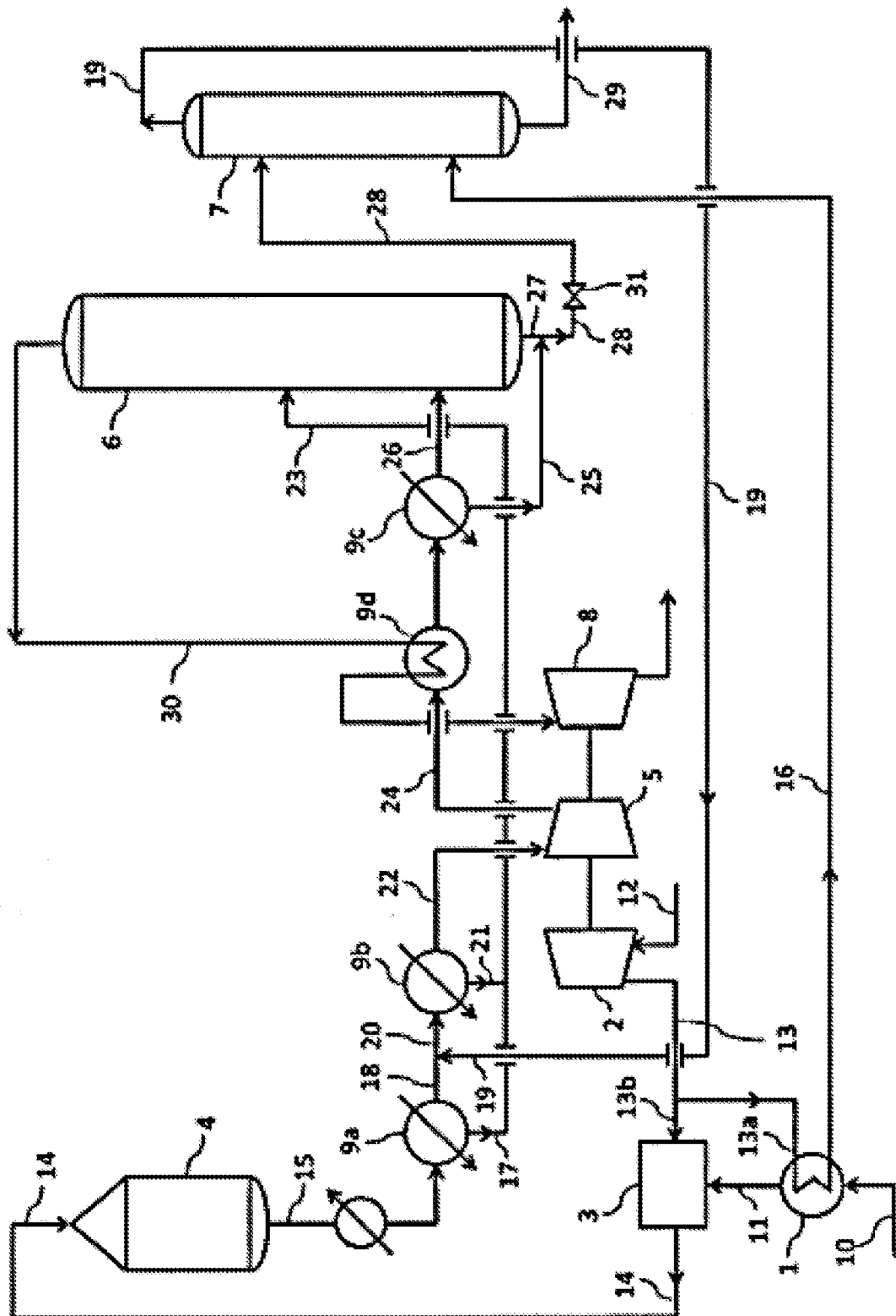


FIGURA 1 (TÉCNICA ANTERIOR)

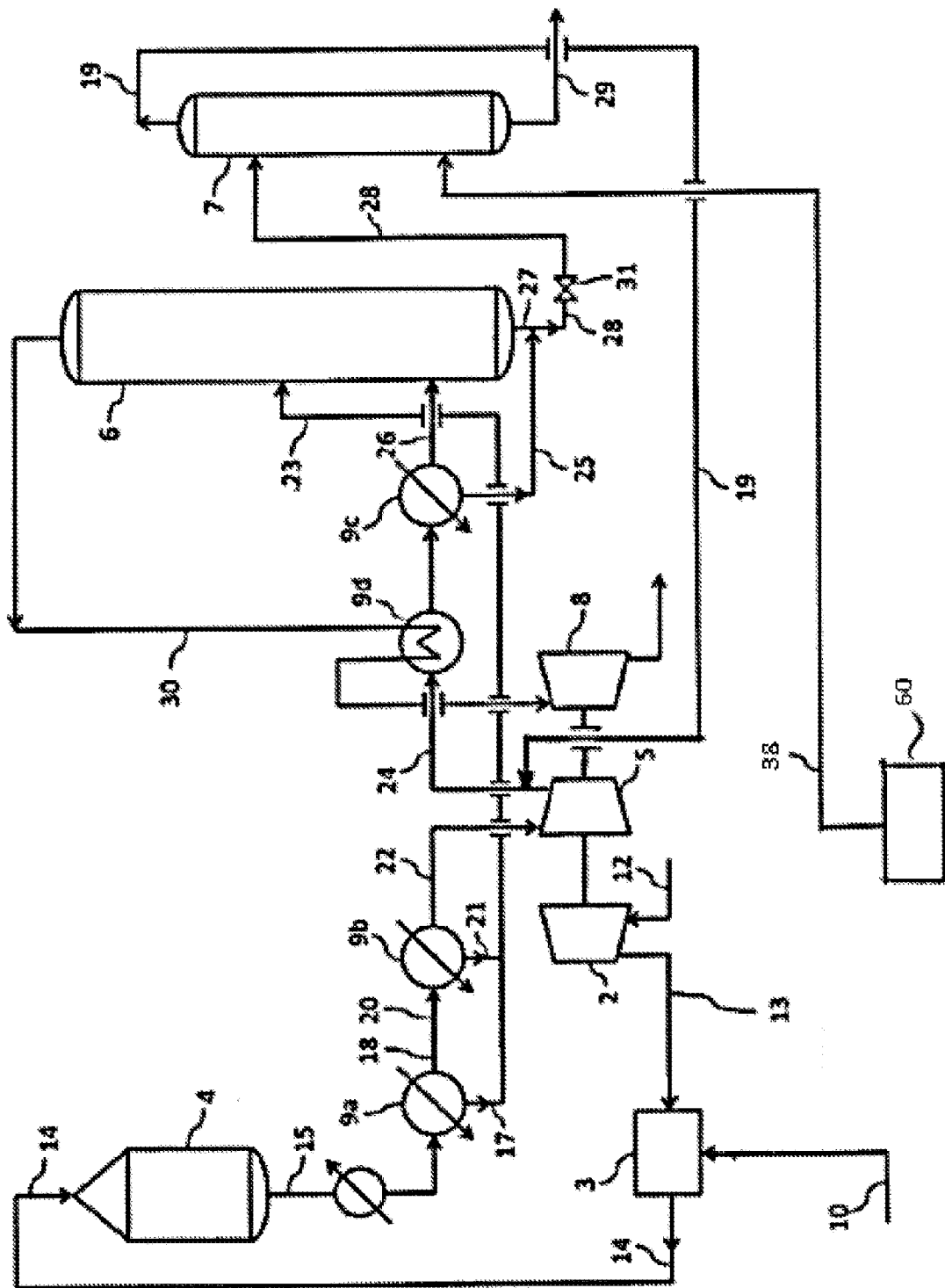


FIGURA 2

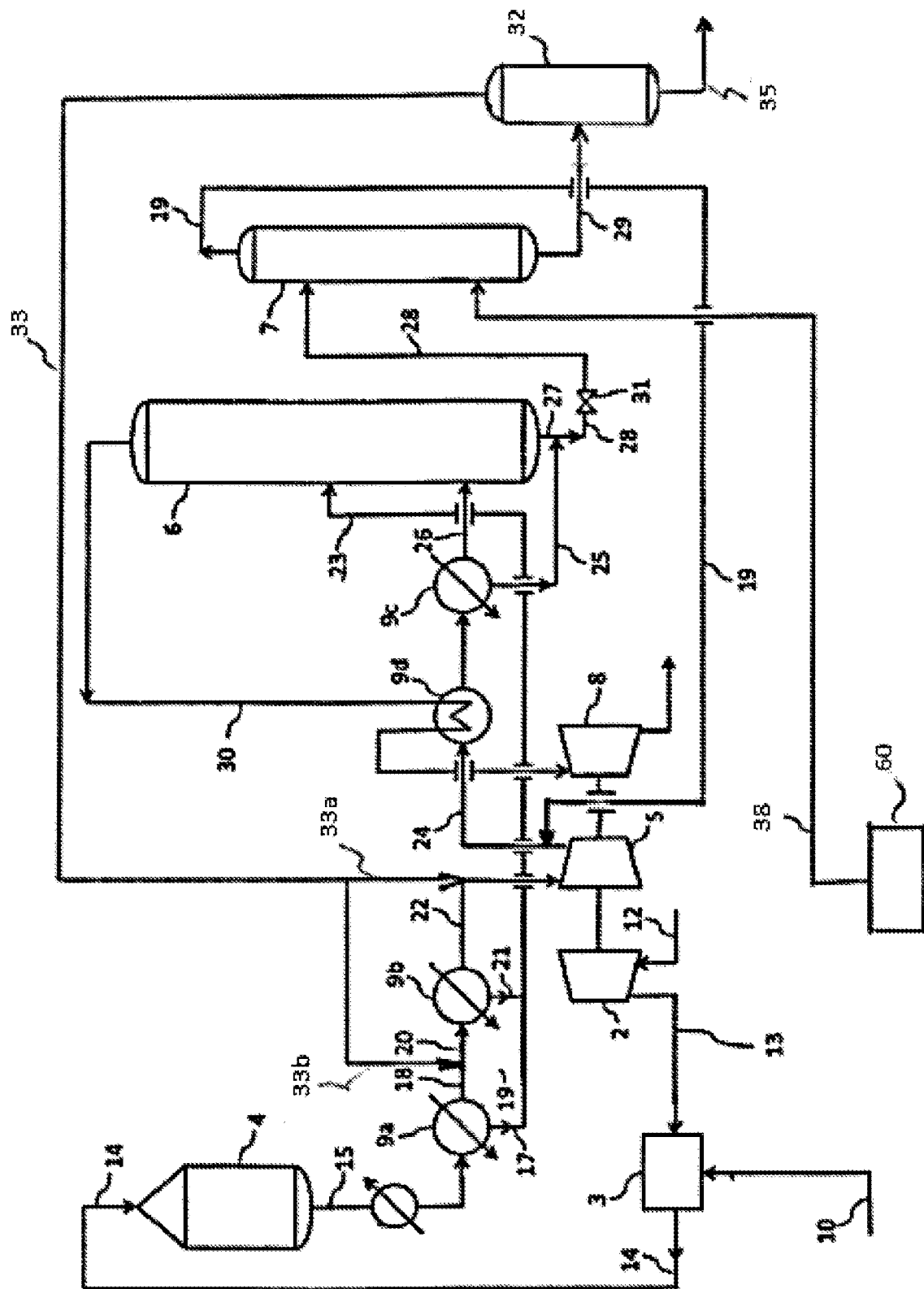


FIGURA 3

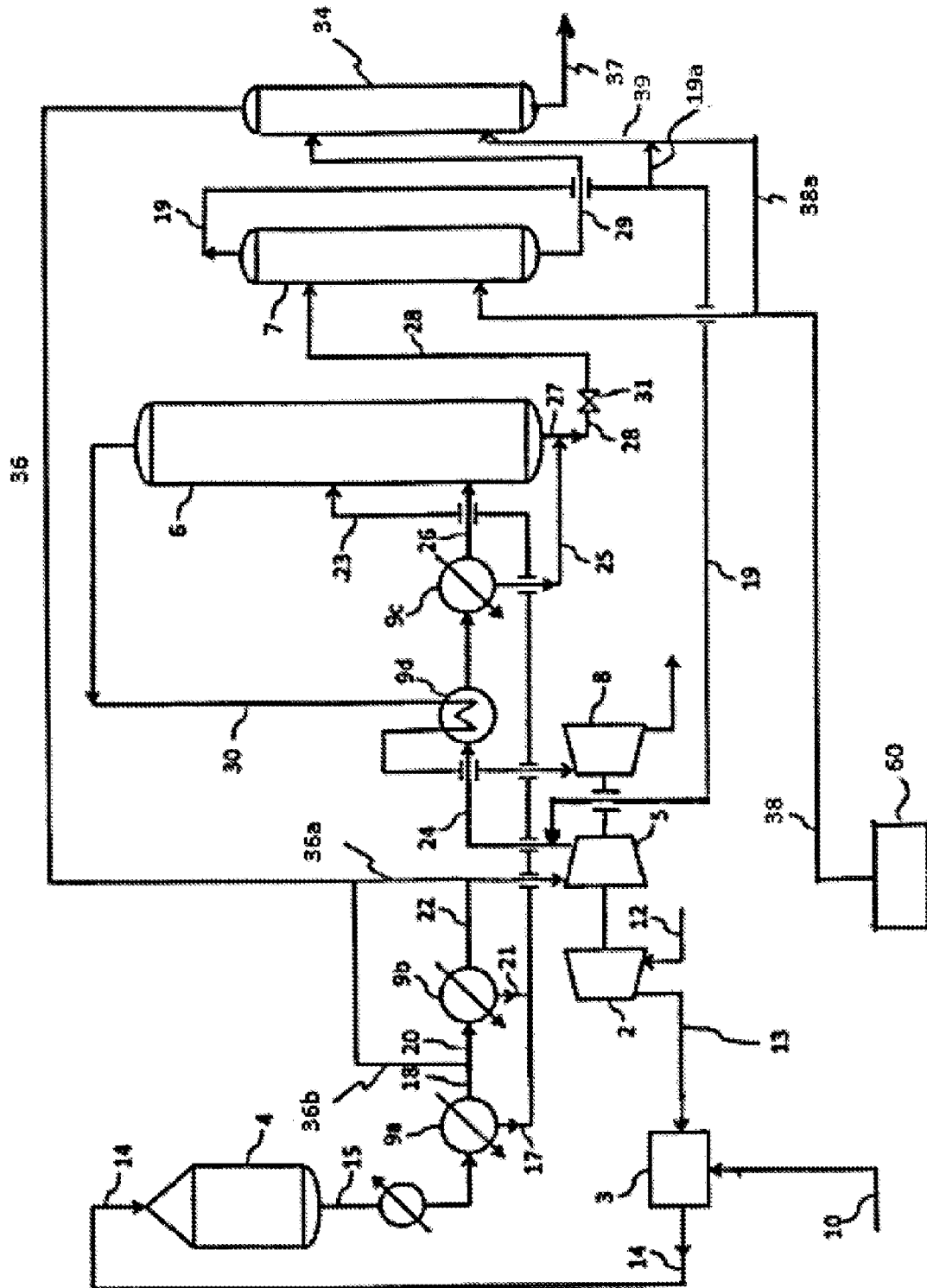


FIGURA 4