

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 914 511**

51 Int. Cl.:

**F01K 15/00** (2006.01)  
**C01B 21/26** (2006.01)  
**F25B 17/00** (2006.01)  
**F02C 6/00** (2006.01)  
**F01K 23/00** (2006.01)  
**C01B 21/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.08.2019 PCT/EP2019/071786**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **20.02.2020 WO20035521**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2019 E 19752069 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2022 EP 3837213**

54 Título: **Proceso de ácido nítrico de alta recuperación de energía que usa un fluido que contiene oxígeno líquido**

30 Prioridad:

**17.08.2018 US 201862764976 P**  
**29.10.2018 EP 18203076**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.06.2022**

73 Titular/es:

**YARA INTERNATIONAL ASA (100.0%)**  
**Drammensveien 131**  
**0277 Oslo, NO**

72 Inventor/es:

**WARNER, MAXIMILIAN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 914 511 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

Proceso de ácido nítrico de alta recuperación de energía que usa un fluido que contiene oxígeno líquido

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere al campo técnico del procesamiento químico. En particular, la presente invención se refiere, en general, a un proceso de producción de ácido nítrico, en particular, un proceso de producción de ácido nítrico en combinación con uno o más procesos situados corriente arriba y/o corriente abajo de la producción de ácido nítrico, tal como la producción de amoníaco, en particular, la producción de amoníaco que usa el hidrógeno generado mediante la electrólisis de agua y la producción de fertilizantes a base de nitrato, respectivamente. La presente invención también se refiere a sistemas para la realización del proceso de producción de ácido nítrico de acuerdo con la presente invención.

15 **Antecedentes de la invención**

El ácido nítrico se produce, normalmente, mediante un proceso de múltiples etapas, en donde el amoníaco se oxida en óxidos de nitrógeno que, a continuación, son absorbidos por el agua para producir ácido nítrico. En la primera etapa, el amoníaco anhidro se oxida con oxígeno o aire en óxido nítrico (NO en inglés) y agua (vapor), en presencia de un catalizador (por ejemplo, un catalizador a base de platino o rodio). Esta etapa de combustión de amoníaco es un proceso muy exotérmico y, en general, se produce a una temperatura de aproximadamente 700 - 1.000 °C. En la siguiente etapa, el monóxido de nitrógeno contenido en el gas de combustión de amoníaco se oxida adicionalmente en dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) (por ejemplo, en una sección de oxidante). Finalmente, el dióxido de nitrógeno se absorbe en agua (normalmente, en un absorbedor dedicado) para producir el ácido nítrico deseado. Antes de la etapa de absorción, el vapor de agua (vapor) contenido en el gas de combustión de amoníaco se condensa mediante el enfriamiento del gas de combustión.

Las plantas modernas de ácido nítrico se hacen operar a presión con el fin de lograr concentraciones de ácido más altas y tasas de oxidación de NO y eficacias más altas en el absorbedor. En las plantas de monopresión, tanto la combustión de amoníaco como la absorción de óxidos de nitrógeno se realizan a presiones moderadas (desde 300 kPa (3 bares) hasta aproximadamente 600 o 700 kPa (6 o 7 bares)) o presión alta (entre aproximadamente 700 kPa (7 bares) y 1.200 kPa (12 bares), hasta 2.000 kPa (20 bares)). En las plantas de presión doble, la combustión de amoníaco tiene lugar a una presión moderada de aproximadamente 300 a 600 kPa (de 3 a 6 bares), mientras que la absorción para producir ácido nítrico se produce a una presión alta de 1.000 a 1.500 kPa (de 10 a 15 bares). Estos sistemas comprenden, normalmente, una turbina de expansión (denominada turbina de gas de cola) para la recuperación de la energía del gas residual o gas de cola antes de que se libere a la atmósfera. Además, con el fin de condensar los gases y el vapor de agua de la cámara de combustión o el quemador de amoníaco, se aplican intercambiadores de calor entre el quemador y el absorbedor. Por ejemplo, normalmente, en estos sistemas, se instala una caldera de calor residual después de la sección de catalizador en el quemador. Aunque las plantas modernas de ácido nítrico comprenden, por tanto, sistemas de recuperación de energía, estas, generalmente, tienen una capacidad deficiente para recuperar esta energía, en particular, para la producción de electricidad, también debido a la gran cantidad de calor de baja calidad que se produce (denominándose el calor de baja calidad calor de bajo valor económico). La tecnología actual para la producción de ácido nítrico recupera solo aproximadamente el 25-30 % de la energía de combustión como vapor exportable y, cuando se usa este vapor para generar energía eléctrica, se obtiene una eficacia térmica de, normalmente, menos del 10 %.

Cuando se produce amoníaco usando la electrólisis de agua como fuente de hidrógeno, el proceso, normalmente, requiere 9,5 MWh/t<sub>NH<sub>3</sub></sub>, de los que aproximadamente el 90 % se usa en los electrolizadores (véase Grunt & Christiansen, International Journal of Hydrogen Energy 7 (1982) 247-257)). Además, aproximadamente el 20 % de la energía que se pone en las unidades de electrolización se libera como calor de baja calidad a 90 °C.

Por tanto, solo una pequeña fracción de la energía requerida para la producción de amoníaco, que se consume en el proceso de producción de ácido nítrico, se recupera en el actual proceso de ácido nítrico.

Recientemente, la energía solar fotovoltaica (PV en inglés) y la eólica han comenzado a superar, en cuanto a los costes, a los métodos de producción de energía eléctrica convencionales (por ejemplo, a base de combustibles fósiles). Se espera, ampliamente, que la energía eólica y solar pueda vencer a los combustibles fósiles en un número cada vez mayor de casos. Esta evolución abre la posibilidad de producir los denominados "amoníaco verde" y "nitratos verdes", en donde las demandas de energía del proceso de producción se satisfacen mediante fuentes de energía renovables. Sin embargo, un tema importante en este contexto es la intermitencia del suministro de energía renovable. Esta no solo desempeña una función muy importante en el coste de producción (es decir, la operación con carga reducida o que incluso está inactiva durante partes del día), sino que, en un proceso de producción de amoníaco, esta intermitencia de energía también presenta un efecto técnico negativo importante. En particular, a diferencia de los electrolizadores, la tecnología actual de un circuito de Haber Bosch no permite que el reactor se encienda y apague varias veces: el catalizador en el proceso y los materiales en el reactor son muy sensibles al calentamiento y enfriamiento. Por tanto, la intermitencia proporcionada por las energías renovables, tales como la

energía eólica o solar, puede tener efectos adversos en esta parte del proceso. Aunque la intermitencia de energía se puede superar, por ejemplo, mediante el uso de baterías, tales como en el caso de la energía solar, mediante el almacenamiento de energía durante el día y la descarga durante la noche, esto supone un coste de capital considerable, tanto en términos del coste de la batería, como también de las unidades de energía fotovoltaica o eólica adicionales requeridas para su carga.

Por consiguiente, existe la necesidad de procesos y sistemas de producción de ácido nítrico, que sean altamente eficaces energéticamente y/o requieran menos energía y que puedan convertir eficazmente la energía eléctrica renovable en amoníaco, ácido nítrico y/o nitratos, con el fin de superar, al menos parcialmente, las desventajas mencionadas anteriormente de usar fuentes de energía renovables.

### Sumario de la invención

Un primer aspecto de la presente solicitud proporciona un proceso para la producción de ácido nítrico, que comprende las etapas de:

(a) combustionar catalíticamente una mezcla de amoníaco y un fluido que contiene oxígeno en un quemador de amoníaco, formando, de este modo, una corriente de combustión de amoníaco, en donde la corriente comprende óxido nítrico;

(b) oxidar al menos parcialmente el óxido nítrico en la corriente de combustión de amoníaco de la Etapa a) para formar una corriente que comprende dióxido de nitrógeno;

(c) absorber, por medio de un absorbedor, el dióxido de nitrógeno en una solución acuosa, formando, de este modo, una corriente acuosa concentrada que comprende ácido nítrico, en donde el fluido que contiene oxígeno se suministra al quemador de amoníaco a través de una línea de suministro de fluido que contiene oxígeno, en donde, en al menos una sección de la línea de suministro de fluido que contiene oxígeno, el fluido que contiene oxígeno es un líquido;

(d) aumentar la presión del líquido que contiene oxígeno en la línea de suministro de fluido que contiene oxígeno, obteniendo, de este modo, un líquido que contiene oxígeno presurizado, en donde el líquido que contiene oxígeno presurizado tiene una presión de al menos 1.000 kPa (10 bares), particularmente de al menos 5.000 kPa (50 bares), más particularmente de al menos 10.000 kPa (100 bares) o al menos 15.000 kPa (150 bares) e incluso más particularmente tiene una presión entre 15.000 y 25.000 kPa (150 y 250 bares);

(e) evaporar o hervir el líquido que contiene oxígeno presurizado, en particular, mediante el calor recuperado corriente abajo del quemador de amoníaco, obteniendo, de este modo, un gas que contiene oxígeno presurizado;

y  
(f) expandir el gas que contiene oxígeno presurizado sobre una primera turbina (200), que está particularmente acoplada a un generador (220) para la generación de electricidad.

El fluido que contiene oxígeno es, en particular, aire, oxígeno puro ( $O_2$ ) o una mezcla que comprende oxígeno ( $O_2$ ). En particular, la mezcla comprende al menos el 10 % en moles de  $O_2$ , más particularmente al menos el 15 % en moles de  $O_2$ , incluso más particularmente al menos el 20 % en moles de  $O_2$ , todavía incluso más particularmente al menos el 50 % en moles de  $O_2$ , aún incluso más particularmente al menos el 90 % en moles de  $O_2$  y lo más particularmente al menos el 95 % en moles de  $O_2$ . En particular, el proceso comprende, además, la etapa de mezclar el fluido que contiene oxígeno con amoníaco antes de suministrar el amoníaco y el fluido que contiene oxígeno al quemador de amoníaco, más en particular, el mezclado tiene lugar en una unidad de mezclado o línea de mezclado. En el contexto de la presente solicitud, se considera que la unidad de mezclado o línea de mezclado forma parte de la línea de suministro de fluido que contiene oxígeno.

La electricidad se puede suministrar a uno o más procesos de extremo delantero o corriente arriba del proceso de producción de ácido nítrico, tales como la producción basada en la electrólisis de gas de hidrógeno en un proceso de producción de amoníaco, y/o para la operación de una unidad de separación de aire para la generación de gas de nitrógeno para su uso en un proceso de producción de amoníaco. Ventajosamente, la electricidad se puede suministrar a los procesos de extremo delantero o corriente arriba cuando se interrumpe el suministro de energía renovable (por ejemplo, por la noche para la energía solar).

En realizaciones particulares, el proceso para la producción de ácido nítrico de acuerdo con la presente invención comprende, además, la etapa de calentar o recalentar adicionalmente el gas que contiene oxígeno presurizado de la Etapa (e) a través de uno o más calentadores (122) configurados para la recuperación de calor corriente abajo del quemador de amoníaco (100), antes de la expansión del gas que contiene oxígeno presurizado en la Etapa (f).

De acuerdo con el proceso de la presente solicitud, un fluido que contiene oxígeno líquido se presuriza, en primer lugar (lo que requiere sustancialmente menos energía que la presurización del fluido correspondiente en forma gaseosa), y, posteriormente, se hierve y, en particular, se calienta adicionalmente. Ventajosamente, la evaporación y el calentamiento adicional del fluido que contiene oxígeno pueden hacer uso del calor residual de baja calidad, es decir, a una temperatura por debajo de 100 °C e inferior. Por tanto, en realizaciones particulares, el calentamiento o recalentamiento adicional del fluido que contiene oxígeno, en particular, el gas que contiene oxígeno presurizado, se lleva a cabo con el calor recuperado en el absorbedor; con el calor recuperado en un condensador y/o con el calor

recuperado en un intercambiador de calor (unidad de enfriamiento) corriente abajo del quemador de amoniaco. En realizaciones particulares, el calentamiento o recalentamiento adicional del fluido que contiene oxígeno, en particular, el gas que contiene oxígeno presurizado, se lleva a cabo gradualmente, mediante el uso, en primer lugar, del calor recuperado de baja calidad, tal como el calor recuperado de las unidades de absorbedor y/o condensador, y, posteriormente, el uso del calor recuperado de una calidad superior que se recupera a través de intercambiadores de calor de la corriente que contiene NO o NO<sub>2</sub> antes del condensador y el absorbedor. Dicho de manera diferente, el gas que contiene oxígeno presurizado se calienta, en primer lugar, usando el calor de baja calidad recuperado de las unidades de absorbedor y/o condensador (que operan a temperaturas por debajo de 100 °C), antes de este que se caliente/recaliente adicionalmente usando el calor de una calidad superior recuperado a través de intercambiadores de calor de la corriente que contiene NO o NO<sub>2</sub> antes de que la corriente entre en el condensador y el absorbedor.

Por tanto, la etapa de recalentar el fluido que contiene oxígeno, en particular, el gas que contiene oxígeno presurizado, se lleva a cabo mediante el uso, consecutivamente, del calor de dos o más de las siguientes fuentes, en secuencia: (1) el absorbedor; (2) el condensador; (3) un intercambiador de calor corriente arriba del condensador, tal como entre el condensador y la unidad de oxidante; y/o (4) un intercambiador de calor corriente arriba de la unidad de oxidante y corriente abajo del quemador de amoniaco.

El proceso de ácido nítrico de acuerdo con la presente solicitud, que comprende el uso de un fluido que contiene oxígeno líquido, se puede combinar con procesos o sistemas de ácido nítrico clásicos, tal como se menciona en la sección de Antecedentes, en donde el calor en el gas de combustión de amoniaco (es decir, la corriente que comprende óxido nítrico) se captura a través de uno o más intercambiadores de calor o condensadores, localizados corriente abajo del quemador de amoniaco y corriente arriba del absorbedor, y en donde el calor capturado se puede usar para hervir el líquido que contiene oxígeno presurizado y/o para el calentamiento o recalentamiento del gas que contiene oxígeno presurizado. Además, el proceso de ácido nítrico de acuerdo con la presente solicitud también se puede combinar con otras medidas de recuperación de energía y generación de electricidad consideradas en el presente concepto novedoso de un proceso y sistema de producción de ácido nítrico de alta eficacia energética y material.

En determinadas realizaciones, el proceso de producción de ácido nítrico comprende, además, la etapa de calentar previamente la mezcla de combustión formada en la línea de mezclado, en particular, mediante el calor recuperado a través de un intercambiador de calor situado entre la unidad de oxidante y el condensador o entre la unidad de oxidante y el absorbedor.

En realizaciones ventajosas particulares, el proceso para la producción de ácido nítrico comprende, además, la etapa de producir amoniaco, antes de la Etapa (a), mediante la conversión catalítica de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, en donde el amoniaco se combustiona posteriormente para generar NO<sub>x</sub> y, posteriormente, se convierte en ácido nítrico. Por tanto, en realizaciones particulares, la etapa de producir amoniaco se configura para la mejora de la eficacia energética y/o material. En realizaciones particulares, el proceso para la producción de ácido nítrico comprende las etapas de:

(a) combustionar catalíticamente amoniaco en un quemador de amoniaco en presencia de un fluido que contiene oxígeno, formando, de este modo, una corriente que comprende óxido nítrico;

(b) oxidar al menos parcialmente el NO<sub>x</sub> en la corriente que comprende óxido nítrico para formar una corriente que comprende dióxido de nitrógeno;

(c) absorber, por medio de un absorbedor, dióxido de nitrógeno en una solución acuosa, formando, de este modo, una corriente acuosa que comprende ácido nítrico,

en donde el fluido que contiene oxígeno se suministra al quemador de amoniaco a través de una línea de suministro de fluido que contiene oxígeno, en donde, en al menos una sección de la línea de suministro de fluido que contiene oxígeno, el fluido que contiene oxígeno es un líquido;

(d) aumentar la presión del líquido que contiene oxígeno en la línea de suministro de fluido que contiene oxígeno, obteniendo, de este modo, un líquido que contiene oxígeno presurizado, en donde el líquido que contiene oxígeno presurizado tiene una presión de al menos 1.000 kPa (10 bares), particularmente de al menos 5.000 kPa (50 bares), más particularmente de al menos 10.000 kPa (100 bares) o al menos 15.000 kPa (150 bares) e incluso más particularmente tiene una presión entre 15.000 y 25.000 kPa (150 y 250 bares);

(e) evaporar o hervir el líquido que contiene oxígeno presurizado, en particular, mediante el calor recuperado corriente abajo del quemador de amoniaco, obteniendo, de este modo, un gas que contiene oxígeno presurizado;

(f) opcionalmente, calentar y/o recalentar adicionalmente el gas que contiene oxígeno presurizado a través de uno o más calentadores configurados para la recuperación del calor corriente abajo del quemador de amoniaco y

(g) expandir el gas que contiene oxígeno presurizado, en particular, el gas que contiene oxígeno supercalentado sobre una primera turbina (200), que está particularmente acoplada a un generador (220) para la generación de electricidad;

y en donde el proceso comprende, además, la etapa de producir amoniaco, antes de la Etapa (a), mediante la conversión catalítica de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> en un circuito de síntesis de Haber-Bosch, en particular, en una unidad de convertidor del mismo, obteniendo, de este modo, una corriente de producto de amoniaco, en donde el nitrógeno se suministra al convertidor a través de una línea de suministro de nitrógeno, en donde, en al menos una sección

de la línea de suministro de nitrógeno, el nitrógeno está en estado líquido. En realizaciones particulares, se aumenta la presión del nitrógeno líquido, en particular, mediante el uso de una bomba criogénica o un compresor, en particular hasta una presión de al menos 1.000 kPa (10 bares), más en particular hasta al menos 5.000 kPa (50 bares), incluso más en particular hasta al menos 10.000 kPa (100 bares), todavía incluso más en particular hasta al menos 15.000 kPa (150 bares) o hasta una presión que varía entre 15.000 kPa (150 bares) y 25.000 kPa (250 bares) y, en realizaciones particulares, el N<sub>2</sub> líquido presurizado se evapora posteriormente, obteniendo, por tanto, N<sub>2</sub> gaseoso presurizado. El N<sub>2</sub> gaseoso presurizado se mezcla con H<sub>2</sub> comprimido y con una corriente de reciclado comprimida que comprende N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> sin reaccionar, creando, por tanto, una mezcla de reacción, que se proporciona a la unidad de convertidor en el circuito de Haber-Bosch, en particular, después de un calentamiento previo, tal como mediante el calor recuperado corriente abajo de la unidad de convertidor. La corriente de producto de amoníaco que sale de la unidad de convertidor se proporciona a un separador para la separación del amoníaco, en particular, el amoníaco líquido obtenido mediante el enfriamiento de la corriente de producto de amoníaco, de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> sin reaccionar.

En realizaciones particulares, el amoníaco separado se evapora adicionalmente y, opcionalmente, se calienta o recalienta, particularmente con el calor recuperado del circuito de síntesis de Haber-Bosch y/o en el proceso de producción de ácido nítrico. Ventajosamente, el proceso comprende, además, la etapa de expandir el amoníaco separado, en particular, el amoníaco supercalentado, sobre una segunda turbina, en particular, una turbina de alta presión, que está particularmente acoplada operativamente a un generador para la generación de electricidad. En realizaciones ventajosas adicionales, el proceso comprende, además, la etapa de enfriar y condensar el amoníaco expandido y hacer pasar el amoníaco condensado a un sistema de recuperación de energía basado en el ciclo Rankine de amoníaco, en donde al menos parte del amoníaco producido se usa como fluido de trabajo antes de proporcionarse al quemador de amoníaco y una tercera turbina se usa para capturar trabajo del fluido de trabajo de amoníaco.

Otro aspecto de la presente solicitud proporciona un sistema para la producción de ácido nítrico, en particular, acoplado operativamente a una fuente de energía renovable y configurado particularmente para la ejecución de una o más realizaciones de un proceso de acuerdo con la presente solicitud, en donde el sistema comprende

- un quemador de amoníaco, que comprende un catalizador, configurado para la combustión catalítica de una mezcla de combustión que comprende amoníaco y aire y/o oxígeno a una presión elevada, tal como a una presión entre aproximadamente 500 kPa (5,0 bares) y 2.000 kPa (20,0 bares) para formar una corriente que comprende óxido nítrico;
- una línea de suministro de oxígeno, configurada para la provisión de un fluido que contiene oxígeno, tal como O<sub>2</sub>, aire o aire enriquecido con oxígeno, al quemador de amoníaco;
- una línea de suministro de amoníaco, configurada para la provisión de amoníaco al quemador de amoníaco;
- una línea de salida de gas de combustión de amoníaco, configurada para la retirada de una corriente que comprende óxido nítrico del quemador de amoníaco, en conexión fluida con una sección de oxidación o unidad de oxidante, configurada para la oxidación del óxido nítrico en dióxido de nitrógeno, con la sección de oxidación a su vez en conexión fluida con un absorbedor, configurado para la absorción de dióxido de nitrógeno en agua, produciendo, de este modo, ácido nítrico;

en donde la línea de suministro de oxígeno comprende un sistema de recuperación de energía, en donde el sistema de recuperación de energía comprende, consecutivamente, un medio para la presurización del fluido que contiene oxígeno en estado líquido, hasta una presión de al menos 1.000 kPa (10 bares), en particular hasta al menos 5.000 kPa (50 bares), más en particular hasta al menos 10.000 kPa (100 bares), incluso más en particular hasta al menos 15.000 kPa (150 bares) o hasta una presión que varía entre 15.000 kPa (150 bares) y 25.000 kPa (250 bares), tal como una bomba criogénica; uno o más calentadores configurados para la evaporación y el calentamiento adicional del fluido que contiene oxígeno presurizado y una primera turbina, tal como una turbina de alta presión, configurada para la expansión del fluido que contiene oxígeno (en forma gaseosa), en donde una salida de la turbina está en conexión fluida con una entrada del quemador de amoníaco, en donde el sistema comprende, además:

- una o más de una unidad de electrólisis, una unidad de licuefacción de aire y/o una unidad de separación de aire, en donde la unidad de electrólisis se configura para la descomposición de agua en H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> por medio de una corriente eléctrica, en donde la unidad de licuefacción de aire se configura para la conversión de aire gaseoso en aire líquido, en conexión fluida con la línea de suministro de oxígeno; y en donde la unidad de separación de aire se configura para la separación de aire en O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, en particular, en O<sub>2</sub> líquido y N<sub>2</sub> líquido; y en donde la primera turbina se acopla operativamente a un primer generador, en donde dicho primer generador está en conexión eléctrica con la unidad de electrólisis y/o la unidad de separación de aire y/o la unidad de licuefacción de aire.

En realizaciones particulares, el sistema de producción de ácido nítrico comprende, además, un sistema de producción de amoníaco, comprendiendo el sistema de producción de amoníaco un circuito de síntesis de Haber-Bosch, comprendiendo el circuito de síntesis de Haber-Bosch una entrada de H<sub>2</sub>; una entrada de N<sub>2</sub>; una unidad de convertidor configurada para la conversión catalítica de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> en amoníaco, obteniendo, de este modo, una mezcla de producto de amoníaco, comprendiendo la unidad de convertidor una salida de mezcla de producto de amoníaco; un separador localizado corriente abajo del convertidor y configurado para la separación de la mezcla de producto

de amoníaco en una corriente de amoníaco y una corriente que comprende  $H_2$  y  $N_2$  sin reaccionar; medios para el reciclado del  $H_2$  y  $N_2$  sin reaccionar y una salida de amoníaco; en donde la salida de amoníaco está en conexión fluida con la línea de suministro de amoníaco de la producción de ácido nítrico. En realizaciones particulares, el sistema de producción de amoníaco comprende, además, un sistema de recuperación de energía basado en el ciclo Rankine de amoníaco que está en conexión fluida con la salida de amoníaco, que comprende una tercera turbina configurada para extraer trabajo del fluido de trabajo de amoníaco; un intercambiador de calor, un condensador de amoníaco en conexión térmica con la línea de suministro de  $N_2$ , en particular, en conexión térmica con la línea de suministro de  $N_2$  corriente abajo de los medios para la presurización del  $N_2$  líquido en la línea de suministro de  $N_2$ ; una bomba de circulación de amoníaco; y una salida de amoníaco en conexión fluida con la línea de suministro de amoníaco.

El sistema de acuerdo con la presente invención puede comprender una o más unidades adicionales.

En determinadas realizaciones, el sistema de producción de ácido nítrico comprende una unidad de electrólisis, configurada para la descomposición del agua en  $H_2$  y  $O_2$  por medio de una corriente eléctrica, en particular, a partir de fuentes renovables, comprendiendo la unidad de electrólisis una entrada de agua y una salida de  $H_2$  y una salida de  $O_2$ ; en donde la salida de  $H_2$  de la unidad de electrólisis está en conexión fluida con la entrada de  $H_2$  del circuito de síntesis de Haber-Bosch.

En determinadas realizaciones, el sistema de producción de ácido nítrico comprende una unidad de separación de aire, configurada para la separación del aire en  $O_2$  y  $N_2$ , en particular, en  $O_2$  líquido y  $N_2$  líquido, comprendiendo la unidad de separación de aire una salida de  $O_2$  y una salida de  $N_2$ , en donde la salida de  $O_2$  de la unidad de separación de aire está en conexión fluida con la línea de suministro de oxígeno y en donde la salida de  $N_2$  de la unidad de separación de aire está en conexión fluida con la entrada de  $N_2$  del circuito de síntesis de Haber-Bosch.

En determinadas realizaciones, el sistema de producción de ácido nítrico comprende, además, uno o más intercambiadores de calor, configurados para la captura del calor residual del proceso de combustión de amoníaco, y un condensador, para la condensación del agua en el gas de combustión de amoníaco, en donde el uno o más intercambiadores de calor y el condensador se sitúan corriente abajo del quemador de amoníaco y corriente arriba de la unidad de absorbedor y en donde el uno o más intercambiadores de calor y el condensador están, en particular, acoplados térmicamente con los calentadores localizados en la línea de suministro de oxígeno.

En determinadas realizaciones, el sistema de producción de ácido nítrico comprende, además, una unidad de mezclado en conexión fluida y ligada a la línea de suministro de amoníaco y la línea de fluido que contiene oxígeno, comprendiendo la unidad de mezclado un recipiente, un conducto o un reactor configurado para mezclar el fluido que contiene oxígeno y el amoníaco para formar una mezcla de combustión, antes de la introducción de la mezcla de combustión en el quemador de amoníaco. En realizaciones particulares, se proporciona un intercambiador de calor entre la unidad de mezclado y el quemador de amoníaco configurado para el calentamiento de la mezcla de combustión, tal como usando el calor recuperado del condensador.

En determinadas realizaciones, el sistema de producción de ácido nítrico comprende, además, un medio para la presurización del  $N_2$  líquido en la línea de suministro de  $N_2$  hasta una presión de al menos 10.000 kPa (100 bares), particularmente hasta al menos 15.000 kPa (150 bares), más particularmente hasta una presión entre 15.000 kPa (150 bares) y 25.000 kPa (250 bares), tal como una bomba criogénica. En particular, el sistema comprende, además, un medio para intercambiar calor entre el nitrógeno presurizado líquido y el sistema de recuperación de energía basado en el ciclo Rankine de amoníaco.

En determinadas realizaciones, el sistema de producción de ácido nítrico comprende, además, una segunda turbina configurada para la expansión de la corriente de amoníaco separada en el separador, particularmente acoplada operativamente a un generador.

La presente solicitud también proporciona el uso de un sistema de acuerdo con una realización de la presente solicitud para la realización del proceso de acuerdo con una realización de la presente solicitud.

### Breve descripción de las figuras

La siguiente descripción de las Figuras de realizaciones específicas, tal como se describe en el presente documento, solo se proporciona a modo de ejemplo y no pretende limitar la presente explicación, su aplicación o uso. En los dibujos, los números de referencia idénticos se refieren a partes y rasgos iguales o similares.

**Figuras 1A y 1B.** Diagrama de flujo esquemático de una realización de una producción integrada de amoníaco-ácido nítrico, que muestra la integración de material y energía (electricidad).

La **Figura 2A** muestra una realización de un proceso para la fabricación de ácido nítrico, tal como se proporciona en el presente documento, en donde el aire/oxígeno líquido se presuriza, calienta/evapora y expande sobre una turbina, antes del mezclado con amoníaco y el suministro de la mezcla de amoníaco y aire/oxígeno al quemador.

La **Figura 2B** muestra una realización de un proceso para la fabricación de ácido nítrico, tal como se proporciona

en el presente documento, que muestra, además, que el amoniaco se produce a partir de la electrólisis del hidrógeno generado.

La **Figura 3** muestra una realización de un proceso combinado para la fabricación de amoniaco y ácido nítrico, tal como se proporciona en el presente documento, en donde una corriente de N<sub>2</sub> líquida y presurizada se usa en la producción de amoniaco.

5

Los siguientes números de referencia se usan en la descripción y las Figuras:

100	quemador de amoniaco
120	línea de suministro de oxígeno
130	línea de suministro de amoniaco
131	tanque de compensación de amoniaco
140	calentador
150	unidad de mezclado
160	línea de salida de gas de combustión de amoniaco
161	intercambiador de calor
162	condensador
200	primera turbina (turbina de fluido que contiene oxígeno presurizado)
220	generador
400	oxidante
500	absorbedor
510	conducto para ácido nítrico concentrado
700	circuito de Haber-Bosch
710	entrada de H <sub>2</sub>
711	compresor de H <sub>2</sub>
720	entrada de N <sub>2</sub>
721	tanque de compensación de N <sub>2</sub>
722	bomba criogénica
730	unidad de convertidor
740	separador
750	salida de NH <sub>3</sub>
760	recompresor
770	segunda turbina (turbina de amoniaco presurizado)
771	generador
780	sistema de recuperación de energía de ciclo Rankine de amoniaco
781	tercera turbina
782	generador
783	bomba de circulación de amoniaco
790	calentador previo
791	intercambiador de calor (en caldera de amoniaco)
792	intercambiador de calor residual
793	intercambiador de calor (en supercalentador de amoniaco)
794	intercambiador de calor residual
795	intercambiador de calor enfriado por aire
796	intercambiador de calor residual
797	intercambiador de calor en condensador de amoniaco
800	unidad de electrólisis
810	salida de H <sub>2</sub>
900	unidad de separador de aire
910	salida de N <sub>2</sub>
920	salida de O <sub>2</sub>

10 **Descripción detallada de la invención**

Antes de que se describan los presentes sistemas y procesos de la invención, se ha de entender que esta no se limita a los sistemas y métodos o combinaciones particulares descritos, dado que tales sistemas y métodos y combinaciones pueden, por supuesto, variar. También se ha de entender que no se pretende que la terminología usada en el presente documento sea limitante, dado que el alcance estará limitado solo por las reivindicaciones adjuntas.

15

Tal como se usa en el presente documento, las formas en singular "un", "una", "el" y "la" incluyen referencias tanto en singular como en plural, a menos que el contexto dicte claramente otra cosa.

20

Las expresiones "que comprende/comprenden", "comprende", "comprendido/a de" y "comprendidos/as de", tal como

se usan en el presente documento, son sinónimas de "que incluye/incluyen", "incluye" o "que contiene/contiene", "contiene" y son inclusivas o abiertas y no excluyen miembros, elementos o etapas de método no enumerados adicionales. Se apreciará que las expresiones "que comprende/comprenden", "comprende", "comprendido/a de" y "comprendidos/as de", tal como se usan en el presente documento, comprenden las expresiones "que consiste/consisten en", "consiste" y "consiste en".

La enumeración de intervalos numéricos mediante valores extremos incluye todos los números y las fracciones abarcados dentro de los intervalos respectivos, así como los valores extremos enumerados.

El término "aproximadamente" o la expresión "alrededor de", tal como se usa en el presente documento, cuando se refiere a un valor medible, tal como un parámetro, una cantidad, una duración temporal y similares, se entiende que abarca variaciones del +/-10 % o menos, en particular, del +/-5 % o menos, más particularmente del +/-1 % o menos y todavía más particularmente del +/-0,1 % o menos de y a partir del valor especificado, en la medida en que tales variaciones sean adecuadas para realizarse en los aspectos y las realizaciones divulgados. Se ha de entender que el valor al que se refiere el modificador "aproximadamente" o "alrededor de" también se divulga en sí mismo de manera específica y en particular.

Considerando que las expresiones "uno o más" o "al menos uno", tales como uno o más o al menos uno o más miembros de un grupo de miembros, resultan evidentes per se, por medio de una ejemplificación adicional, las expresiones abarcan, entre otras cosas, una referencia a uno cualquiera de los miembros o a dos cualesquiera o más de los miembros, tales como, por ejemplo,  $\geq 3$ ,  $\geq 4$ ,  $\geq 5$ ,  $\geq 6$  o  $\geq 7$ , etc., cualesquiera de los miembros y hasta todos los miembros.

A menos que se definan de otro modo, todos los términos y expresiones usados en el presente documento, incluyendo los términos y las expresiones técnicas y científicas, tienen el significado comúnmente entendido por parte de un experto habitual en la materia. Por medio de una guía adicional, se incluyen las definiciones de los términos y las expresiones para apreciar mejor la enseñanza, tal como se describe en el presente documento.

En los siguientes pasajes, se definen los diferentes aspectos con más detalle. Cada aspecto así definido se puede combinar con cualquier otro aspecto o aspectos, a menos que se indique claramente lo contrario. En particular, cualquier rasgo indicado como particular o ventajoso se puede combinar con cualquier otro rasgo o rasgos indicados como particulares o ventajosos.

La referencia a lo largo de la presente memoria descriptiva a "una realización" significa que un rasgo, una estructura o una característica particular descrita en relación con la realización se incluye en al menos una realización, tal como se describe en el presente documento. Por tanto, las apariciones de las expresiones "en una realización" en diversos lugares a lo largo de la presente memoria descriptiva no se refieren todas necesariamente a la misma realización, pero pueden. Además, los rasgos, las estructuras o las características particulares se pueden combinar de cualquier manera adecuada, tal como resultaría evidente para una persona experta en la materia a partir de la presente divulgación, en una o más realizaciones. Además, aunque algunas realizaciones descritas en el presente documento incluyen algunos, pero no otros, rasgos incluidos en otras realizaciones, las combinaciones de rasgos de diferentes realizaciones se entiende que se encuentran dentro del alcance de la invención y forman diferentes realizaciones, tal como entenderían aquellos expertos en la materia. Por ejemplo, en las reivindicaciones y/o declaraciones numeradas especificadas en el presente documento, cualquiera de las realizaciones especificadas se puede usar en cualquier combinación.

En la presente descripción, se hace referencia a los dibujos adjuntos que forman parte de la misma y en los que se muestran, a modo de ilustración solo, las realizaciones específicas en las que se puede practicar la invención. Los números de referencia entre paréntesis o en negrita pegados a los respectivos elementos simplemente ejemplifican los elementos a modo de ejemplo, con lo que no se pretende limitar los respectivos elementos. Se ha de entender que se pueden utilizar otras realizaciones y que se pueden realizar cambios estructurales o lógicos sin alejarse del alcance de la presente invención. La siguiente descripción detallada, por lo tanto, no se ha de considerar en un sentido limitante y el alcance de la presente invención se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

Las presiones proporcionadas en el presente documento se expresan como presiones absolutas. Por consiguiente, cuando se usa la unidad "kPa" ("bares") en la presente divulgación, se entiende la presión absoluta. En otras palabras, la unidad "kPa" ("bares"), tal como se usa en el presente documento, se refiere a la presión que incluye la presión atmosférica.

Los inventores han desarrollado un concepto novedoso de un proceso y sistema de producción de ácido nítrico de alta eficacia energética y material, en particular, un proceso y sistema de producción de ácido nítrico de alta eficacia energética y material combinado e integrado con un proceso y sistema de producción de amoníaco, que superan al menos parcialmente las desventajas mencionadas anteriormente de usar fuentes de energía renovables. En particular, el proceso y sistema de producción de ácido nítrico, tal como se detalla en el presente documento, está configurado para recuperar una gran cantidad de energía de la combustión y oxidación de amoníaco y, en particular, también de la oxidación de NO, la condensación de vapor de agua (que corresponde a aproximadamente un tercio

del calor liberado en la combustión) y la absorción de  $\text{HNO}_3$ , en particular, en forma de electricidad, tal como que tiene una eficacia térmica de más del 20 %, tal como más del 25 % o 30 %, al tiempo que mantiene una alta recuperación de ácido nítrico en la conversión de amoníaco en ácido nítrico. Ventajosamente, la electricidad generada se devuelve al proceso y sistema de producción de amoníaco, en particular, una producción de amoníaco basada en la electrólisis.

En general, el concepto novedoso de un proceso y sistema de producción de ácido nítrico de alta eficacia energética y material puede comprender una o más medidas de recuperación de energía y generación de electricidad potenciadas, medidas directamente relacionadas con la implementación de las medidas de recuperación de energía y generación de electricidad en un proceso de producción de ácido nítrico o un proceso de producción de amoníaco-ácido nítrico integrado combinado y/o medidas para la integración de los electrolizadores, la producción de amoníaco/circuito de Haber-Bosch y la producción de ácido nítrico. En la presente solicitud, se contemplan varias medidas de promoción de la recuperación de energía o eficacia energética, que se pueden aplicar de manera separada o en paralelo con el fin de lograr una eficacia energética óptima y una recuperación de energía potenciada, incluyendo la eficacia y/o recuperación de energía potenciada de un proceso de producción de amoníaco y/o ácido nítrico usando gases licuados presurizados (por ejemplo, aire,  $\text{N}_2$ ). En general, se describe en el presente documento un proceso y sistema para la producción de ácido nítrico con una recuperación de energía potenciada y/o una eficacia energética potenciada, en particular, mediante una integración basada en productos y energía potenciada de un proceso/sistema de producción de amoníaco de extremo delantero y un proceso/sistema de producción de ácido nítrico de extremo trasero, tal como mediante la provisión de la energía, en particular, la electricidad, recuperada en la producción de ácido nítrico a los procesos/sistemas de extremo delantero y mediante la provisión de los productos, por ejemplo, el oxígeno, el amoníaco, de la producción de amoníaco de extremo delantero a la producción de ácido nítrico, en particular, en combinación con la aplicación de condiciones operativas novedosas en el proceso o sistema de producción de ácido nítrico y/o amoníaco, tal como la provisión o conversión de una corriente de fluido que contiene oxígeno y/o  $\text{N}_2$  en estado líquido y, posteriormente, la presurización de las corrientes líquidas, en particular, seguido del calentamiento adicional de la corriente líquida presurizada para evaporar y recalentar la corriente líquida presurizada.

En la Figura 1, se muestra una realización de la producción de amoníaco y ácido nítrico integrada, que ilustra un concepto principal, tal como se describe en el presente documento. En contraste con el proceso de producción integrada de flujo de materiales y energía considerado en el presente documento, en el estado de la técnica actual, el proceso de producción de ácido nítrico tradicional, el extremo delantero que produce amoníaco normalmente se separa del extremo trasero que prepara ácido nítrico, con poca integración: ambos procesos están diseñados y optimizados para mantenerse y operarse esencialmente solos.

Tal como se muestra en la Figura 1A, se suministra energía/electricidad de fuentes renovables a una unidad de electrólisis y a la unidad de separación de aire, para la producción de hidrógeno y nitrógeno, respectivamente. Además, tanto la unidad de electrólisis como la unidad de separación de aire producen oxígeno. El hidrógeno y el nitrógeno se alimentan ambos a una unidad de producción de amoníaco, tal como un circuito de Haber Bosch. El amoníaco producido se suministra, a continuación, a un proceso de producción de ácido nítrico, donde este se quema con oxígeno y se convierte en ácido nítrico.

Este oxígeno se puede suministrar a través del aire, pero, ventajosamente, se usa el oxígeno generado mediante la unidad de electrólisis y/o la unidad de separación de aire, intensificando, por tanto, la producción de ácido nítrico. La combustión de amoníaco produce una gran cantidad de calor, que se convierte en electricidad, basándose en un proceso de producción de ácido nítrico con medidas de recuperación de energía potenciadas, tal como se describe en el presente documento. La electricidad generada se devuelve a los procesos de la producción de amoníaco que demandan electricidad, en particular, la electrólisis y la separación de aire.

Este concepto también se ilustra adicionalmente en la Figura 1B, que muestra una realización de la producción integrada de amoníaco y ácido nítrico de la presente solicitud, permitiendo la realización abordar al menos parcialmente los problemas de intermitencia de la energía renovable.

Se suministra energía/electricidad de fuentes renovables a una unidad de electrólisis, una unidad de licuefacción de aire y una unidad de separación de aire. El aire (u oxígeno), el  $\text{N}_2$  y el amoníaco líquidos se pueden preparar y almacenar mientras haya un excedente de energía renovable. Por ejemplo, el aire líquido se puede almacenar en recipientes grandes a  $-190^\circ\text{C}$  y aproximadamente 500 kPa (5 bares), contribuyendo, por tanto, a superar los problemas de intermitencia con la energía renovable. El aire líquido puede ser consumido por la unidad de separación de aire, a fin de generar  $\text{N}_2$  (para la producción de amoníaco) y  $\text{O}_2$  líquido (por ejemplo, para la combustión/oxidación de amoníaco en la planta de ácido nítrico). Ventajosamente, tanto el nitrógeno como el oxígeno líquidos se pueden almacenar fácilmente. El hidrógeno y el nitrógeno se proporcionan a un sistema de producción de amoníaco y el amoníaco producido también se puede almacenar y, por tanto, actúa como medio de almacenamiento de energía intermedio: la combustión de amoníaco produce una gran cantidad de calor, que se puede convertir en electricidad, tal como se describe en el presente documento. Este proceso es particularmente relevante cuando la energía renovable no está disponible o solo está disponible de manera limitada. Tal como se detalla adicionalmente en el presente documento, el uso de aire líquido u oxígeno líquido (en la producción de ácido

nítrico) y  $N_2$  líquido (en la producción de amoníaco) contribuyen a la eficacia energética y recuperación de energía del proceso descrito en la presente solicitud.

Las diferentes realizaciones de un proceso y sistema de producción de ácido nítrico descrito en el presente documento, en particular, un proceso y sistema de producción de amoníaco y ácido nítrico combinado e integrado, presentan numerosas ventajas:

los procesos y sistemas contemplados en el presente documento usan de manera eficaz la energía almacenada en el amoníaco. En particular, la energía recuperada en la producción de ácido nítrico de la combustión de amoníaco, en particular, en forma de electricidad, que se devuelve a la producción de amoníaco basada en la electrólisis (u otros procesos corriente arriba de la producción de ácido nítrico, por ejemplo, la licuefacción de aire), contribuye a superar la intermitencia de energía cuando se usan fuentes de energía renovables. En algunas realizaciones, el amoníaco producido en la sección de producción de amoníaco de un proceso de producción de amoníaco y ácido nítrico combinado e integrado se puede considerar un medio de almacenamiento de energía intermedio, como una batería, a usar cuando no esté disponible suficiente energía renovable, a fin de mantener una buena utilización del electrolizador y el circuito de amoníaco de Haber-Bosch. La combustión de amoníaco proporciona, por tanto, la electricidad para la producción de amoníaco de extremo delantero, de manera concomitante con la producción de ácido nítrico.

Esta permite la instalación de plantas químicas a pequeña escala para la producción de amoníaco, ácido nítrico y/o fertilizantes a base de nitrato, que se pueden localizar cerca del mercado. De esta manera, se pueden superar los altos costes de transporte y manipulación asociados a las plantas a gran escala que normalmente se localizan alejadas de los mercados finales. La electrificación de la producción de  $H_2$  a través de electrolizadores puede contribuir a la habilitación de tales plantas flexibles de menor escala mediante la simplificación de la tecnología de producción de amoníaco y mediante la capitalización de la energía barata renovable e intermitente.

La presente solicitud proporciona, en general, un proceso y sistema para la producción de ácido nítrico con una eficacia energética potenciada, en particular, un proceso y sistema de producción de amoníaco y ácido nítrico integrado y combinado con una eficacia energética potenciada, que comprende el uso de corrientes de aire, oxígeno, nitrógeno y/o amoníaco líquidas, en particular, en donde las corrientes líquidas se presurizan en un estado líquido y, posteriormente, se calientan para evaporar el líquido.

El uso de los gases licuados, tal como se contempla en el presente documento, contribuye de diferentes maneras a la eficacia y recuperación energéticas del proceso de producción de ácido nítrico. Esto resulta particularmente ventajoso cuando los gases se licúan usando energía renovable, en particular, cuando la energía renovable está ampliamente disponible. La compresión o presurización de un líquido requiere significativamente menos energía que la presurización de un gas en la misma medida. En particular, el uso del oxígeno líquido, por lo tanto, permite recuperar una cantidad significativa de energía (por ejemplo, aproximadamente  $2,4 \text{ MWh/t}_{\text{NH}_3}$ ).

Además, el líquido presurizado se puede evaporar y calentar adicionalmente usando el calor residual de baja calidad generado en el proceso de ácido nítrico, tal como el calor recuperado en las secciones de oxidante, condensador y absorbedor del proceso de ácido nítrico. El gas presurizado y calentado así obtenido se puede expandir posteriormente sobre una turbina, que está particularmente acoplada operativamente a una turbina para generar electricidad. De esta manera, el calor de baja calidad del proceso de ácido nítrico se puede mejorar en energía eléctrica.

Un primer aspecto de la presente solicitud proporciona un proceso para la producción de ácido nítrico, que comprende las etapas de

- (i) opcionalmente, proporcionar  $H_2$  y  $N_2$  a una unidad de producción de amoníaco o un circuito de síntesis de Haber-Bosch y generar amoníaco en los mismos;
- (ii) proporcionar una mezcla de combustión que comprende amoníaco y un fluido que contiene oxígeno, tal como aire u oxígeno, al quemador de amoníaco y combustionar catalíticamente el amoníaco en el quemador de amoníaco, generando, de este modo, una corriente de gas de combustión de amoníaco, que comprende óxido nítrico;
- (iii) oxidar el óxido nítrico en la corriente de gas de combustión de amoníaco, tal como en una unidad de oxidante dedicada, obteniendo, de este modo, una corriente que comprende dióxido de nitrógeno;
- (iv) absorber el dióxido de nitrógeno en una solución acuosa en un absorbedor, formando, de este modo, una corriente acuosa que comprende ácido nítrico;

en donde el proceso comprende, además, la etapa de proporcionar o convertir el  $N_2$  y/o el fluido que contiene oxígeno, tal como el aire, el aire enriquecido con oxígeno o el oxígeno, en estado líquido, antes de su introducción en el circuito de Haber-Bosch y el quemador de amoníaco, respectivamente.

El proceso de la presente solicitud comprende, además, las etapas de: (v) presurizar el  $N_2$  líquido de la Etapa (i) y/o el fluido que contiene oxígeno líquido de la Etapa (ii), obteniendo, de este modo, una o más corrientes líquidas presurizadas; y

(vi) evaporar posteriormente la una o más corrientes líquidas presurizadas, obteniendo, de este modo, una o más corrientes presurizadas evaporadas (es decir, en estado gaseoso) y, opcionalmente, calentar adicionalmente la una o más corrientes presurizadas evaporadas, particularmente usando el calor recuperado del proceso de producción de amoníaco y/o ácido nítrico, tal como del proceso de combustión de amoníaco, la unidad de oxidante y/o el absorbedor de ácido nítrico, a través de uno o más intercambiadores de calor;

(vii) expandir las corrientes presurizadas evaporadas calentadas sobre una turbina, que está particularmente acoplada operativamente a un generador para la generación de electricidad. En realizaciones específicas, el N<sub>2</sub> y/o el gas que contiene oxígeno presurizado evaporado calentado se expande sobre una turbina, que está particularmente acoplada operativamente a un generador para la generación de electricidad, antes de la introducción del N<sub>2</sub> al proceso de Haber Bosh o la introducción del aire u oxígeno en el quemador de amoníaco. En determinadas realizaciones, la expansión de las corrientes presurizadas evaporadas calentadas, en particular, la expansión del gas que contiene oxígeno presurizado evaporado calentado, se produce en dos o más fases.

Ventajosamente, en este proceso, el calor residual, en particular, el calor residual de baja calidad, generado en el proceso de ácido nítrico (en la combustión de amoníaco, en la oxidación de NO y/o en la absorción de NO<sub>2</sub> en agua) y la producción de amoníaco (por ejemplo, el calor residual generado mediante una unidad de electrólisis) se puede recuperar de manera eficaz y convertir en energía eléctrica, debido a la alta diferencia de temperatura entre el calor residual (de baja calidad) y los gases licuados presurizados. Tal como se usa en el presente documento, la expresión "calor residual de baja calidad" se refiere al calor a una temperatura por debajo de 100 °C. Ventajosamente, la electricidad generada se puede utilizar, por ejemplo, al menos parcialmente para la operación de la unidad de electrólisis y/o la unidad de separación de aire. Los gases licuados se pueden utilizar en la producción de ácido nítrico a partir de amoníaco y/o en la producción de amoníaco a partir de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>.

Por consiguiente, determinadas realizaciones del aspecto actual contemplado en el presente documento se refieren, en general, a un proceso o sistema de ácido nítrico, en donde un fluido que contiene oxígeno líquido, tal como aire líquido o aire enriquecido con oxígeno líquido, se usa para potenciar la eficacia energética y la recuperación de energía de la producción de ácido nítrico. Tal proceso para la producción de ácido nítrico comprende las etapas de:

(i) proporcionar un fluido que contiene oxígeno líquido (un gas que contiene oxígeno licuado), en particular, a presión ambiente y, posteriormente, presurizar el fluido que contiene oxígeno líquido hasta una presión de al menos 5.000 kPa (50 bares), tal como al menos 10.000 o 15.000 kPa (100 o 150 bares), particularmente hasta una presión de entre 15.000 y 25.000 kPa (150 o 250 bares), tal como alrededor de 20.000 kPa (200 bares);

(ii) evaporar el fluido que contiene oxígeno líquido presurizado mediante el calentamiento del fluido que contiene oxígeno líquido presurizado mediante el calor residual de baja calidad, producido corriente abajo del quemador de amoníaco del proceso de ácido nítrico, y el calentamiento/recalentamiento adicional del fluido que contiene oxígeno presurizado evaporado, particularmente mediante el calor residual del proceso del ácido nítrico;

(iii) expandir el fluido que contiene oxígeno gaseoso presurizado caliente sobre una turbina, generando, por tanto, una corriente de fluido que contiene oxígeno enfriado que tiene una presión de entre 1.000 y 3.000 kPa (10 y 30 bares) y una temperatura de entre -180 °C y 25 °C, y, en particular, recuperar la energía, es decir, la electricidad, mediante el acoplamiento operativo de la turbina a un generador;

(iv) opcionalmente, recalentar la corriente de fluido que contiene oxígeno enfriado mediante corrientes de calor residual hasta una temperatura de entre 25 °C y hasta 300 °C o incluso por encima de 300 °C, mezclar el fluido que contiene oxígeno calentado con amoníaco y proporcionar la mezcla de fluido que contiene amoníaco/oxígeno al quemador de amoníaco;

(v) quemar catalíticamente la mezcla de amoníaco/fluido que contiene oxígeno en un quemador de amoníaco, formando, de este modo, una corriente que comprende óxido nítrico que oxida posteriormente el óxido nítrico en dióxido de nitrógeno y que absorbe el dióxido de nitrógeno en agua, produciendo, de este modo, ácido nítrico.

En realizaciones particulares, el fluido que contiene oxígeno es aire o aire enriquecido con oxígeno.

En realizaciones particulares, los gases de combustión que salen del quemador de amoníaco se someten a una o más etapas de enfriamiento antes de las etapas de oxidación y/o absorción y el calor retirado en estas etapas de enfriamiento antes de las etapas de oxidación y absorción se usa para proporcionar calor a las corrientes de fluido que contiene oxígeno de la Etapa (ii) y/o (iv). Por consiguiente, en realizaciones particulares, la Etapa (v) comprende, además, la etapa de recuperar el calor generado mediante la combustión de amoníaco, mediante la oxidación de NO, mediante la absorción de NO<sub>2</sub> y/o mediante la condensación a través de múltiples unidades de enfriamiento (es decir, intercambiadores de calor configurados para absorber el calor en una corriente de proceso de ácido nítrico, tal como la corriente de gas de combustión de amoníaco, la corriente de gas que comprende dióxido de nitrógeno y las corrientes de gas en la fase de absorción, enfriando y/o condensando, por tanto, la corriente de proceso de ácido nítrico) y proporcionar este calor a las corrientes de fluido que contiene oxígeno de la Etapa (ii) y (iv) para la evaporación del oxígeno, el aire enriquecido con oxígeno o el aire líquido presurizado y para el calentamiento o recalentamiento del oxígeno, el aire enriquecido con oxígeno o el aire líquido presurizado evaporado, a través de múltiples unidades de calentador (es decir, intercambiadores de calor configurados para proporcionar calor a la corriente de aire). Se entiende que una unidad de enfriamiento en el proceso de producción

de ácido nítrico está, por tanto, en conexión térmica con una unidad de calentamiento en contacto con la corriente de proceso de fluido (aire) que contiene oxígeno. En particular, una unidad de enfriamiento situada en una parte fría del proceso de producción de ácido nítrico (por ejemplo, con temperaturas entre 20 °C y 100 °C, tal como la etapa de condensación o absorción o después del condensador, que produce calor residual de baja calidad) está en conexión térmica con una unidad de calentamiento en contacto con una corriente de fluido (aire) que contiene oxígeno frío (por ejemplo, para la evaporación de la corriente de aire líquido presurizada); y/o una unidad de enfriamiento situada en una parte caliente del proceso de producción de ácido nítrico (por ejemplo, después del quemador de amoníaco o la sección de oxidación) está en conexión térmica con una unidad de calentamiento en contacto con una corriente de fluido (aire) que contiene oxígeno cálido o caliente (por ejemplo, para el calentamiento y el recalentamiento de la corriente de aire líquido presurizada evaporada).

Se entiende que la Etapa (v) puede corresponder a un flujo de proceso de ácido nítrico convencional, tal como se hace referencia en la sección de Antecedentes, es decir, que comprende un expansor de gas de cola y una caldera para extraer calor para vapor, que se puede usar posteriormente al menos parcialmente para producir energía eléctrica en un ciclo Rankine de vapor.

En realizaciones adicionales, el proceso y sistema de producción de ácido nítrico, tal como se contempla en el presente documento, se puede integrar con un proceso o sistema de producción de aire líquido, con el fin de reducir el requisito de energía en el proceso o sistema de licuefacción de aire.

Tal como ya se ha mencionado anteriormente, la recuperación de energía mediante el uso de gases licuados y la presurización del fluido líquido se puede implementar en la producción de amoníaco a partir de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> también.

Por consiguiente, determinadas realizaciones del aspecto actual de la presente solicitud se refieren, en general, a un proceso o sistema de producción de amoníaco, en particular, un proceso o sistema de amoníaco y ácido nítrico combinado, en donde se usa nitrógeno líquido para potenciar la eficacia energética y la recuperación de energía de la producción de amoníaco y/o ácido nítrico.

Tal proceso para la producción de amoníaco y, en particular, ácido nítrico comprende las etapas de:

- (i) proporcionar nitrógeno líquido, en particular, a presión ambiente y, posteriormente, presurizar el nitrógeno líquido hasta una presión de al menos 5.000 kPa (50 bares), tal como al menos 10.000 o 15.000 kPa (100 o 150 bares), particularmente hasta una presión de entre 15.000 y 25.000 kPa (150 o 250 bares), tal como alrededor de 20.000 kPa (200 bares);
- (ii) evaporar el nitrógeno líquido presurizado mediante el calentamiento del nitrógeno líquido presurizado, tal como en un condensador de amoníaco. Por tanto, se entiende que el nitrógeno criogénico se usa para condensar y recuperar el amoníaco producido en las etapas de proceso adicionales;
- (iii) mezclar la corriente de nitrógeno de la Etapa (ii) con gas de hidrógeno, que se ha presurizado, y con una corriente de reciclado comprimida, siendo generada la corriente de reciclado mediante una unidad de separación situada después del reactor de convertidor de amoníaco, obteniendo, de este modo, una mezcla de reacción gaseosa; y precalentar la mezcla de reacción gaseosa;
- (iv) suministrar la mezcla de reacción gaseosa de la Etapa (iii) a un reactor de conversión de amoníaco, que forma parte de un circuito de síntesis de Haber-Bosch, y generar una corriente de producto que contiene amoníaco en el convertidor de amoníaco;
- (v) retirar el calor de la corriente de gas que contiene amoníaco a través de uno o más intercambiadores de calor y separar el amoníaco del nitrógeno y el hidrógeno sin reaccionar en una unidad de separación, obteniendo, de este modo, una corriente de reciclado que comprende nitrógeno e hidrógeno y una corriente de amoníaco, que comprende amoníaco líquido, en donde la corriente de amoníaco líquido se usa para recuperar calor del proceso por medio de uno o más intercambiadores de calor y una o más turbinas, que, en particular, se acoplan operativamente a un generador.

En realizaciones particulares, la corriente de amoníaco líquido se hace pasar al menos parcialmente a un ciclo Rankine de amoníaco o un sistema de recuperación de energía basado en el ciclo Rankine de amoníaco. Ventajosamente, el sistema de recuperación de energía basado en el ciclo Rankine de amoníaco comprende un condensador de amoníaco adaptado para intercambiar calor con el nitrógeno líquido presurizado, tal como se detalla en la Etapa (ii).

Ventajosamente, mediante la implementación de un ciclo Rankine de amoníaco en el proceso de producción de amoníaco, este puede reemplazar un ciclo Rankine de vapor, reduciendo, por tanto, la complejidad y el coste de tener un sistema de vapor adicional. Además, un ciclo Rankine de amoníaco que usa amoníaco como fluido de trabajo es más eficaz en la captura de calor de baja calidad en vista del punto de ebullición más bajo del amoníaco. Se entiende que el uso del ciclo Rankine de amoníaco no se limita al proceso de producción de amoníaco, sino que se puede usar más ampliamente en todo el proceso. Este se puede usar para capturar el calor de baja calidad de diversas fuentes en el proceso global, tal como de los electrolizadores, el calor que queda en el proceso de ácido nítrico y los compresores. La energía recuperada en este caso se puede usar para, por ejemplo, la alimentación del electrolizador y/o las etapas de consumo de energía de los procesos de amoníaco o ácido nítrico.

Otro aspecto de la presente solicitud proporciona un sistema para la producción de ácido nítrico configurado para la ejecución de un proceso para la producción de ácido nítrico de acuerdo con la presente invención, comprendiendo el sistema

- 5
- un quemador de amoniaco, que comprende un catalizador, configurado para la combustión catalítica de una mezcla de combustión que comprende amoniaco y aire y/u oxígeno a una presión elevada para formar una corriente que comprende óxido nítrico;
  - 10 - una línea de suministro de oxígeno, configurada para la provisión de un fluido que contiene oxígeno, tal como O<sub>2</sub>, aire o aire enriquecido con oxígeno, al quemador de amoniaco;
  - una línea de suministro de amoniaco, configurada para la provisión de amoniaco al quemador de amoniaco;
  - una línea de salida de gas de combustión de amoniaco, configurada para la retirada de una corriente que comprende óxido nítrico del quemador de amoniaco, en conexión fluida a través de una sección de oxidación o
  - 15 configurado para la absorción de dióxido de nitrógeno en agua, produciendo, de este modo, ácido nítrico; en donde la línea de suministro de oxígeno comprende un sistema de recuperación de energía, en donde el sistema de recuperación de energía comprende, consecutivamente, un medio para la presurización del fluido que contiene oxígeno en estado líquido, tal como una bomba criogénica; uno o más calentadores configurados para la evaporación y el calentamiento adicional del fluido que contiene oxígeno presurizado y una primera turbina, tal como una turbina de alta presión, configurada para la expansión del fluido que contiene oxígeno (en forma gaseosa), acoplada operativamente a un generador, en donde una salida de la turbina está en conexión fluida con una entrada del quemador de amoniaco, en donde el sistema comprende, además:
  - 20 - una o más de una unidad de electrólisis, una unidad de licuefacción de aire y/o una unidad de separación de aire, en donde la unidad de electrólisis se configura para la descomposición de agua en H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> por medio de una corriente eléctrica, en donde la unidad de licuefacción de aire se configura para la conversión de aire gaseoso en aire líquido, en conexión fluida con la línea de suministro de oxígeno; y en donde la unidad de separación de aire se configura para la separación de aire en O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, en particular, en O<sub>2</sub> líquido y N<sub>2</sub> líquido; y en donde la primera turbina se acopla operativamente a un primer generador, en donde dicho primer generador está en conexión eléctrica con la unidad de electrólisis y/o la unidad de separación de aire y/o la unidad de licuefacción de aire.
  - 25
  - 30

En realizaciones particulares, el sistema de producción de ácido nítrico comprende, además, un sistema de producción de amoniaco, comprendiendo el sistema de producción de amoniaco un circuito de síntesis de Haber-Bosch, comprendiendo el circuito de síntesis de Haber-Bosh una entrada de H<sub>2</sub>; una entrada de N<sub>2</sub>; una unidad de convertidor configurada para la conversión catalítica de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> en amoniaco, obteniendo, de este modo, una mezcla de producto de amoniaco, comprendiendo la unidad de convertidor una salida de mezcla de producto de amoniaco; un separador localizado corriente abajo del convertidor y configurado para la separación de la mezcla de producto de amoniaco en una corriente de amoniaco y una corriente que comprende H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> sin reaccionar; medios para el reciclado del H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> sin reaccionar y una salida de amoniaco; en donde la salida de amoniaco está en conexión fluida con la línea de suministro de amoniaco. En realizaciones particulares, el sistema de producción de amoniaco comprende, además, un sistema de recuperación de energía basado en el ciclo Rankine de amoniaco que está en conexión fluida con la salida de amoniaco, que comprende una tercera turbina configurada para extraer trabajo del fluido de trabajo de amoniaco; un intercambiador de calor, un condensador de amoniaco en conexión térmica con la línea de suministro de N<sub>2</sub>, en particular, en conexión térmica con la línea de suministro de N<sub>2</sub> corriente abajo de los medios para la presurización del N<sub>2</sub> líquido en la línea de suministro de N<sub>2</sub>; una bomba de circulación de amoniaco; y una salida de amoniaco en conexión fluida con la línea de suministro de amoniaco.

El sistema de acuerdo con la presente invención puede comprender una o más unidades adicionales, tales como uno o más intercambiadores de calor, configurados para la captura del calor residual del proceso de combustión de amoniaco, y un condensador, para la condensación del agua en el gas de combustión de amoniaco, opcionalmente acoplado térmicamente con los calentadores localizados en la línea de suministro de oxígeno; una unidad de mezclado en conexión fluida y ligada a la línea de suministro de amoniaco y la línea de fluido que contiene oxígeno; un medio para la presurización del N<sub>2</sub> líquido en la línea de suministro de N<sub>2</sub> y, en particular, un medio para intercambiar calor entre el nitrógeno líquido presurizado y el sistema de recuperación de energía basado en el ciclo Rankine de amoniaco; una segunda turbina configurada para la expansión de la corriente de amoniaco separada en el separador, particularmente acoplada operativamente a un generador.

En algunas realizaciones, el quemador de amoniaco está configurado para la operación a una presión de al menos 110 kPa (1,1 bares), más en particular al menos 120 kPa (1,2 bares), al menos 130 kPa (1,3 bares), al menos 140 kPa (1,4 bares), al menos 150 kPa (1,5 bares), al menos 200 kPa (2,0 bares), al menos 250 kPa (2,5 bares), al menos 300 kPa (3,0 bares), al menos 400 kPa (4,0 bares), al menos 500 kPa (5,0 bares).

Los sistemas y métodos del presente aspecto permiten la producción de ácido nítrico de una manera más eficaz energéticamente. En particular, se recupera más energía liberada en las diversas etapas de proceso (combustión, oxidación y absorción). Esta energía extraída se puede convertir en energía eléctrica, usando generadores. La energía eléctrica se puede usar, por ejemplo, para alimentar electrolizadores de agua para la producción de

hidrógeno para su uso en la fabricación de amoníaco. Además, el aire, el nitrógeno y/o el amoníaco líquido se puede generar en excedente cuando la energía de fuentes renovables está ampliamente disponible y se puede almacenar fácilmente. Cuando la energía de fuentes renovables está disponible de manera insuficiente, el aire y el amoníaco almacenados se pueden usar para generar ácido nítrico, mientras que la energía recuperada, en particular, recuperada en el proceso de producción de ácido nítrico, se usa para alimentar los procesos corriente arriba (por ejemplo, la producción de amoníaco).

En realizaciones particulares, se usan turbinas comerciales convencionales. Esto permite la estandarización y, por lo tanto, reduce los costes relacionados con el uso de componentes únicos.

Los presentes sistemas y métodos son compatibles con la producción de ácido nítrico. Por consiguiente, las reducciones de costes que se relacionan con la curva de aprendizaje se pueden obtener mediante la preparación de muchas plantas de ácido nítrico estandarizadas idénticas.

El proceso y sistema de producción de ácido nítrico, en particular, el proceso y sistema de producción combinado e integrado de amoníaco y ácido nítrico, tal como se contempla en la presente solicitud en los diferentes aspectos y realizaciones descritas en el presente documento, puede comprender, además, una etapa y/o medios/sistemas para el procesamiento adicional del ácido nítrico en un producto de fertilizante, tal como un producto de fertilizante de nitrato de amonio o nitrato de calcio.

La presente invención se ilustra, además, mediante los siguientes Ejemplos y realizaciones ilustrativas.

### Ejemplos

#### Ejemplo 1

La Figura 2A muestra una realización de un proceso para la fabricación de ácido nítrico, tal como se proporciona en el presente documento, que representa la manera en la que se puede recuperar energía de la quema de amoníaco en la producción de ácido nítrico. El amoníaco se suministra a través de una línea de suministro de amoníaco (130), donde este se mezcla, en primer lugar, con el fluido que contiene oxígeno en la unidad de mezclado (150), antes de que este se alimente a través de un quemador (100), que comprende un catalizador. El gas de combustión de amoníaco sale del quemador (100) a través de la línea de salida de combustión de amoníaco (160). El fluido que contiene oxígeno, en particular, el aire, el aire enriquecido con oxígeno o el  $O_2$ , se alimenta a través de una línea de suministro de oxígeno (120) en forma líquida, en este caso, oxígeno líquido ( $O_2$ ) o aire líquido. El fluido que contiene oxígeno líquido se evapora y recalienta con la ayuda de uno o más calentadores (140) en la línea de suministro de oxígeno (120). El uno o más calentadores (140) restan calor de uno o más intercambiadores de calor (161) y/o el condensador (162) en la línea de salida de combustión de amoníaco (160). El fluido que contiene oxígeno supercalentado se expande sobre una primera turbina (200), antes de que este se mezcle con el amoníaco y se alimente al quemador (100). La primera turbina está acoplada mecánicamente a un generador (220), que se puede usar para producir energía eléctrica (E), una forma de energía reciclada. En determinadas realizaciones, la expansión del fluido que contiene oxígeno supercalentado se produce en dos o más fases, con el recalentamiento de la corriente de fluido que contiene oxígeno mediante un intercambiador de calor entre las diferentes fases de expansión. En otras realizaciones, la mezcla de amoníaco-aire también se puede calentar previamente antes de entrar en el quemador de amoníaco.

La Figura 2B muestra una realización de un proceso para la fabricación de ácido nítrico, tal como se proporciona en el presente documento, que representa el mismo principio para la recuperación de energía que en la Figura 2A, pero ahora se combina adicionalmente con un proceso de producción de amoníaco basado en la electrólisis. En la sección de producción de ácido nítrico, el gas de combustión de amoníaco se suministra a un oxidante (400) para la conversión de NO en  $NO_2$  y, posteriormente, a un absorbedor (500), donde el  $NO_2$  forma ácido nítrico tras la absorción en agua. El ácido nítrico puede salir del absorbedor (500) a través del conducto para ácido nítrico concentrado (510). El amoníaco suministrado se prepara en el lugar del sistema de ácido nítrico en un circuito de Haber-Bosch (700) integrado, en donde la salida de amoníaco (750) del circuito de Haber-Bosch está acoplada a la línea de suministro de amoníaco (130). Se suministra  $H_2$  al circuito de Haber-Bosch (700) a través de la entrada de  $H_2$  (710) y se produce en una unidad de electrólisis (800), en donde el agua se electroliza en  $H_2$  y  $O_2$ , usando al menos parcialmente energía renovable y energía eléctrica recuperada en el sistema de producción de ácido nítrico, tal como mediante la primera turbina (200) y el generador (220). La unidad de electrólisis (800) se integra en el sistema de producción de ácido nítrico, mediante el acoplamiento de la salida de  $H_2$  (810) de la unidad de electrólisis (800) con la entrada de  $H_2$  (710) del circuito de Haber-Bosch (700). El  $O_2$  formado en la unidad de electrólisis (800) se puede usar en el quemador (100). El aire se separa en una unidad de separador de aire (900) en la que el  $N_2$  sale de la unidad de separación de aire (900) a través de la salida de  $N_2$  (910); y el  $O_2$  que sale del separador de aire (900) a través de la salida de  $O_2$  (920). El separador de aire se integra en el sistema de producción de ácido nítrico, mediante el acoplamiento de la salida de  $N_2$  (910) del separador de aire (900) a la entrada de  $N_2$  (720) del circuito de Haber-Bosch (700) y mediante el acoplamiento de la salida de  $O_2$  (920) del separador de aire (900) a la línea de suministro de oxígeno (120). La unidad de separador de aire se puede alimentar al menos parcialmente mediante energía renovable (verde) o mediante energía eléctrica recuperada en cualquier otro sitio del sistema de producción

de ácido nítrico, por ejemplo, a través de la primera turbina (200), que está acoplada a un generador (220).

El amoníaco se puede almacenar en la línea de suministro de amoníaco, por ejemplo, en un tanque de compensación. El amoníaco almacenado se puede usar como reserva de energía, ya que este puede liberar mucha energía cuando se combustiona en el quemador en el proceso de producción de ácido nítrico.

En particular, el fluido que contiene oxígeno en la línea (120) se puede recalentar en diferentes fases, de manera consecutiva mediante múltiples calentadores.

Por ejemplo, un primer calentador se puede localizar en un denominado "circuito de enfriamiento", en donde el calor se absorbe en el absorbedor (500) y, posteriormente, este calor se usa para evaporar o calentar adicionalmente el fluido que contiene oxígeno presurizado. Por ejemplo, se puede usar un segundo calentador para calentar adicionalmente el fluido que contiene oxígeno evaporado, por medio del calor recuperado mediante un intercambiador de calor/condensador. Por ejemplo, un tercer calentador puede recuperar calor de un intercambiador de calor cerca del quemador de amoníaco. Normalmente, el fluido de trabajo en los diferentes circuitos de enfriamiento/calentamiento se hace circular mediante una bomba de circulación. El fluido de trabajo, tal como se usa en el presente documento, puede ser cualquier tipo de fluido de trabajo adecuado para este fin particular y elegido por parte de la persona experta, por ejemplo, agua/butano comprimido. El fluido de trabajo se elige normalmente basándose en la presión y la temperatura a las que se produce el intercambio de calor.

### Ejemplo 2

La Figura 3 muestra una realización de un proceso combinado para la fabricación de amoníaco y ácido nítrico, tal como se proporciona en el presente documento, en donde se usa una corriente de N<sub>2</sub> líquida y presurizada en la producción de amoníaco, que representa la manera en la que se puede recuperar energía en un circuito de Haber-Bosch (700) basándose en nitrógeno líquido. En esta realización, se suministra N<sub>2</sub> en forma líquida de un tanque de compensación de N<sub>2</sub> (721) o directamente de una unidad de separación de aire. El N<sub>2</sub> líquido se presuriza con una bomba criogénica (722) y, posteriormente, se evapora en un calentador/evaporador (797), antes de que este entre en el circuito de Haber-Bosch (700) a través de la entrada de N<sub>2</sub> (720). El N<sub>2</sub> se mezcla con H<sub>2</sub> a través de una entrada de H<sub>2</sub> (710) (en donde el gas de H<sub>2</sub> se comprime en el compresor de H<sub>2</sub> (711)) y con el N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> sin reaccionar reciclados, que se comprimen en un compresor (760). La mezcla que comprende N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> se calienta previamente en un calentador previo (790) antes de que esta entre en la unidad de convertidor (730), donde esta experimenta una reacción exotérmica, que produce una mezcla de reacción caliente de amoníaco y H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> sin reaccionar. La mezcla de reacción se proporciona a un separador (740), donde se separa una corriente de amoníaco del H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> sin reaccionar, siendo estos últimos reciclados y devueltos al circuito de Haber-Bosch. El calor se retira de la mezcla de reacción en diferentes fases. En una primera fase, el calor se retira mediante un intercambiador de calor (793), que funciona como supercalentador para la corriente de amoníaco separada (gaseosa, debido a que se evapora en el intercambiador de calor 791). En una segunda fase, el calor se retira en un calentador previo (790), donde el calor se transfiere a la mezcla de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> antes de que este entre en la unidad de convertidor (730). En una tercera fase, el calor se retira en un intercambiador de calor (791), que funciona como caldera para el amoníaco separado. En una cuarta fase, el amoníaco de la mezcla de reacción se condensa en un intercambiador de calor residual (792), antes de que este entre en un separador (740), que comprende una salida de amoníaco (750). En el separador (740), el amoníaco se separa como líquido, que se hierve en el evaporador/intercambiador de calor (791). El amoníaco gaseoso formado se recalienta en un intercambiador de calor (supercalentador) (793). El amoníaco supercalentado se expande sobre una tercera turbina (770), que está acoplada mecánicamente con un generador (771), para la recuperación de energía. El amoníaco expandido se enfría adicionalmente en un intercambiador de calor residual (794) y un intercambiador de calor enfriado por aire (795). El amoníaco enfriado entra en un sistema de recuperación de energía basado en el ciclo Rankine de amoníaco (780), donde este se hace circular mediante una bomba de circulación (783), se calienta mediante un intercambiador de calor residual (796), antes de que este se expanda sobre una cuarta turbina (781), que está mecánicamente acoplada a un generador (782) para la recuperación de energía. El amoníaco expandido se hace pasar a través de un condensador de amoníaco (797), en donde el calor se transfiere al N<sub>2</sub> suministrado. Parte del amoníaco líquido sale del sistema de recuperación de energía del ciclo Rankine de amoníaco (780) para almacenarse en un tanque de compensación de amoníaco (131) o para alimentarse al quemador (100) para la combustión catalítica en la producción de ácido nítrico.

## REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la producción de ácido nítrico, que comprende las etapas de:

- 5 (a) combustionar catalíticamente una mezcla de amoníaco y un fluido que contiene oxígeno, en particular, aire y/u oxígeno, en un quemador de amoníaco (100), formando, de este modo, una corriente de combustión de amoníaco;
- (b) oxidar al menos parcialmente el óxido nítrico en la corriente de combustión de amoníaco de la Etapa (a) dando dióxido de nitrógeno;
- 10 (c) absorber en una solución acuosa, por medio de un absorbedor (500), el dióxido de nitrógeno contenido en la corriente de la Etapa (b), formando, de este modo, una solución acuosa concentrada de ácido nítrico, en donde el fluido que contiene oxígeno se suministra al quemador de amoníaco (100) a través de una línea de suministro de fluido que contiene oxígeno (120), en donde, en al menos una sección de la línea de suministro de fluido que contiene oxígeno (120), el fluido que contiene oxígeno es un líquido;
- 15 (d) aumentar la presión del líquido que contiene oxígeno en la línea de suministro de fluido que contiene oxígeno (120), obteniendo, de este modo, un líquido que contiene oxígeno presurizado, en donde el líquido que contiene oxígeno presurizado tiene una presión de al menos 1.000 kPa (10 bares), particularmente de al menos 5.000 kPa (50 bares), más particularmente de al menos 10.000 kPa (100 bares) o al menos 15.000 kPa (150 bares) e incluso más particularmente tiene una presión entre 15.000 y 25.000 kPa (150 y 250 bares);
- 20 (e) evaporar o hervir el fluido que contiene oxígeno presurizado obtenido en la Etapa (d), en particular, mediante el calor recuperado corriente abajo del quemador de amoníaco (100), obteniendo, de este modo, un gas que contiene oxígeno presurizado; y
- (f) expandir el gas que contiene oxígeno presurizado sobre una primera turbina (200), que está particularmente acoplada a un generador (220) para la generación de electricidad.

25 2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el gas que contiene oxígeno presurizado de la Etapa (e) es calentado o supercalentado adicionalmente a través de uno o más calentadores (140) configurados para la recuperación de calor corriente abajo del quemador de amoníaco (100) antes de la expansión del gas que contiene oxígeno presurizado en la Etapa (f).

30 3. El proceso de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el calentamiento o recalentamiento adicionales del fluido que contiene oxígeno, en particular, el gas que contiene oxígeno presurizado, se lleva a cabo con el calor recuperado en el absorbedor (500); con el calor recuperado en un condensador (162) y/o con el calor recuperado en uno o más intercambiadores de calor (unidad de enfriamiento) (161) corriente abajo del quemador de amoníaco (100).

40 4. El proceso de acuerdo con las reivindicaciones 2 o 3, en donde el calentamiento o recalentamiento adicionales del fluido que contiene oxígeno, en particular, el gas que contiene oxígeno presurizado, se lleva a cabo gradualmente, mediante el uso, en primer lugar, del calor recuperado de baja calidad, tal como el calor recuperado de las unidades de absorbedor (500) y/o condensador (162), y, posteriormente, el uso del calor recuperado de una calidad superior que se recupera a través de los intercambiadores de calor (161) de la corriente que contiene NO o NO<sub>2</sub> antes del condensador (162) y el absorbedor (500).

50 5. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, la etapa de producir amoníaco, antes de la Etapa (a), mediante la conversión catalítica de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> en un circuito de síntesis de Haber-Bosch (700), en particular, en una unidad de convertidor (730) del mismo, obteniendo, de este modo, una corriente de producto de amoníaco, en donde se proporciona N<sub>2</sub> al circuito de síntesis de Haber-Bosch (700), a través de una línea de suministro de nitrógeno (720), en donde, en al menos una sección de la línea de suministro de nitrógeno (720), el nitrógeno está en estado líquido y en donde se aumenta la presión del nitrógeno líquido, en particular, mediante el uso de una bomba criogénica o un compresor (722), hasta una presión de al menos 1.000 kPa (10 bares), en particular hasta al menos 5.000 kPa (50 bares), más en particular hasta al menos 10.000 kPa (100 bares), incluso más en particular hasta al menos 15.000 kPa (150 bares) o hasta una presión que varía entre 15.000 kPa (150 bares) y 25.000 kPa (250 bares) y, en particular, la evaporación posterior del N<sub>2</sub> líquido presurizado, obteniendo, por tanto, N<sub>2</sub> gaseoso presurizado.

60 6. El proceso de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende la etapa de proporcionar la corriente de producto de amoníaco a un separador (740) para la separación del amoníaco, en particular, el amoníaco líquido obtenido mediante el enfriamiento de la corriente de producto de amoníaco, de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> sin reaccionar y, posteriormente, evaporar y, opcionalmente, calentar o recalentar el amoníaco separado, usando el calor recuperado en el proceso de producción de amoníaco y/o ácido nítrico.

7. El proceso de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende, además, la etapa de expandir el amoníaco separado, en particular, el amoníaco supercalentado, sobre una segunda turbina (770), que está en particular acoplada operativamente a un generador (771).

8. El proceso de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende, además, la etapa de enfriar y condensar el amoníaco expandido y hacer pasar el amoníaco condensado a un sistema que opera de acuerdo con un ciclo Rankine de amoníaco (780), en donde el amoníaco se usa como fluido de trabajo y una tercera turbina (781) se usa para capturar trabajo del fluido de trabajo de amoníaco.

9. Un sistema para la producción de ácido nítrico, particularmente acoplado operativamente a una fuente de energía renovable y particularmente configurado para la ejecución de un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende:

- un quemador de amoníaco (100), que comprende un catalizador, configurado para la combustión catalítica de una mezcla de combustión que comprende amoníaco y aire y/u oxígeno a una presión elevada, tal como a una presión de aproximadamente 500 (5,0) a aproximadamente 2.000 kPa (20,0 bares);

- una línea de suministro de oxígeno (120) en conexión fluida con el quemador de amoníaco (100), para la provisión de un fluido que contiene oxígeno, tal como O<sub>2</sub>, aire o aire enriquecido con oxígeno, al quemador de amoníaco (100);

- una línea de suministro de amoníaco (130), en conexión fluida con el quemador de amoníaco (100);

- una línea de salida de gas de combustión de amoníaco (160), para la retirada del quemador de amoníaco (100) de la corriente de gas de combustión de amoníaco, que comprende óxido nítrico, en conexión fluida a través de una sección de oxidación o unidad de oxidante (400), configurada para la oxidación del óxido nítrico en dióxido de nitrógeno, a un absorbedor (500), para la absorción de dióxido de nitrógeno en agua, produciendo, de este modo, ácido nítrico;

en donde la línea de suministro de oxígeno (120) comprende un sistema de recuperación de energía, en donde el sistema de recuperación de energía comprende, consecutivamente, un medio para la presurización del fluido que contiene oxígeno en estado líquido, tal como hasta una presión de al menos 1.000 kPa (10 bares), en particular hasta al menos 5.000 kPa (50 bares), más en particular hasta al menos 10.000 kPa (100 bares), incluso más en particular hasta al menos 15.000 kPa (150 bares) o hasta una presión que varía entre 15.000 kPa (150 bares) y 25.000 kPa (250 bares); uno o más calentadores (140) configurados para la evaporación y, en particular, el calentamiento adicional del fluido que contiene oxígeno presurizado, y una primera turbina (200) configurada para la expansión del fluido que contiene oxígeno en forma gaseosa, en donde una salida de la turbina está en conexión fluida con el quemador de amoníaco (100); caracterizado por que el sistema comprende, además:

- una o más de una unidad de electrólisis (800), una unidad de licuefacción de aire y/o una unidad de separación de aire (900), en donde la unidad de electrólisis (800) está configurada para la descomposición de agua en H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> por medio de una corriente eléctrica, en donde la unidad de licuefacción de aire está configurada para la conversión de aire gaseoso en aire líquido, en conexión fluida con la línea de suministro de oxígeno; y en donde la unidad de separación de aire (900) está configurada para la separación de aire en O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, en particular, en O<sub>2</sub> líquido y N<sub>2</sub> líquido; y

en donde la primera turbina (200) está acoplada operativamente a un primer generador (220), en donde dicho primer generador está en conexión eléctrica con la unidad de electrólisis (800) y/o la unidad de separación de aire (900) y/o la unidad de licuefacción de aire.

10. El sistema de producción de ácido nítrico de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende, además, un sistema de producción de amoníaco, comprendiendo el sistema de producción de amoníaco un circuito de síntesis de Haber-Bosch (700), comprendiendo el circuito de síntesis de Haber-Bosch (700) una entrada de H<sub>2</sub> (710); una entrada de N<sub>2</sub> (720); una unidad de convertidor (730) configurada para la conversión catalítica de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> en amoníaco, obteniendo, de este modo, una mezcla de producto de amoníaco, comprendiendo la unidad de convertidor una salida de mezcla de producto de amoníaco; un separador (740) localizado corriente abajo del convertidor y configurado para la separación de la mezcla de producto de amoníaco en una corriente de amoníaco y una corriente que comprende H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> sin reaccionar; medios para el reciclado del H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> sin reaccionar y una salida de amoníaco; en donde la salida de amoníaco está en conexión fluida con la línea de suministro de amoníaco (130) y, en particular, que comprende, además, un sistema de recuperación de energía basado en el ciclo Rankine de amoníaco (780) que está en conexión fluida con la salida de amoníaco, que comprende una tercera turbina (781) configurada para extraer trabajo del fluido de trabajo de amoníaco; un intercambiador de calor (796), un condensador de amoníaco (797) en conexión térmica con la línea de suministro de N<sub>2</sub>, en particular, en conexión térmica con la línea de suministro de N<sub>2</sub> corriente abajo de los medios para la presurización del N<sub>2</sub> líquido en la línea de suministro de N<sub>2</sub>; una bomba de circulación de amoníaco (783); y una salida de amoníaco en conexión fluida con la línea de suministro de amoníaco (130).

11. El sistema de producción de ácido nítrico de acuerdo con las reivindicaciones 9 o 10, que comprende, además, una o más de las siguientes unidades:

- una unidad de electrólisis (800), configurada para la descomposición del agua en H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> por medio de una corriente eléctrica, en particular, a partir de fuentes renovables, comprendiendo la unidad de electrólisis una entrada de agua y una salida de H<sub>2</sub> y una salida de O<sub>2</sub>; en donde la salida de H<sub>2</sub> de la unidad de electrólisis está en conexión fluida con la entrada de H<sub>2</sub> (710) del circuito de síntesis de Haber-Bosch (700);

- una unidad de separación de aire (900), configurada para la separación del aire en O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, en particular, en O<sub>2</sub>

## ES 2 914 511 T3

- líquido y N<sub>2</sub> líquido, comprendiendo la unidad de separación de aire una salida de O<sub>2</sub> y una salida de N<sub>2</sub>, en donde la salida de O<sub>2</sub> de la unidad de separación de aire está en conexión fluida con la línea de suministro de oxígeno y en donde la salida de N<sub>2</sub> de la unidad de separación de aire está en conexión fluida con la entrada de N<sub>2</sub> (720) del circuito de síntesis de Haber-Bosch (700);
- 5 - uno o más intercambiadores de calor (161), configurados para la captura del calor residual del proceso de combustión de amoníaco, y un condensador (162), para la condensación del agua en el gas de combustión de amoníaco (), en donde el uno o más intercambiadores de calor (161) y el condensador (162) están situados corriente abajo del quemador de amoníaco (100) y corriente arriba de la unidad de absorbedor (500) y en donde
- 10 el uno o más intercambiadores de calor (161) y el condensador (162) están acoplados, en particular, térmicamente al uno o más calentadores (140);
- una unidad de mezclado (150) en conexión fluida y ligada a la línea de suministro de amoníaco (130) y la línea de suministro de fluido que contiene oxígeno (120), comprendiendo la unidad de mezclado un recipiente, un conducto o un reactor configurados para mezclar el fluido que contiene oxígeno y el amoníaco para formar una mezcla de combustión, antes de la introducción de la mezcla de combustión en el quemador de amoníaco (100);
- 15 - un medio para la presurización del N<sub>2</sub> líquido en la línea de suministro de N<sub>2</sub> (720) hasta una presión de al menos 10.000 kPa (100 bares), particularmente hasta al menos 15.000 kPa (150 bares), más particularmente hasta una presión entre 15.000 kPa (150 bares) y 25.000 kPa (250 bares), tal como una bomba criogénica (722);
- y/o
- 20 - una segunda turbina (770) configurada para la expansión de la corriente de amoníaco separada en el separador (740), particularmente acoplada operativamente a un generador (771).

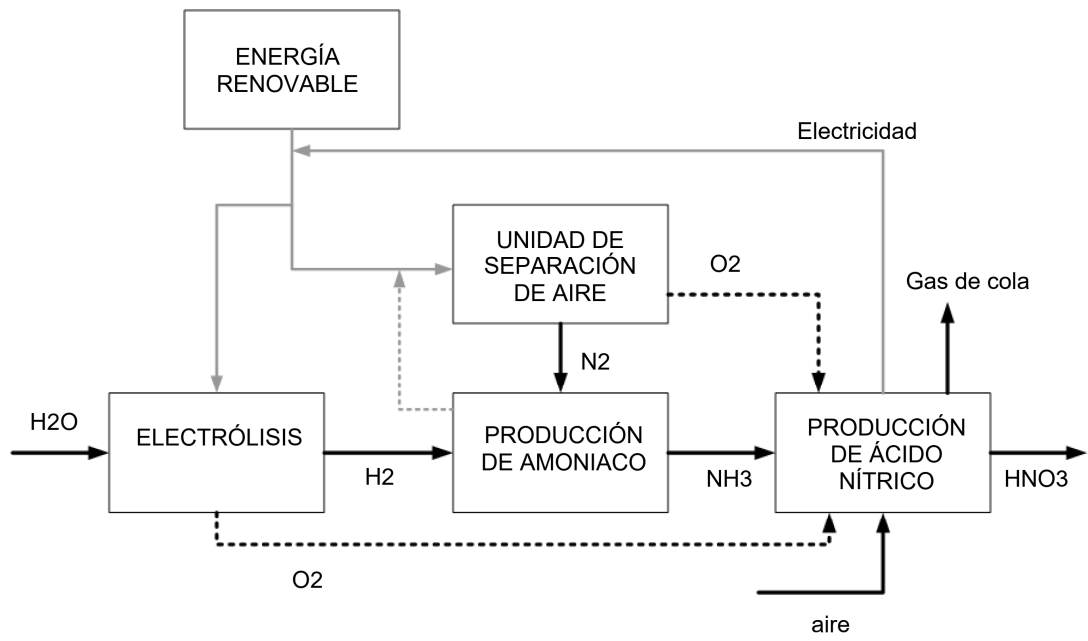


FIG. 1A

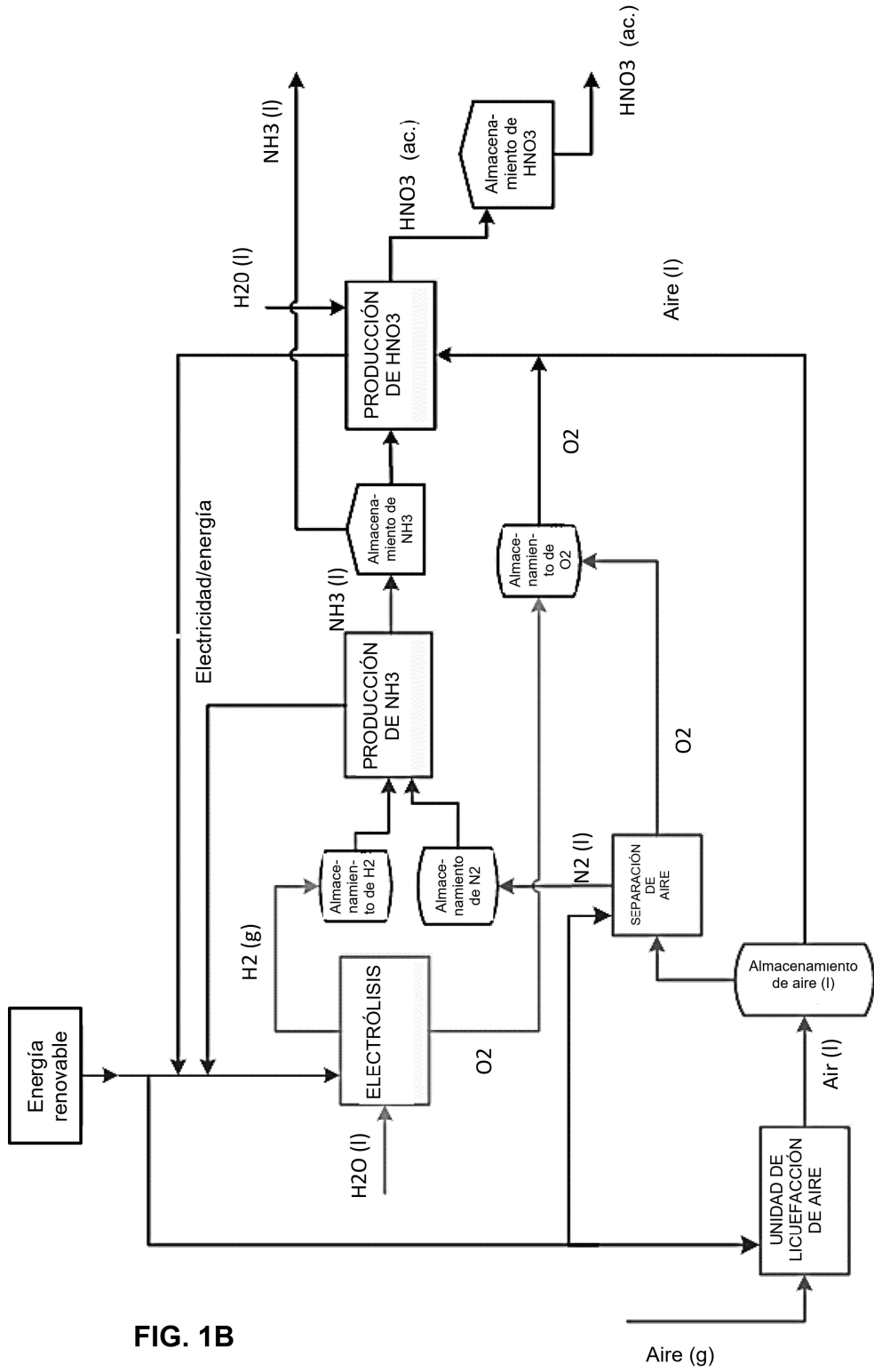


FIG. 1B

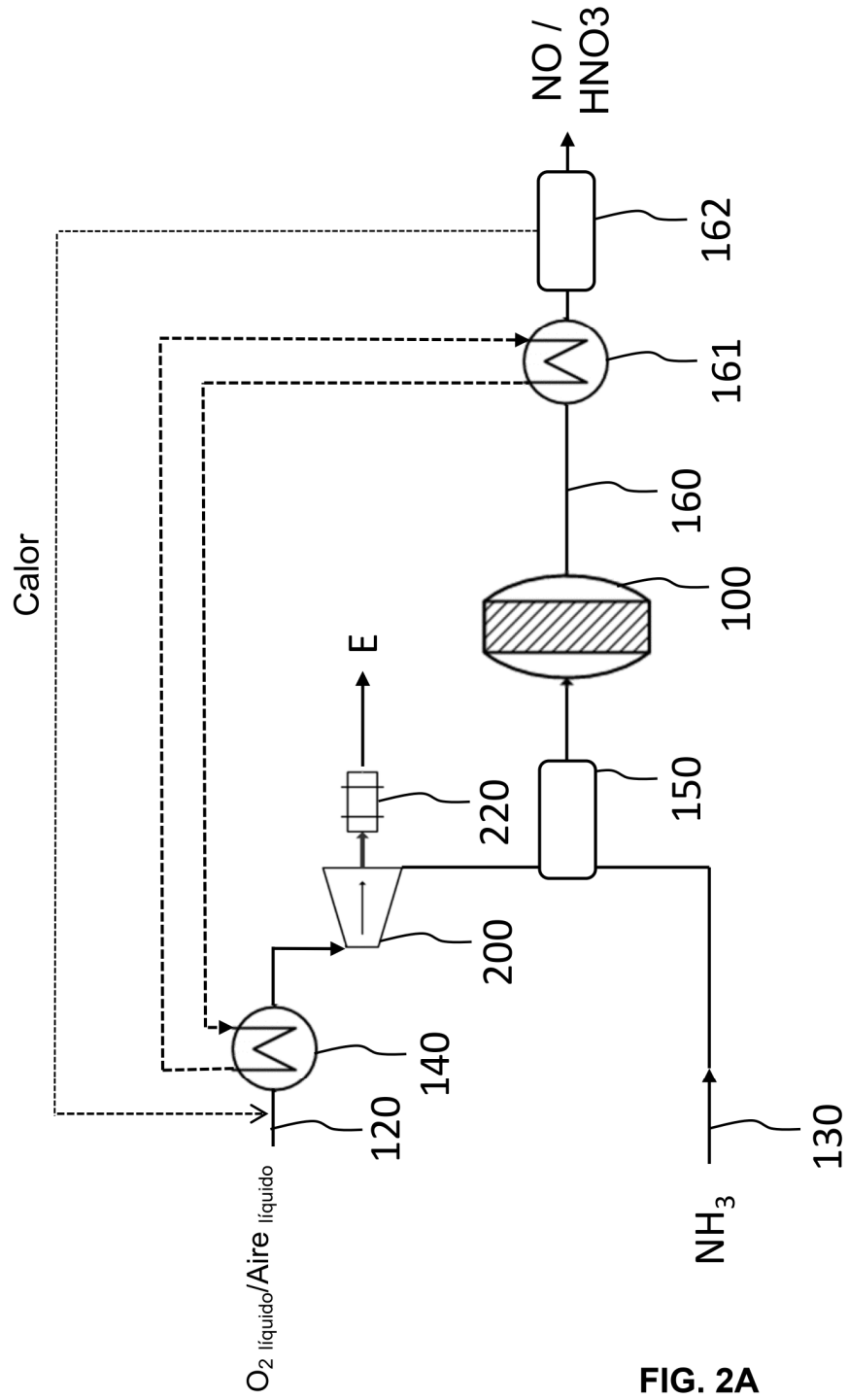


FIG. 2A

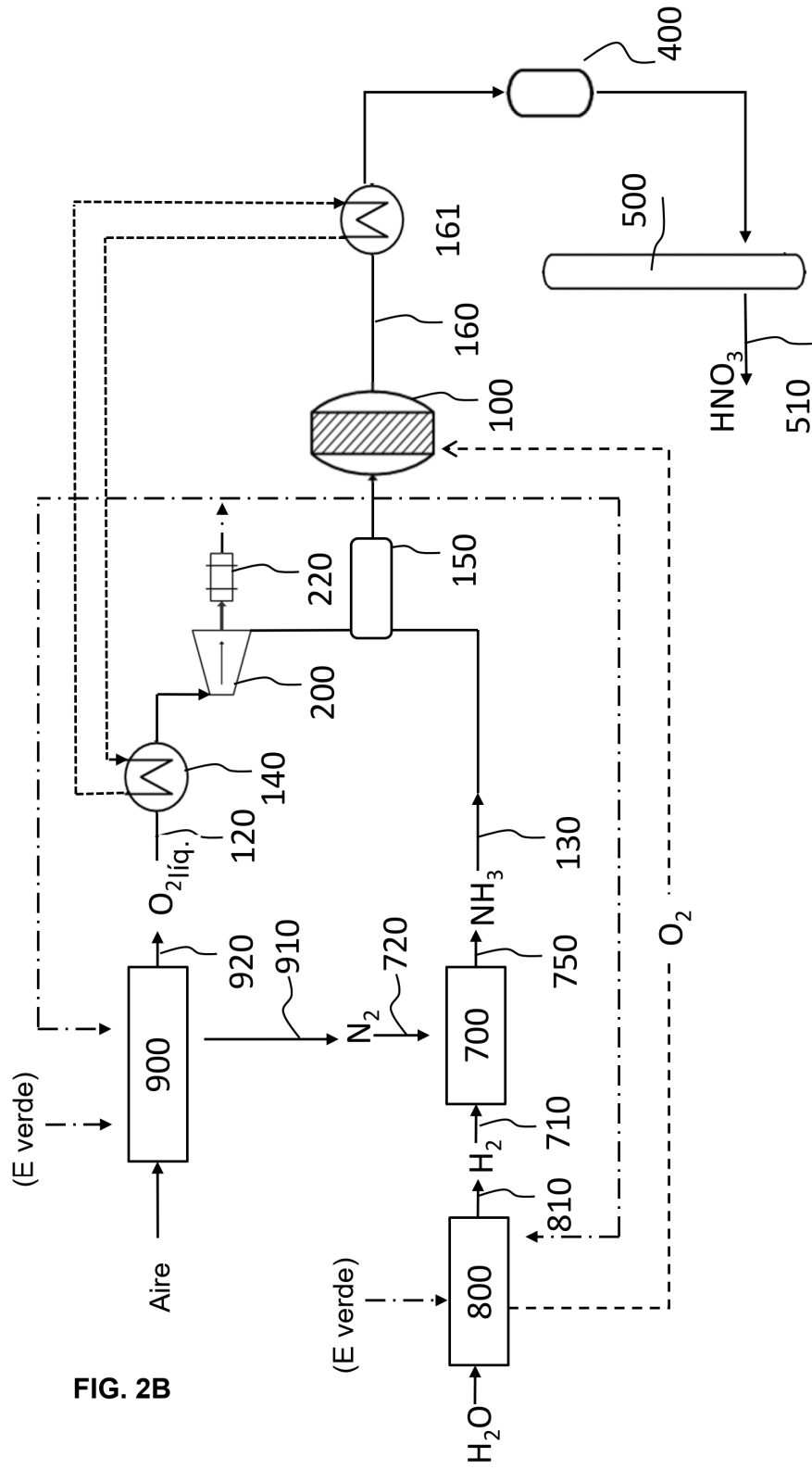


FIG. 2B

