

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 975 295**

51 Int. Cl.:

F25J 3/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2019** **E 19177393 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2024** **EP 3575717**

54 Título: **Procedimiento y aparato para separar el aire mediante un intercambiador de calor dividido**

30 Prioridad:

31.05.2018 US 201815993993

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

04.07.2024

73 Titular/es:

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, Pennsylvania 18195, US

72 Inventor/es:

ZHAO, QUIAO y
HERRON, DON MICHAEL

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 975 295 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

Procedimiento y aparato para separar el aire mediante un intercambiador de calor dividido

5 **Antecedentes**

La presente invención se refiere en general a un proceso y aparato para la separación de aire para producir un producto de oxígeno, y un producto de nitrógeno. Más específicamente, la presente divulgación se refiere a un proceso y aparato para la separación de aire para producir un producto de oxígeno, y un producto de nitrógeno utilizando un proceso y aparato de intercambio de calor mejorado.

Un proceso criogénico muy conocido para la producción tanto de oxígeno como de nitrógeno es el ciclo de doble columna. El proceso de ciclo de doble columna utiliza un sistema de columna de destilación que tiene una columna de mayor presión, una columna de menor presión y un calderín-condensador, que une térmicamente la columna de mayor presión con la columna de menor presión. Las primeras versiones del ciclo de doble columna producían tanto nitrógeno como oxígeno en forma de vapores procedentes de la columna de presión inferior. Más recientemente, se ha vuelto común retirar el producto de oxígeno del sistema de columna de destilación en forma de líquido, elevar la presión del oxígeno líquido utilizando una cabeza estática o una bomba, y vaporizar el oxígeno en un sistema intercambiador de calor principal, por ejemplo, enfriando y licuando una corriente de aire comprimido de alimentación. Esta técnica para producir oxígeno presurizado se denomina a menudo "compresión interna de oxígeno" o "LOX bombeado" y se ha analizado en la bibliografía.

La refrigeración es necesaria en una planta de separación de aire para compensar las fugas de calor alrededor de la planta y la producción de productos líquidos como el oxígeno líquido, el nitrógeno líquido y el argón líquido. La refrigeración puede proporcionarse mediante compresión, enfriamiento y expansión de parte del aire de alimentación mediante un expansor de aire. Esta corriente de aire de alimentación suele enfriarse en el sistema de intercambiador de calor principal hasta una temperatura intermedia antes de enviar la corriente de aire de alimentación al expansor. También se puede proporcionar refrigeración expandiendo una corriente de vapor enriquecida con nitrógeno procedente de la columna de mayor presión. Esta corriente enriquecida con nitrógeno se calienta a una temperatura intermedia en el sistema principal de intercambiadores de calor y se envía a un expansor de nitrógeno gaseoso (GAN). A continuación, la descarga del expansor GAN se calienta hasta alcanzar prácticamente la temperatura ambiente en el sistema intercambiador de calor principal.

Es conocido en la técnica que la forma más eficaz de transferir calor entre las diversas corrientes más calientes y las diversas corrientes más frías es intercambiar calor entre las corrientes en un único intercambiador de calor. De este modo, cada corriente más caliente puede transferir calor a múltiples corrientes más frías al mismo tiempo. Esta práctica se facilita mediante el uso de intercambiadores de calor de placas y aletas, que puede albergar cualquier número de flujos.

Sin embargo, ya que el número total de corrientes en el intercambiador de calor único es demasiado grande, resulta ventajoso, desde un punto de vista del capital, realizar la transferencia de calor en dos o más intercambiadores de calor en paralelo. Una vez hecho esto, el diseñador debe decidir cuál de los flujos del proceso debe pasar por cada intercambiador de calor. El objetivo es igualar el rendimiento térmico del sistema de intercambiadores múltiples al del intercambiador único.

Cuando se utiliza la técnica LOX bombeado, es habitual dividir el sistema de intercambiador de calor principal en dos intercambiadores de calor paralelos. Estos dos intercambiadores de calor suelen denominarse intercambiador de calor de alta presión e intercambiador de calor de baja presión. El intercambiador de calor de alta presión, como el nombre implica, contiene algunas corrientes clave de mayor presión, a saber, el fluido de oxígeno que hierve/calienta y la corriente de aire a presión que enfría/condensa. Una o más corrientes de gas de menor presión también pueden pasar a través del intercambiador de calor de alta presión para el equilibrio térmico. El intercambiador de calor de baja presión enfría el aire de alimentación de media presión y calienta varias corrientes de gas de menor presión. En función del coste y la eficiencia térmica, las corrientes de baja presión restantes pueden distribuirse entre el intercambiador de calor de alta presión y el de baja presión según se desee. Un diseño de intercambiador de calor principal dividido se divulga en la patente de estados unidos n.º 4.555.256 y la patente de Estados Unidos n.º 4133662A.

Es necesario enviar varias corrientes líquidas de la columna de mayor presión a la columna de menor presión. Estas corrientes incluyen una corriente líquida enriquecida con oxígeno procedente del fondo, una corriente líquida rica en nitrógeno procedente de la parte superior, y una corriente lateral líquida de la columna que está menos enriquecida en oxígeno que los fondos de las columnas. Debido a la gran diferencia de presión entre las columnas de mayor y menor presión, es bien conocido en la técnica emplear uno o más subenfriadores para subenfriar una o más de estas corrientes líquidas con el fin de mejorar la eficiencia global reduciendo las pérdidas instantáneas por reducción de presión. El enfriamiento se proporciona típicamente por intercambio de calor con una o más porciones de una corriente de gas rica en nitrógeno a menor presión producida desde la región superior de la columna de menor presión. El subenfriador también puede dividirse en dos subenfriadores separados, que pueden ser intercambiadores de calor independientes o integrarse como parte del intercambiador de calor de mayor presión o de menor presión.

La selección de las corrientes que pasan a los intercambiadores de calor de mayor y menor presión puede influir significativamente en la eficiencia del proceso global y ha sido un área activa de investigación en la técnica. Un método común divulgado en la bibliografía para equilibrar térmicamente las corrientes entre los intercambiadores de calor de menor y mayor presión es dividir una corriente de gas rica en nitrógeno de baja presión entre los dos intercambiadores de calor. Esta corriente rica en nitrógeno a baja presión es típicamente una corriente de gas rica en nitrógeno extraída de una región superior de la columna de menor presión, como el llamado flujo de residuos o el flujo de producto de nitrógeno a baja presión.

Otras divulgaciones relacionadas incluyen los documentos FR2778971 y EP2824407.

La industria desea mejorar la eficiencia de los procesos de producción de oxígeno de una planta de separación criogénica mediante un expansor GAN, un sistema de intercambiador de calor principal dividido, y una configuración de subenfriador dividido.

Breve resumen

La presente invención se refiere a la separación de una corriente de aire comprimido de alimentación para producir un producto de oxígeno, y productos de nitrógeno.

Un aspecto de la invención se refiere a un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y otro aspecto se refiere a un aparato de acuerdo con la reivindicación 6. En las reivindicaciones dependientes se describen realizaciones adicionales de acuerdo con la presente invención.

Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

La FIG. 1 es un diagrama de flujo de un proceso que no es de acuerdo con la presente invención para separar una corriente de aire de alimentación comprimido para producir un producto de oxígeno con intercambiadores de calor de alta presión y baja presión.

Las FIG. 2A y 2B son otros diagramas de flujo de proceso para un proceso que no es de acuerdo con la presente invención para separar una corriente de aire de alimentación comprimido para producir un producto de oxígeno con intercambiadores de calor de alta presión y baja presión. La FIG. 2C es un diagrama de flujo de un proceso de acuerdo con la presente invención.

Las FIG. 3A-D son diagramas de flujo de proceso para varias redes de intercambiadores de calor no de acuerdo con la presente invención.

La FIG. 4 es un diagrama de flujo de un proceso de separación de una corriente de aire comprimido de alimentación para producir un producto de oxígeno con intercambiadores de calor de alta presión y baja presión que no es de acuerdo con la presente invención.

La FIG. 5 es un diagrama de flujo de proceso para un proceso comparativo para separar una corriente de aire de alimentación comprimido para producir un producto de oxígeno que no es de acuerdo con la presente invención.

La FIG. 6 es un diagrama de flujo de un proceso que no es de acuerdo con la presente invención para separar una corriente de aire de alimentación comprimido para producir un producto de oxígeno.

La FIG. 7 es un diagrama de flujo de proceso para un proceso comparativo no de acuerdo con la presente invención para separar una corriente de aire de alimentación comprimido para producir un producto de oxígeno.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La descripción detallada a continuación proporciona únicamente realizaciones ilustrativas preferidas, y no tiene por objeto limitar el alcance, la aplicabilidad o la configuración de la invención que se define únicamente en las reivindicaciones.

Más bien, la descripción detallada a continuación de las realizaciones ilustrativas preferidas proporcionará a los expertos en la materia una descripción que les capacite para implementar las realizaciones ilustrativas preferidas de la invención, entendiéndose que pueden realizarse varios cambios en la función y disposición de los elementos sin desviarse del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones.

Los artículos "un" y "una", como se usan en el presente documento, significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica en las realizaciones de la presente invención descrita en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones. El uso de "un" y "una" no limita el significado a una sola característica, a menos que se indique específicamente dicho límite. El artículo "el/la" antes de sustantivos singulares o plurales o expresiones de sustantivos denota una característica especificada particular o características especificadas particulares y puede tener una connotación

singular o plural dependiendo del contexto en el que se usa.

El adjetivo "cualquiera" significa uno, alguno, o todos de forma indiscriminada de cualquier cantidad.

- 5 El término "y/o" colocado entre una primera entidad y una segunda entidad incluye cualquiera de los significados de (1) solo la primera entidad, (2) solo la segunda entidad, y (3) la primera entidad y la segunda entidad. El término "y/o" colocado entre las dos últimas entidades de una lista de 3 o más entidades significa al menos una de las entidades de la lista incluyendo cualquier combinación específica de entidades de dicha lista. Por ejemplo, "A, B y/o C" tiene el mismo significado que "A y/o B y/o C" y comprende las siguientes combinaciones de A, B y C: (1) solo A, (2) solo B, (3) solo C, (4) A y B y no C, (5) A y C y no B, (6) B y C y no A, y (7) A y B y C.

- 15 La expresión "al menos uno de" antes de una lista de características o entidades significa una o más de las características o entidades de la lista de entidades, pero sin incluir necesariamente al menos una de cada entidad que figura específicamente en la lista de entidades y sin excluir ninguna combinación de entidades de la lista de entidades. Por ejemplo, "al menos uno de A, B, o C" (o de forma equivalente "al menos uno de A, B, o C" o de forma equivalente "al menos uno de A, B y/o C") tiene el mismo significado que "A y/o B y/o C" y comprende las siguientes combinaciones de A, B y C: (1) solo A, (2) solo B, (3) solo C, (4) A y B y no C, (5) A y C y no B, (6) B y C y no A, y (7) A y B y C.

- 20 El término "pluralidad" significa "dos o más de dos".

- 25 La expresión "al menos una porción" significa "una porción o la totalidad". La al menos una porción de una corriente puede tener la misma composición con la misma concentración de cada una de las especies que la corriente de la que se deriva. La al menos una porción de una corriente puede tener una concentración diferente de especies distinta a la de la corriente de la que se deriva. La al menos una porción de una corriente puede incluir únicamente especies específicas de la corriente de la que se deriva.

- Como se usa en el presente documento, una "porción dividida" de una corriente es una porción que tiene la misma composición química y concentraciones de especies que la corriente de la que se tomó.

- 30 Como se usa en el presente documento, una "porción separada" de una corriente es una porción que tiene una composición química diferente y concentraciones de especies diferentes que la corriente de la que se tomó.

- 35 Como se usa en el presente documento, "primero", "segundo", "tercero", etc. se usan para distinguir entre una pluralidad de etapas y/o características, y no es indicativo del número total, o de la posición relativa en el tiempo y/o el espacio, a menos que se exprese expresamente como tal.

- 40 El término "agotado" significan que tienen una concentración de % en moles menor del componente indicado que la corriente original de la que se formó. "Agotado" no significa que la corriente carezca completamente del componente indicado.

- Los términos "rico" o "enriquecido" significan que tienen una concentración de % en moles superior del componente indicado que la corriente original de la que se formó.

- 45 Como se usa en el presente documento, la "transferencia indirecta de calor" es la transferencia de calor de una corriente a otra donde las corrientes no se mezclan. La transferencia indirecta de calor incluye, por ejemplo, transferencia de calor de un primer fluido a un segundo fluido en un intercambiador de calor donde los fluidos están separados por placas o tubos.

- 50 Como se usa en el presente documento, la "transferencia directa de calor" es la transferencia de calor de una corriente a otra en la que las corrientes están íntimamente mezcladas. La transferencia directa de calor incluye, por ejemplo, humidificación en donde el agua se pulveriza directamente en una corriente de aire caliente y el calor del aire evapora el agua.

- 55 A continuación, se describen algunas realizaciones ilustrativas. Aunque la invención es susceptible a diversas modificaciones y formas alternativas, se han mostrado realizaciones específicas de las mismas a modo de ejemplo en los dibujos y se describen en detalle en el presente documento. Debe entenderse que, sin embargo, la descripción que se hace en el presente documento de las realizaciones específicas no tiene por objeto limitar la invención a las formas particulares divulgadas, sino por el contrario, la invención debe abarcar todas las modificaciones, equivalentes, y alternativas que caen dentro del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

- 60 En aras de la simplicidad y la claridad, las descripciones detalladas de dispositivos, circuitos y métodos bien conocidos se omiten para no oscurecer la descripción del presente proceso y aparato con detalles innecesarios.

- 65 Los presentes proceso y aparato se describen con referencia a las figuras, en donde los números de referencia similares se refieren a elementos similares en las figuras. Los números de referencia de los elementos comunes de las figuras pueden incluirse sin descripción explícita del elemento común al describir cada figura. La comprensión de

los elementos comunes se entiende fácilmente a partir de la descripción de los elementos en una figura relacionada.

Las FIG. 1, 2A-C, 3A-D y 4, ilustran varias realizaciones de un proceso y un aparato para la separación de una corriente de aire comprimido 105 de alimentación para producir un producto de oxígeno 170, y un producto de nitrógeno 180 opcional.

La corriente de aire comprimido 105 de alimentación puede formarse comprimiendo el aire 100 en un compresor de aire 102 principal y eliminando las impurezas, como CO₂ y H₂O del aire en la unidad de adsorción 104.

La corriente de aire comprimido 105 de alimentación se divide en dos o más porciones. Una primera porción 107a puede comprimirse en uno o más compresores de refuerzo 110 y la primera porción 107b comprimida pasa a un primer extremo (más caliente) de una primera sección de intercambiador de calor 184. La primera porción 107b se enfría en la primera sección 184 del intercambiador de calor, y posteriormente se retira de un segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor. La primera porción 107b comprimida puede condensarse, al menos parcialmente, en la primera sección 184 del intercambiador de calor. El estado termodinámico del fluido (107c) que sale del segundo extremo (más frío) de la sección 184 del intercambiador de calor es generalmente todo líquido para cualquier presión inferior a la presión crítica del aire. Para presiones superiores a la presión crítica del aire, la temperatura es generalmente tan fría o más fría que la temperatura crítica (aproximadamente -140 °C) y preferiblemente inferior a -160 °C. La primera sección del intercambiador de calor 184 puede ser parte o la totalidad de un intercambiador de calor de alta presión. El intercambiador de calor de alta presión puede ser un intercambiador de calor de placas y aletas o cualquier otro tipo de intercambiador de calor adecuado conocido en la técnica.

La primera porción 107c extraída del segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor pasa a un sistema de separación multicolumna que comprende una columna 188 de menor presión y una columna de mayor presión 190. La primera porción 107c puede pasar a la columna de mayor presión 190 y/o a la columna de menor presión del sistema de separación multicolumna. La primera porción 107c puede ser una corriente líquida, un fluido denso supercrítico, o una corriente parcialmente condensada. En las FIG. 1, 2A-C, 3A-D y 4, la primera porción 107c pasa a la columna de mayor presión 190. La primera porción 107c extraída del segundo extremo (más frío) del intercambiador de calor 184 puede expandirse antes de pasar a la columna de mayor presión 190 y/o a la columna de menor presión 188. La primera porción 107c de la corriente de aire comprimido 105 de alimentación puede expandirse en una válvula 112, expansor de fluido denso, u otro dispositivo conocido en la técnica para expandir un fluido. La primera porción 107c puede introducirse en la columna de mayor presión 190 y/o en la columna de menor presión 188 como alimentación de aire predominantemente líquido. En una alternativa (no mostrada) la primera porción 107c puede enfriarse en la primera sección de intercambio de calor 192 del subenfriador, complementando o sustituyendo el flujo 124. En otra alternativa (no mostrada), la primera porción 107c puede enfriarse en la segunda sección de intercambio de calor del subenfriador 194.

Una segunda porción 108a de la corriente de aire de alimentación comprimido 105 pasa a un primer extremo (más caliente) de una segunda sección de intercambiador de calor 186. La presión de la segunda porción 108a de la corriente de aire comprimido 105 de alimentación puede ser menor que la presión de la primera porción 107b de la corriente de aire comprimido de alimentación (105). La segunda porción 108a se enfría en la segunda sección 186 del intercambiador de calor y, posteriormente, se extrae de un segundo extremo (más frío) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor. El estado termodinámico del fluido que sale del segundo extremo (más frío) de la segunda sección del intercambiador de calor 186 es generalmente de presión subcrítica, típicamente de 4 a 10 atmósferas de presión, y generalmente no más de 10 % en moles de líquido, y preferiblemente no más de 3 % en moles de líquido. La segunda sección del intercambiador de calor 186 puede ser parte o la totalidad de un denominado intercambiador de calor de núcleo de menor presión. El intercambiador de calor de núcleo de menor presión puede ser un intercambiador de calor de placas y aletas o cualquier otro tipo de intercambiador de calor conocido en la técnica.

El intercambiador de calor de menor presión puede tener una presión de funcionamiento inferior a la del intercambiador de calor de mayor presión. Como resultado, el intercambiador de calor de menor presión puede ser una unidad de menor coste que el intercambiador de calor de mayor presión. Los sistemas de intercambiadores de calor que utilizan un intercambiador de mayor presión y un intercambiador de menor presión pueden ahorrar costes de capital en comparación con un sistema de intercambiadores de calor en el que todos los intercambiadores de calor están diseñados para funcionar a mayor presión.

La primera sección del intercambiador de calor 184 y la segunda sección del intercambiador de calor 186 forman parte de intercambiadores de calor separados física y termodinámicamente. El primer intercambiador de calor comprende la sección 184 del primer intercambiador y el segundo intercambiador de calor comprende la sección 186 del segundo intercambiador de calor. El primer intercambiador de calor puede estar dimensionado para presiones más altas que el segundo intercambiador de calor. Aunque resulta evidente para un experto en la materia, la primera sección del intercambiador de calor también está separada física y termodinámicamente de la segunda sección del intercambiador de calor.

La segunda porción 108b extraída del segundo extremo (más frío) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor pasa a la columna de mayor presión 190 del sistema de separación multicolumna.

Como se muestra en las FIG. 1, 2A, 2B, 2C y 4, una tercera porción 109a de la corriente de aire de alimentación comprimido 105 puede comprimirse en uno o más compresores de refuerzo 114 y pasar al primer extremo (más caliente) de la primera sección de intercambiador de calor 184. La tercera porción 109b puede enfriarse en la primera sección 184 del intercambiador de calor, y retirarse posteriormente de una posición intermedia entre el primer extremo (más caliente) y el segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor.

Mientras que el compresor de refuerzo 110 y el compresor de refuerzo 114 se muestran como máquinas separadas en las FIG. 1, 2A, 2B, 2C y 4, los dos compresores de refuerzo pueden ser una sola máquina. Tanto la corriente de aire de alta presión 107b como la corriente de aire de media presión 109b pueden estar a la misma presión y proceder de la descarga de la etapa final del compresor de refuerzo único. Como alternativa, la corriente 109b puede descargarse de una etapa intermedia de un compresor de refuerzo multietapa único y la corriente 107b de la etapa final del compresor de refuerzo multietapa único. Los compresores de refuerzo pueden accionarse por uno o ambos del expansor 132 o del expansor 116.

La tercera porción 109c extraída de la posición intermedia entre el primer extremo (más caliente) y el segundo extremo (más frío) de la primera sección de intercambiador de calor 184 puede expandirse en un expansor 116 donde se enfría adicionalmente, mientras produce trabajo. La tercera porción 109d después de expandirse puede pasar a la columna de mayor presión 190 y/o a la columna de menor presión 188. El expansor 116 puede ser un disipador, cargado por generador o cargado por proceso.

Como se muestra en las FIG. 1, 2A-C y 4, la tercera porción 109d después de expandirse y la segunda porción 108b pueden mezclarse antes de pasar a la columna de mayor presión 190. La corriente combinada que comprende la segunda porción 108b y la tercera porción 109d puede introducirse como aire de alimentación predominantemente vapor en la columna de mayor presión 190 a una elevación en la columna de mayor presión 190 inferior a la de la primera porción 107c de la corriente 105 de aire comprimido de alimentación.

Como se muestra en las FIG. 1, 2A-C y 4, una fracción enriquecida en oxígeno 122 se extrae como líquido de la sección inferior de la columna de mayor presión 190 y pasa a una columna de menor presión 188 del sistema de separación multicolumna. La fracción enriquecida con oxígeno 122 puede introducirse en una sección media de la columna de menor presión 188.

La columna de mayor presión 190 y la columna de menor presión 188 son columnas de destilación. Pueden construirse con sistemas y materiales bien conocidos en la técnica (por ejemplo: bandejas de tamiz, bandejas con tapón de burbujas, bandejas de válvulas, empaquetado aleatorio, empaquetado estructurado). La columna de mayor presión 190 se denomina "de mayor presión" porque tiene una presión de funcionamiento superior a la de la columna de menor presión 188. La columna de menor presión 188 se denomina "de menor presión" porque tiene una presión de funcionamiento inferior a la de la columna de mayor presión 190. El sistema de separación multicolumna también puede incluir una o más columnas adicionales para producir un subproducto de argón. Al menos una columna adicional puede ser una columna independiente, o parte de la columna de menor presión 188 en la que se instala una barrera física en la columna de menor presión para separar las secciones en la columna de menor presión.

Como se muestra en las FIG. 1, 2A-C y 4, una fracción rica en oxígeno 166 se extrae de una sección inferior de la columna de presión inferior 188. La fracción rica en oxígeno 166 pasa al segundo extremo (más frío) de la primera sección de intercambiador de calor 184, se calienta en la primera sección de intercambiador de calor 184, y posteriormente se retira del primer extremo (más caliente) de la primera sección de intercambiador de calor 184 como producto de oxígeno 170. La presión de la fracción rica en oxígeno 166 extraída de la columna de presión inferior 188 puede aumentarse haciendo pasar la fracción rica en oxígeno 166 a través de la bomba 168. La fracción rica en oxígeno 166 puede ser una corriente líquida o un fluido denso supercrítico.

Como se muestra en las FIG. 1, 2A-C y 4, una fracción 128a enriquecida con nitrógeno se extrae de la columna de mayor presión 190. Como se muestra en las figuras, la fracción 128a enriquecida con nitrógeno puede extraerse de la columna de mayor presión 190 a una elevación inferior a la elevación a la que se extrae la fracción 127 rica en nitrógeno. Como alternativa, la fracción enriquecida con nitrógeno 128a puede extraerse del mismo lugar que la fracción rica en nitrógeno 127 y tener la misma composición la fracción rica en nitrógeno 127.

La fracción enriquecida con nitrógeno 128a extraída de la columna de mayor presión 190 pasa al segundo extremo (más frío) de la primera sección de intercambiador de calor 184, se calienta en la primera sección 184 del intercambiador de calor, y se retira de una posición intermedia entre el primer extremo (más caliente) y el segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor.

La fracción enriquecida con nitrógeno 128b extraída de la posición intermedia entre el primer extremo (más caliente) y el segundo extremo (más frío) de la primera sección de intercambiador de calor 184 se expande en un expansor 132 para producir trabajo y reducir la presión de la fracción enriquecida con nitrógeno 128b. El expansor 132 puede ser un disipador, cargado por generador o cargado por proceso.

Al menos una primera porción 128e de la fracción 128c enriquecida con nitrógeno expandido pasa al segundo extremo (más frío) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor, se calienta en la segunda sección 186 del intercambiador de calor, y se retira del primer extremo (más caliente) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor. En las realizaciones mostradas en las FIG. 1, 2A, 2B y 3A-D, toda la fracción 128c enriquecida con nitrógeno expandido pasa al segundo extremo (más frío) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor. En las realizaciones mostradas en las FIG. 2C y 4, la fracción enriquecida con nitrógeno 128c se mezcla con otra corriente 152b, descrita a continuación, y una primera porción 128e de la fracción enriquecida con nitrógeno expandida 128c (como parte de la mezcla) pasa al segundo extremo (más frío) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor y una segunda porción 128d de la fracción enriquecida con nitrógeno expandida 128c (como parte de la mezcla) pasa al segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor.

En las realizaciones mostradas en las FIG. 2C y 4, una primera porción 128e de la fracción 128c enriquecida con nitrógeno expandido pasa al segundo extremo (más frío) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor, se calienta en la segunda sección del intercambiador de calor 186, y se retira del primer extremo (más caliente) de la segunda sección del intercambiador de calor 186 como parte de la corriente residual 260. Una segunda porción 128d de la fracción 128c enriquecida con nitrógeno expandido pasa al segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor, se calienta en la primera sección 184 del intercambiador de calor, y se retira del primer extremo (más caliente) de la primera sección 184 del intercambiador de calor como parte de la corriente residual 162.

Como se muestra en las FIG. 1, 2A-C y 4, puede retirarse un subproducto rico en nitrógeno 150 de la región superior de la columna de menor presión 188. El subproducto rico en nitrógeno 150 puede dividirse en una primera fracción 152a y una segunda fracción 151a. La región superior se define como la sección delimitada por un punto donde la corriente intermedia enriquecida con nitrógeno 124 entra en la columna de menor presión y el extremo superior de la columna de menor presión. Típicamente, el extremo superior es el lugar donde la corriente 148 entra en la columna de menor presión.

La primera fracción 152a del subproducto rico en nitrógeno 150 puede pasar a un primer extremo (más frío) de una primera sección 192 de intercambiador de calor subenfriador, calentarse en la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador, y retirarse de un segundo extremo (más caliente) de la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador.

En las realizaciones mostradas en las FIG. 1, 2A y 2B, la al menos una porción de la primera fracción 152b del subproducto rico en nitrógeno 150 pasa del segundo extremo (más caliente) de la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador al segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor, se calienta en la primera sección de intercambiador de calor 184, y se retira del primer extremo (más caliente) de la primera sección de intercambiador de calor 184 como un primer gas subproducto de descarga rico en nitrógeno 162.

En las realizaciones mostradas en las FIG. 2A y 2B, una segunda porción 152d de la primera fracción 152b del subproducto rico en nitrógeno 150 pasa del segundo extremo (más caliente) de la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador al segundo extremo (más frío) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor, se calienta en la segunda sección del intercambiador de calor 186, y se retira del primer extremo (más caliente) de la segunda sección del intercambiador de calor 186 como un tercer gas producto de descarga rico en nitrógeno 260.

En la realización mostrada en la FIG. 2B, la segunda porción 152d de la primera fracción 152b del subproducto rico en nitrógeno 150 se mezcla con la fracción expandida enriquecida en nitrógeno 128c procedente del expansor 132 y pasan juntas a través del segundo extremo (más frío) de la segunda sección del intercambiador de calor 186.

En las realizaciones mostradas en las FIG. 2C y 4, la primera fracción 152b del subproducto 150 rico en nitrógeno procedente del segundo extremo (más caliente) de la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador se mezcla con la fracción 128c enriquecida en nitrógeno procedente del expansor 132 para formar una mezcla 258 rica en nitrógeno. Una primera porción 259 de la mezcla rica en nitrógeno 258 pasa al segundo extremo (más frío) de la primera sección del intercambiador de calor 184, se calienta en la primera sección 184 del intercambiador de calor, y se extrae del primer extremo (más caliente) de la primera sección 184 del intercambiador de calor como un primer gas 162 de descarga rico en nitrógeno. Una segunda porción 256 de la mezcla rica en nitrógeno 258 pasa al segundo extremo (más frío) de la segunda sección del intercambiador de calor 186, se calienta en la segunda sección del intercambiador de calor 186, y se retira del primer extremo (más caliente) de la segunda sección del intercambiador de calor 186 como un tercer gas de descarga rico en nitrógeno 260.

La ventaja de mezclar la primera fracción 152b del subproducto rico en nitrógeno 150 con la fracción enriquecida en nitrógeno 128c del expansor 132 es proporcionar la mayor flexibilidad para controlar la división de flujo de las corrientes 128c y 152b entre la primera sección de intercambiador de calor 184 y la segunda sección de intercambiador de calor 186. Esta flexibilidad permitirá un funcionamiento más eficaz.

Como se muestra en cada una de las realizaciones de las FIG. 1-4, la segunda fracción 151a del subproducto 150 rico en nitrógeno puede pasar a un primer extremo (más frío) de una segunda sección 194 de intercambiador de calor subenfriador, calentarse en la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador, y extraerse de un segundo extremo (más caliente) de la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador.

La segunda fracción 151b del subproducto 150 rico en nitrógeno puede pasar del segundo extremo (más caliente) de la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador al segundo extremo (más frío) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor, calentarse en la segunda sección de intercambiador de calor 186, y retirarse del primer extremo (más caliente) de la segunda sección de intercambiador de calor 186 como un segundo gas subproducto de descarga 158 rico en nitrógeno.

En una realización alternativa, se puede producir un producto de nitrógeno a baja presión retirando una corriente de gas rica en nitrógeno (no mostrada) del extremo superior de la región superior de la columna de menor presión 188, opcionalmente, calentar esta corriente de gas rica en nitrógeno en la sección 192 del primer intercambiador de calor del subenfriador y/o en la sección 194 del segundo intercambiador de calor del subenfriador, o en un tercer intercambiador de calor del subenfriador, y posteriormente calentar aún más la corriente de gas rica en nitrógeno en la sección 184 del primer intercambiador de calor y/o en la sección 186 del segundo intercambiador de calor. En este caso, el subproducto rico en nitrógeno 150 puede extraerse de la columna de menor presión 188 como una extracción del lado de vapor desde una ubicación en la región superior por debajo de donde se extrae la corriente de gas rica en nitrógeno. Si el caudal de la corriente de gas rico en nitrógeno es de magnitud suficiente, una de la primera fracción 152a del subproducto rico en nitrógeno 150 y de la segunda fracción 151a del subproducto rico en nitrógeno 150 puede eliminarse y sustituirse por esta corriente de gas rico en nitrógeno.

Como se muestra en cada una de las realizaciones de las FIG. 1, 2A, 2B, 2C y 4, una fracción rica en nitrógeno 127 puede extraerse del extremo superior de la columna de mayor presión 190. Una segunda porción 129 de la fracción rica en nitrógeno 127 puede pasar al segundo extremo (más frío) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor, calentarse en la segunda sección del intercambiador de calor 186, y posteriormente retirarse del primer extremo (más caliente) de la segunda sección del intercambiador de calor 186 como un producto gaseoso de nitrógeno 180. Como alternativa, la segunda porción 129 puede calentarse en la segunda sección del intercambiador de calor 186.

Aunque no se muestra, es bien conocido en la técnica para producir producto de nitrógeno gaseoso 180 el uso de una técnica alternativa llamada LIN bombeado. Con esta técnica, se extrae líquido adicional de la corriente 144, opcionalmente se bombea a una presión superior a la de la columna de mayor presión 190 y puede pasar posteriormente al segundo extremo (más frío) de la primera sección del intercambiador de calor 184, se calienta en la primera sección de intercambiador de calor 184, y posteriormente se retira del primer extremo (más caliente) de la primera sección de intercambiador de calor 184 como un producto gaseoso de nitrógeno 180.

La fracción rica en nitrógeno 127 o una primera porción 140 de la fracción rica en nitrógeno 127 extraída del extremo superior de la columna de mayor presión 190 puede pasar a un calderín-condensador 142 del sistema de destilación multicolumna. La fracción rica en nitrógeno 127 o una primera porción 140 de la fracción rica en nitrógeno 127 puede condensarse en el calderín-condensador 142, y retirarse del calderín-condensador 142 como líquido rico en nitrógeno 144. El calderín-condensador 142 acopla térmicamente la columna de menor presión 188 y la columna de mayor presión 190.

Una gran parte (más del 40 % en moles) del líquido rico en nitrógeno (144) se devuelve a la parte superior de la columna de mayor presión 190 como reflujo. Una parte 146 del líquido 144 rico en nitrógeno puede pasar a un segundo extremo (más caliente) de la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador, enfriarse en la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador, y retirarse del primer extremo (más frío) de la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador. La parte 146 del líquido 144 rico en nitrógeno extraído del primer extremo (más frío) de la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador puede pasar al extremo superior de la columna de menor presión 188 como reflujo. Como alternativa, una parte 146 del líquido rico en nitrógeno 144 puede pasar a un segundo extremo (más caliente) de la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador, enfriarse en la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador, y retirarse del primer extremo (más frío) de la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador.

Mientras que las figuras muestran la corriente 146 que pasa a través de la segunda sección del intercambiador de calor subenfriador 194 que se forma a partir de la corriente retirada del calderín-condensador, como alternativa, esta corriente puede tomarse de un lugar intermedio de la columna de mayor presión. Por ejemplo, la corriente 146 puede tomarse como una extracción de líquido de la ubicación de la salida de la corriente 128a. En tal caso, todo el líquido rico en nitrógeno 144 se devuelve a la parte superior de la columna de mayor presión 190 como reflujo.

Como se muestra en cada una de las realizaciones de las FIG. 1, 2A, 2B, 2C y 4, un intermedio enriquecido con nitrógeno 124 puede retirarse de la columna de mayor presión 190 desde una elevación en la columna de mayor presión que está por encima de la de la alimentación de aire predominantemente líquido. El intermedio 124 enriquecido con nitrógeno puede pasar al segundo extremo (más caliente) de la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador, enfriarse en la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador, retirarse del primer

extremo (más frío) de la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador, y pasarse a una sección intermedia de la columna de menor presión 188. Como alternativa, el intermedio enriquecido con nitrógeno 124 puede pasar al segundo extremo (más caliente) de la segunda sección del intercambiador de calor 194 del subenfriador, enfriarse en la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador, retirarse del primer extremo (más frío) de la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador, y pasarse a una sección intermedia de la columna de menor presión 188.

La primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador puede estar integrada estructuralmente con la primera sección 184 del intercambiador de calor.

La segunda sección del intercambiador de calor del subenfriador 194 puede estar integrada estructuralmente con la segunda sección del intercambiador de calor 186.

La integración de las secciones 192, 194 del intercambiador de calor del subenfriador con las secciones 184, 186 del intercambiador de calor se describe con referencia a las FIG. 3A-D. La FIG. 3A ilustra el mismo subproceso de intercambiador de calor de la FIG. 2A donde las secciones 192 y 194 del intercambiador de calor del subenfriador están separadas de las secciones 184 y 186 del intercambiador de calor.

En la realización mostrada en la FIG. 3B, la segunda sección de intercambiador de calor subenfriador 194 se integra con la segunda sección de intercambiador de calor 186 como un único intercambiador de calor 386. La línea de puntos horizontal que se muestra en el intercambiador de calor 386 representa el límite o interfaz, entre la segunda sección del intercambiador de calor del subenfriador 194 y la segunda sección del intercambiador de calor 186.

La parte 146 de la fracción líquida rica en nitrógeno 144 pasa al segundo extremo (más caliente) de la segunda sección 194 del intercambiador de calor subenfriador 386, sin pasar por la segunda sección del intercambiador de calor 186, y se extrae del primer extremo (más frío) de la segunda sección del intercambiador de calor 194 del intercambiador de calor 386. La segunda fracción 151a del subproducto rico en nitrógeno 150 pasa al primer extremo (más frío) de la segunda sección 194 del intercambiador de calor subenfriador 386 y se retira del primer extremo (más caliente) de la segunda sección 186 del intercambiador de calor 386. La fracción enriquecida con nitrógeno expandido 128c, la segunda porción 152d de la primera fracción 152a del subproducto rico en nitrógeno 150, y la segunda porción 129 de la fracción rica en nitrógeno 127 pasan cada una al segundo extremo (más frío) de la segunda sección intercambiadora de calor 186 del intercambiador de calor 386, sin pasar por la segunda sección del intercambiador de calor 194 del subenfriador, y se extrae del primer extremo (más caliente) de la segunda sección del intercambiador de calor 186 del intercambiador de calor 386. La segunda porción 108b de la corriente de aire de alimentación comprimido pasa al primer extremo (más caliente) de la segunda sección de intercambiador de calor 186 y se retira del segundo extremo (más frío) de la segunda sección de intercambiador de calor 186 del intercambiador de calor 386 sin pasar por la segunda sección de intercambiador de calor subenfriador 194 del intercambiador de calor 386.

Este tipo de intercambiador de calor suele utilizarse para reducir los costes de capital. La eficiencia de transferencia de calor del conjunto de intercambiador de calor mostrado en la FIG. 3B para la segunda sección de intercambiador de calor subenfriador 194 y la segunda sección de intercambiador de calor 186 es esencialmente equivalente al conjunto de intercambiador de calor mostrado en la FIG. 3A.

En la realización mostrada en la FIG. 3C, la primera sección de intercambiador de calor de subenfriador 192 se integra con la primera sección de intercambiador de calor 184 como un único intercambiador de calor 384. La línea de puntos horizontal que se muestra en el intercambiador de calor 384 representa el límite entre la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador y la primera sección 184 del intercambiador de calor. La línea de puntos representa la interfaz entre el segundo extremo (más caliente) de la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador y el segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor.

La primera fracción 152a del subproducto rico en nitrógeno 150 pasa al primer extremo (más frío) de la primera sección 192 del intercambiador de calor subenfriador 384. Una primera porción 152c de la primera fracción 152b del subproducto rico en nitrógeno 150 pasa desde el segundo extremo (más caliente) de la primera sección 192 del intercambiador de calor subenfriador del intercambiador de calor 384 hasta el segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor y se retira desde el primer extremo (más caliente) de la primera sección 184 del intercambiador de calor 384 como el primer gas subproducto de descarga rico en nitrógeno 162. Una segunda porción 152d de la primera fracción 152b del subproducto rico en nitrógeno 150 se extrae del segundo extremo (más caliente) de la primera sección 184 del intercambiador de calor subenfriador del intercambiador de calor 384 sin pasar por la primera sección 184 del intercambiador de calor. La fracción enriquecida con nitrógeno 128c y la fracción rica en oxígeno 166 pasan cada una al segundo extremo (más frío) de la primera sección de intercambio de calor 184 del intercambiador de calor 384, evitando la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador, y se retira del primer extremo (más caliente) de la primera sección 184 del intercambiador de calor 384.

Este tipo de intercambiador de calor suele utilizarse para reducir los costes de capital. La eficiencia de transferencia de calor del conjunto de intercambiador de calor mostrado en la FIG. 3C para la primera sección 192 de intercambiador de calor del subenfriador y la primera sección 184 de intercambiador de calor es esencialmente equivalente al conjunto

de intercambiador de calor mostrado en la FIG. 3A.

En la realización mostrada en la FIG. 3D, la primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador está integrada con la primera sección 184 del intercambiador de calor como un único intercambiador de calor 384 y la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador está integrada con la segunda sección 186 del intercambiador de calor como un único intercambiador de calor 386. La descripción para el intercambiador de calor integrado 384 para la FIG. 3C y la descripción para el intercambiador de calor integrado 386 para la FIG. 3B se aplica a los intercambiadores de calor integrados 384 y 386. La eficiencia de transferencia de calor del conjunto de intercambiadores de calor mostrado en la FIG. 3D para los intercambiadores de calor integrados 384 y 386 son esencialmente equivalentes al conjunto de intercambiadores de calor mostrado en la FIG. 3A para intercambiadores de calor separados.

En la realización mostrada en la FIG. 4, el intercambiador de calor integrado 386 de la FIG. 3B se aplica al diagrama de flujo del proceso de la FIG. 2C.

El aparato según la presente divulgación comprende un sistema de destilación multicolumna que comprende una columna de menor presión 188 y una columna de mayor presión 190, un primer intercambiador de calor, un segundo intercambiador de calor y un expansor 132.

El primer intercambiador de calor comprende una primera sección de intercambiador de calor 184. La primera sección 184 del intercambiador de calor tiene un primer extremo (más caliente) y un segundo extremo (más frío). El primer extremo (más caliente) está dispuesto operativamente para recibir una primera porción 107b de la corriente de aire comprimido 105 de alimentación. El aparato puede comprender un compresor de refuerzo 110 y el primer extremo (calentador) puede estar dispuesto operativamente para recibir la primera porción 107b de un compresor de refuerzo 110. Al menos una de las columnas de menor presión 188 o de mayor presión 190 está operativamente dispuesta para recibir la primera porción 107c de la corriente de aire comprimido 105 de alimentación desde el segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor. El segundo extremo (más frío) de la primera sección de intercambiador de calor 184 está dispuesto operativamente para recibir una fracción rica en oxígeno 166 de la columna de menor presión 188 y el primer extremo (más caliente) de la primera sección de intercambiador de calor 184 está dispuesto operativamente para descargar el producto de oxígeno 170. El segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor está dispuesto operativamente para recibir una fracción 128a enriquecida con nitrógeno de la columna de mayor presión 190.

El segundo intercambiador de calor comprende una segunda sección de intercambiador de calor 186. El segundo intercambiador de calor puede tener una presión de funcionamiento inferior a la del primero. La segunda sección del intercambiador de calor 186 tiene un primer extremo (más caliente) y un segundo extremo (más frío). El primer extremo (más caliente) está dispuesto operativamente para recibir una segunda porción 108a de la corriente de aire comprimido 105 de alimentación. La presión de la segunda porción 108a de la corriente de aire comprimido 105 de alimentación puede ser inferior a la presión de la primera porción 107b de la corriente de aire comprimido 105 de alimentación. La columna de mayor presión 190 está dispuesta de forma operativa para recibir la segunda porción 108b de la corriente de aire comprimido 105 de alimentación desde el segundo extremo (más frío) de la segunda sección de intercambiador de calor 186.

El expansor 132 tiene una entrada y una salida. La entrada del expansor 132 está operativamente dispuesta para recibir la fracción 128b enriquecida con nitrógeno extraída de una posición intermedia entre el primer extremo (más caliente) y el segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor.

Como se muestra en la FIG. 1, el segundo extremo (más frío) de la segunda sección de intercambiador de calor 186 puede estar dispuesto operativamente para recibir la al menos una porción de la fracción 128c enriquecida con nitrógeno desde la salida del expansor 132.

Como se muestra en las FIG. 2C y 4, el segundo extremo (más frío) de la segunda sección de intercambiador de calor 186 puede estar dispuesto operativamente para recibir una primera porción 128e de la fracción 128c enriquecida con nitrógeno expandida desde la salida del expansor 132, y el segundo extremo (más frío) de la primera sección de intercambiador de calor 184 puede estar dispuesto operativamente para recibir una segunda porción 128d de la fracción 128c enriquecida con nitrógeno desde la salida del expansor 132.

Como se muestra en las FIG. 1 a 4, el aparato puede comprender además un segundo expansor 116 con una entrada y una salida. El primer extremo (más caliente) de la primera sección 184 de intercambiador de calor puede estar dispuesto operativamente para recibir una tercera porción 109b de la corriente 105 de aire comprimido de alimentación y descargar la tercera porción 109c desde una posición intermedia entre el primer extremo (más caliente) y el segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 de intercambiador de calor. La entrada del segundo expansor 116 puede estar operativamente dispuesta para recibir la tercera porción 109c retirada de la posición intermedia entre el primer extremo (más caliente) y el segundo extremo (más frío) de la primera sección 184 del intercambiador de calor. Al menos una de la columna de mayor presión 190 o de la columna de menor presión 188 puede estar dispuesta operativamente para recibir la tercera porción 109d desde la salida del segundo expansor 116.

Como se muestra en las FIG. 1 a 4, el aparato puede comprender además una primera sección 192 de intercambiador de calor de subenfriador y una segunda sección 194 de intercambiador de calor de subenfriador.

5 La primera sección 192 del intercambiador de calor del subenfriador tiene un primer extremo (más frío) y un segundo extremo (más caliente). El primer extremo (más frío) de la primera sección 192 de intercambiador de calor de subenfriador puede estar dispuesto operativamente para recibir una primera fracción 152a de un subproducto 150 rico en nitrógeno desde la región superior de la columna de menor presión y descargar la primera fracción 152b desde el
10 segundo extremo (más caliente) de la primera sección 192 de intercambiador de calor de subenfriador. El segundo extremo (más frío) de la primera sección de intercambiador de calor 184 puede estar dispuesto operativamente para recibir la al menos una parte de la primera fracción 152b del segundo extremo (más caliente) de la primera sección de intercambiador de calor 192 del subenfriador.

15 La segunda sección del intercambiador de calor del subenfriador 194 tiene un primer extremo (más frío) y un segundo extremo (más caliente). El primer extremo (más frío) de la segunda sección 194 de intercambiador de calor del subenfriador puede estar dispuesto operativamente para recibir una segunda fracción 151a del subproducto 150 rico en nitrógeno y descargar la segunda fracción 151b desde el segundo extremo (más caliente) de la segunda sección 194 de intercambiador de calor del subenfriador. El segundo extremo (más frío) de la segunda sección de intercambiador de calor 186 puede estar dispuesto operativamente para recibir en la segunda fracción 151b del
20 segundo extremo (más caliente) de la segunda sección de intercambiador de calor 194 del subenfriador.

Como se muestra en la FIG. 4, el segundo extremo (más frío) de la segunda sección de intercambiador de calor 186 puede estar dispuesto operativamente para recibir una segunda porción 152d de la primera fracción 152b desde el segundo extremo (más caliente) de la primera sección de intercambiador de calor 192 del subenfriador y el segundo
25 extremo (más frío) de la primera sección de intercambiador de calor 184 puede estar dispuesto operativamente para recibir una primera porción 152c de la primera fracción 152b desde el segundo extremo (más caliente) de la primera sección de intercambiador de calor 192 del subenfriador.

Ejemplo

30 Se realizaron simulaciones por ordenador de varias configuraciones de intercambiadores de calor utilizando Aspen Plus®.

La base para las simulaciones es la siguiente:

35	- Presión ambiente (bara)	1,0
	- Temperatura ambiente (°C)	25
40	- Suministro de agua de enfriamiento (°C)	25
	- Producto de oxígeno (corriente 170)	
	Caudal (nm³/h)	100.000
45	Presión (bara)	65
	- Producto de nitrógeno (corriente 180)	
50	Caudal (nm³/h)	5.000
	Presión (bara)	5,0

Algunos resultados clave se resumen en la tabla 1.

55 Los resultados mostrados en la 1.ª columna, caso 1, corresponden al proceso mostrado en la FIG. 5, donde las secciones primera y segunda del intercambiador de calor se combinan en una única sección 584 del intercambiador de calor y las secciones primera y segunda del intercambiador de calor del subenfriador se combinan en una única sección 596 del intercambiador de calor del subenfriador. Los números de referencia de las corrientes de la FIG. 5
60 comunes con las figuras anteriores tienen el mismo número de referencia que en las figuras anteriores. Nótese que no es necesario dividir el subproducto rico en nitrógeno 150 a medida que fluye a través del sistema intercambiador de calor (150-551,558). Este caso representa la menor potencia alcanzable. Esto se debe a que la combinación de todos los flujos en un único intercambiador de calor proporciona la mayor flexibilidad para equilibrar térmicamente las cargas de calor y, por tanto, lograr la mayor eficiencia termodinámica. Es típico que al dividir el sistema de
65 intercambiadores de calor en dos intercambiadores de calor paralelos, la potencia más baja alcanzable solo puede aproximarse, pero no cumplirá la del caso 1.

Los resultados mostrados en la 2.^a columna, caso 2, representa el estado de la técnica y corresponde al proceso mostrado en la FIG. 6. El proceso de la FIG. 6 es similar al de la FIG. 1 pero sigue las enseñanzas del documento EP 2824407. En particular, el expansor 132 recibe su flujo de la segunda sección del intercambiador de calor 186.

5 Obsérvese también que la segunda sección 194 del intercambiador de calor del subenfriador se ha integrado con la segunda sección 186 del intercambiador de calor para crear el segundo intercambiador de calor 386. La penalización de potencia en comparación con el caso 1, 1146 kW, es mayor y se debe principalmente al uso ineficaz del expansor 132, lo que da lugar a un elevado caudal de aire del expansor 109b.

10 Los resultados mostrados en la 3.^a columna, caso 3, corresponden a una realización de la invención mostrada en la FIG. 1, donde el expansor 132 recibe su flujo de la primera sección del intercambiador de calor 184. Cabe destacar que, esta configuración permite que la temperatura de entrada al expansor 132 (flujo 128b) sea más cálida en comparación con la técnica anterior y se aproxime a la del caso 1. Además, el flujo de la corriente 128b es ligeramente mayor en comparación con el caso 2 de la técnica anterior. La refrigeración resultante producida por el expansor 132 es, por tanto, mayor que la del caso 2, y da lugar a una reducción del caudal de aire (comprimido) del expansor (flujo 109b). La potencia se reduce en 384 kW en comparación con el caso 2 (técnica anterior).

20 Los resultados mostrados en la 4.^a columna, caso 4, son para un caso comparativo que se muestra en la FIG. 7. Los resultados muestran el modesto efecto de solo dividir la corriente 258 entre los dos intercambiadores de calor. El caso 4 puede ser visualizado como la realización de la FIG. 4 excepto que el expansor 132 extrae su flujo de la segunda sección del intercambiador de calor 186, como en el caso de la técnica anterior. La potencia se reduce en 120 kW en comparación con el caso 2 (técnica anterior).

25 Los resultados mostrados en la 5.^a columna, caso 5, corresponden a una realización de la invención mostrada en la FIG. 4. En este caso, no solo el expansor 132 recibe su flujo de la primera sección del intercambiador de calor 184, sino también la corriente de descarga 128c del expansor 132, después de haberse mezclado con la corriente de nitrógeno a baja presión 152b, se reparte entre la primera y la segunda sección de intercambiadores de calor. Haciendo ambos cambios, se pueden conseguir más beneficios que simplemente combinando los beneficios individuales de los casos 3 y 4. La potencia se reduce en 741 kW en comparación con el caso 2 (técnica anterior). Esta potencia es casi comparable a la del caso 1. Cabe destacar que el caudal del expansor 132 y las temperaturas se aproximan mucho a las del caso 1, de ahí la mayor reducción del caudal del expansor de aire (comprimido) en comparación con la técnica anterior.

TABLA 1

		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
		FIG. 5	FIG. 6	FIG. 1	FIG. 7	FIG. 4
Potencia	kW	56.417	57.563	57.175	57.443	56.882
Penalización en comparación con el caso 1	kW	-	1.146	758	1.026	405
Mejora en comparación con el caso 2	kW	1.146	-	388	120	741
Caudal de aire seco (105)	Nm ³ /h	483.477	481.731	482.950	482.137	483.705
Caudal de aire MP (108a)	Nm ³ /h	309.030	278.692	292.946	280.165	295.738
Presión de aire MP (108a)	bara	5,6	5,6	5,6	5,6	5,5
Caudal de aire JT (107b)	Nm ³ /h	135.003	114.274	129.088	114.571	127.441
Presión de aire JT (107b)	bara	75	75	75	75	75
Caudal del expansor de aire (109b)	Nm ³ /h	39.444	88.764	60.916	87.401	60.526
Presión del expansor de aire (109b)	bara	35	35	35	35	35
Flujo del expansor N2 (128b)	Nm ³ /h	56.124	45.790	49.521	47.201	53.856
T en expansor (128b)	°C	-123	-163	-123	-160	-125
T fuera del expansor(128c)	°C	-168	-194	-168	-193	-168
Presión más baja enriquecida con N ₂ (136)	Nm ³ /h	56.124	45.790	49.521	-	-
Primera descarga de N ₂ (158)	Nm ³ /h	321.748	246.440	258.460	152.290	153.762
Segunda descarga de N ₂ (162)	Nm ³ /h	-	83.895	69.361	81.709	65.208
Tercera descarga de N ₂ (260)	Nm ³ /h	-	-	-	142.535	159.131

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la separación de una corriente de aire de alimentación comprimido (105) para producir un producto de oxígeno (170) y un producto de nitrógeno (180), comprendiendo el proceso:

- 5 proporcionar un sistema de destilación multicolumna que comprende una columna de menor presión (188) y una columna de mayor presión (190);
- hacer pasar una primera porción (107b) de la corriente de aire comprimido de alimentación (105) a un primer extremo de una primera sección de intercambiador de calor (184), enfriar la primera porción (107b) de la corriente de aire comprimido de alimentación en la primera sección de intercambiador de calor (184), y retirar la primera
- 10 porción (107c) de la corriente de aire comprimido de alimentación de un segundo extremo de la primera sección de intercambiador de calor (184);
- hacer pasar la primera porción (107c) de la corriente de aire comprimido de alimentación (105) extraída del segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184) a al menos una de la columna de mayor presión (190) o la columna de menor presión (188);
- 15 hacer pasar una segunda porción (108a) del flujo de aire comprimido de alimentación (105) a un primer extremo de una segunda sección de intercambiador de calor (186), enfriar la segunda porción (108a) del flujo de aire comprimido de alimentación en la segunda sección de intercambiador de calor (186), y retirar la segunda porción (108b) de un segundo extremo de la segunda sección de intercambiador de calor (186);
- hacer pasar la segunda porción (108b) del flujo de aire comprimido de alimentación extraído del segundo extremo
- 20 de la segunda sección del intercambiador de calor (186) a la columna de mayor presión (190);
- retirar una fracción enriquecida en oxígeno (122) de la columna de mayor presión (190);
- pasar la fracción enriquecida en oxígeno (122) extraída de la columna de mayor presión (190) a la columna de menor presión (188);
- retirar una fracción rica en oxígeno (166) de la columna de menor presión (188);
- 25 hacer pasar la fracción rica en oxígeno (166) extraída de la columna de menor presión (188) al segundo extremo de la primera sección de intercambiador de calor (184), calentar la fracción rica en oxígeno (166) en la primera sección de intercambiador de calor (184) y extraer la fracción rica en oxígeno (166) del primer extremo de la primera sección de intercambiador de calor (184) como producto de oxígeno (170);
- retirar una fracción enriquecida en nitrógeno (128a) de la columna de mayor presión (190);
- 30 hacer pasar la fracción enriquecida con nitrógeno (128a) extraída de la columna de mayor presión (190) al segundo extremo de la primera sección de intercambiador de calor (184), calentar la fracción enriquecida con nitrógeno (128a) en la primera sección de intercambiador de calor (184) y extraer la fracción enriquecida con nitrógeno (128b) desde una posición intermedia entre el primer extremo y el segundo extremo de la primera sección de intercambiador de calor (184);
- 35 expandir la fracción enriquecida con nitrógeno (128b) extraída de la posición intermedia entre el primer extremo y el segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184) en un expansor (132) para producir trabajo y reducir la presión de la fracción enriquecida con nitrógeno (128c);
- retirar un subproducto rico en nitrógeno (150) de la columna de menor presión (188);
- hacer pasar una primera fracción (152a) del subproducto rico en nitrógeno (150) extraído de la columna de menor
- 40 presión (188) a un primer extremo de una primera sección de intercambiador de calor de subenfriador (192), calentar la primera fracción (152a) del subproducto rico en nitrógeno (150) en la primera sección de intercambiador de calor de subenfriador (192), y extraer la primera fracción (152b) del subproducto rico en nitrógeno (150) de un segundo extremo de la primera sección de intercambiador de calor de subenfriador (192);
- mezclar la primera fracción (152b) del subproducto rico en nitrógeno (150) procedente del segundo extremo de la
- 45 primera sección del intercambiador de calor del subenfriador (192) con la fracción enriquecida en nitrógeno (128c) procedente del expansor (132) para formar una mezcla rica en nitrógeno (258);
- hacer pasar una primera porción (259) de la mezcla rica en nitrógeno (258) al segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184), calentar la primera porción (259) de la mezcla rica en nitrógeno (258) en la primera sección del intercambiador de calor (184), y retirar la primera porción (259) de la mezcla rica en
- 50 nitrógeno del primer extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184) como un primer gas de descarga rico en nitrógeno (162);
- hacer pasar una segunda porción (256) de la mezcla rica en nitrógeno (258) al segundo extremo de la segunda sección del intercambiador de calor (186), calentar la segunda porción (256) de la mezcla rica en nitrógeno (258) en la segunda sección del intercambiador de calor (186), y retirar la segunda porción (256) de la mezcla rica en
- 55 nitrógeno del primer extremo de la segunda sección del intercambiador de calor (186) como un segundo gas de descarga rico en nitrógeno (260);
- hacer pasar una segunda fracción (151a) del subproducto rico en nitrógeno (150) extraído de la columna de menor presión (188) a un primer extremo de una segunda sección de intercambiador de calor de subenfriador (194), calentar la segunda fracción (151a) del subproducto rico en nitrógeno (150) en la segunda sección de intercambiador de calor de subenfriador (194), y extraer la segunda fracción (151b) del subproducto rico en
- 60 nitrógeno (150) de un segundo extremo de la segunda sección de intercambiador de calor de subenfriador (194);
- y
- hacer pasar la segunda fracción (151b) del subproducto rico en nitrógeno (150) desde el segundo extremo de la
- 65 segunda sección de intercambiador de calor del subenfriador (194) hasta el segundo extremo de la segunda sección de intercambiador de calor (186) calentando la segunda fracción (151b) del subproducto rico en nitrógeno (150) en la segunda sección del intercambiador de calor (186), y extrayendo la segunda fracción (151b) del

subproducto rico en nitrógeno (150) del primer extremo de la segunda sección del intercambiador de calor (186) como un segundo gas subproducto de descarga rico en nitrógeno (158).

2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1

en donde un intercambiador de calor de mayor presión comprende la primera sección del intercambiador de calor (184); y
en donde un intercambiador de calor de menor presión comprende la segunda sección del intercambiador de calor (186), en donde la presión máxima de funcionamiento en el intercambiador de calor de menor presión es inferior a la presión máxima de funcionamiento en el intercambiador de calor de mayor presión.

3. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, que además comprende:

hacer pasar una tercera porción (109b) de la corriente de aire comprimido de alimentación (105) al primer extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184), enfriar la tercera porción (109b) de la corriente de aire comprimido de alimentación en la primera sección del intercambiador de calor (184), y retirar la tercera porción (109c) de la corriente de aire comprimido de alimentación desde una posición intermedia entre el primer extremo y el segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184);
expandir la tercera porción (109c) de la corriente de aire comprimido de alimentación (105) extraída de la posición intermedia entre el primer extremo y el segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184) en un segundo expansor (116) para producir trabajo y reducir la presión de la tercera porción (109c) de la corriente de aire comprimido de alimentación (105); y
hacer pasar la tercera porción (109d) después de la expansión a al menos una de las columnas de mayor presión (190) o de menor presión (188).

4. El proceso de acuerdo con la reivindicación 3, en donde la segunda porción (108b) de la corriente de aire de alimentación comprimido (105) extraída del segundo extremo de la segunda sección del intercambiador de calor (186) y la tercera porción (109d) después de expandirse se mezclan antes de pasar juntas a la columna de mayor presión (190).

5. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde se produce un producto de nitrógeno (180), comprendiendo el proceso además:

retirar una fracción rica en nitrógeno (127) de la columna de mayor presión (190); hacer pasar una primera porción (140) de la fracción rica en nitrógeno (127) a un calderín-condensador (142) del sistema de destilación multicolumna, condensar la primera porción (140) de la fracción rica en nitrógeno (127) en el calderín-condensador (142), y retirar la primera porción (140) de la fracción rica en nitrógeno (127) del calderín-condensador (142);
hacer pasar una parte (146) de la primera porción (140) de la fracción rica en nitrógeno (127) al segundo extremo de la segunda sección de intercambiador de calor del subenfriador (194), enfriar la parte (146) de la primera porción (140) de la fracción rica en nitrógeno (127) en la segunda sección de intercambiador de calor del subenfriador (194), y retirar la parte (146) de la fracción rica en nitrógeno (127) del primer extremo de la segunda sección de intercambiador de calor del subenfriador (194);
hacer pasar la parte (146) de la primera porción (140) de la fracción rica en nitrógeno (127) extraída del primer extremo de la segunda sección del intercambiador de calor del subenfriador (194) a la columna de menor presión (188); y
hacer pasar una segunda porción (129) de la fracción rica en nitrógeno (127) a la segunda sección del intercambiador de calor (186), calentar la segunda porción (129) de la fracción rica en nitrógeno (127) en la segunda sección del intercambiador de calor (186), y retirar la segunda porción (129) de la fracción rica en nitrógeno (127) del primer extremo de la segunda sección del intercambiador de calor (186) como el producto de nitrógeno (180).

6. Un aparato para la separación de una corriente de aire comprimido de alimentación (105) para producir un producto de oxígeno (170) y un producto de nitrógeno (180), comprendiendo el aparato:

un sistema de destilación multicolumna que comprende una columna de menor presión (188) y una columna de mayor presión (190);
un primer intercambiador de calor que comprende una primera sección de intercambiador de calor (184), la primera sección de intercambiador de calor (184) tiene un primer extremo y un segundo extremo, estando el primer extremo dispuesto operativamente para recibir una primera porción (107b) de la corriente de aire comprimido de alimentación (105),
en donde al menos una de la columna de menor presión (188) o de la columna de mayor presión (190) está dispuesta operativamente para recibir la primera porción (107c) de la corriente de aire comprimido de alimentación (105) desde el segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184), en donde el segundo extremo de la sección del primer intercambiador de calor (184) está dispuesto de forma operativa para recibir una fracción rica en oxígeno (166) de la columna de menor presión (188) y el primer extremo de la sección del primer intercambiador de calor (184) está dispuesto de forma operativa para descargar el producto de oxígeno (170), en donde el segundo extremo de la sección del primer intercambiador de calor (184) está dispuesto de forma operativa para recibir una fracción enriquecida en nitrógeno (128a) de la columna de mayor presión (190);
un segundo intercambiador de calor que comprende una segunda sección de intercambiador de calor (186), teniendo la segunda sección de intercambiador de calor (186) un primer extremo y un segundo extremo, el primer extremo está dispuesto operativamente para recibir una segunda porción (108a) del flujo de aire comprimido de

alimentación (105), en donde al menos una de las columnas de menor presión (188) o de mayor presión (190) está dispuesta operativamente para recibir la segunda porción (108b) del flujo de aire comprimido de alimentación (105) desde el segundo extremo de la segunda sección del intercambiador de calor (186);

un expansor (132) que tiene una entrada y una salida, en donde la entrada del expansor (132) está operativamente dispuesta para recibir la fracción enriquecida con nitrógeno (128b) extraída de una posición intermedia entre el

primer extremo y el segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184);
una primera sección del intercambiador de calor del subenfriador (192) que tiene un primer extremo y un segundo extremo, en donde el primer extremo de la primera sección del intercambiador de calor del subenfriador (192) está dispuesto operativamente para recibir una primera fracción (152a) de un subproducto rico en nitrógeno (150) desde la sección del extremo superior de la columna de menor presión (188) y descargar la primera fracción (152b) desde el segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor del subenfriador (192);

una segunda sección del intercambiador de calor del subenfriador (194) que tiene un primer extremo y un segundo extremo, en donde el primer extremo de la segunda sección de intercambiador de calor del subenfriador (194) está dispuesto operativamente para recibir una segunda fracción (151a) del subproducto rico en nitrógeno (150) y descargar la segunda fracción (151b) desde el segundo extremo de la segunda sección de intercambiador de calor del subenfriador (194), en donde el segundo extremo de la segunda sección de intercambiador de calor (186) está dispuesto operativamente para recibir la segunda fracción (151b) desde el segundo extremo de la segunda sección de intercambiador de calor del subenfriador (194); medios para obtener una mezcla rica en nitrógeno (258) mezclando la primera fracción (152b) del subproducto rico en nitrógeno (150) procedente del segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor del subenfriador (192) con la fracción enriquecida en nitrógeno (128c) procedente del expansor (132);

en donde

el segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184) está dispuesto operativamente para recibir una primera porción (259) de una mezcla rica en nitrógeno (258) que es una mezcla de la primera fracción (152b) del subproducto rico en nitrógeno (150) procedente del segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor del subenfriador (192) con la fracción enriquecida en nitrógeno (128c) procedente del expansor (132), y

el segundo extremo de la segunda sección del intercambiador de calor (186) está dispuesto operativamente para recibir una segunda porción (256) de la mezcla rica en nitrógeno (258).

7. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 o el aparato de acuerdo con la reivindicación 6, en donde la presión de la segunda porción (108a) del flujo de aire comprimido de alimentación (105) es menor que la presión de la primera porción (107b) del flujo de aire comprimido de alimentación (105).

8. El aparato de acuerdo con la reivindicación 7 o la reivindicación 6, en donde el segundo intercambiador de calor tiene una presión de funcionamiento inferior a la del primer intercambiador de calor.

9. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, que además comprende: un segundo expansor (116) que tiene una entrada y una salida;

en donde el primer extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184) está dispuesto operativamente para recibir una tercera porción (109b) de la corriente de aire de alimentación comprimido (105) y descargar la tercera porción (109c) desde una posición intermedia entre el primer extremo y el segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184);

en donde la entrada del segundo expansor (116) está operativamente dispuesta para recibir la tercera porción (109c) retirada de la posición intermedia entre el primer extremo y el segundo extremo de la primera sección del intercambiador de calor (184); y

en donde al menos una de las columnas de mayor presión (190) o de menor presión (188) está operativamente dispuesta para recibir la tercera porción (109d) desde la salida del segundo expansor (116).

FIG. 1

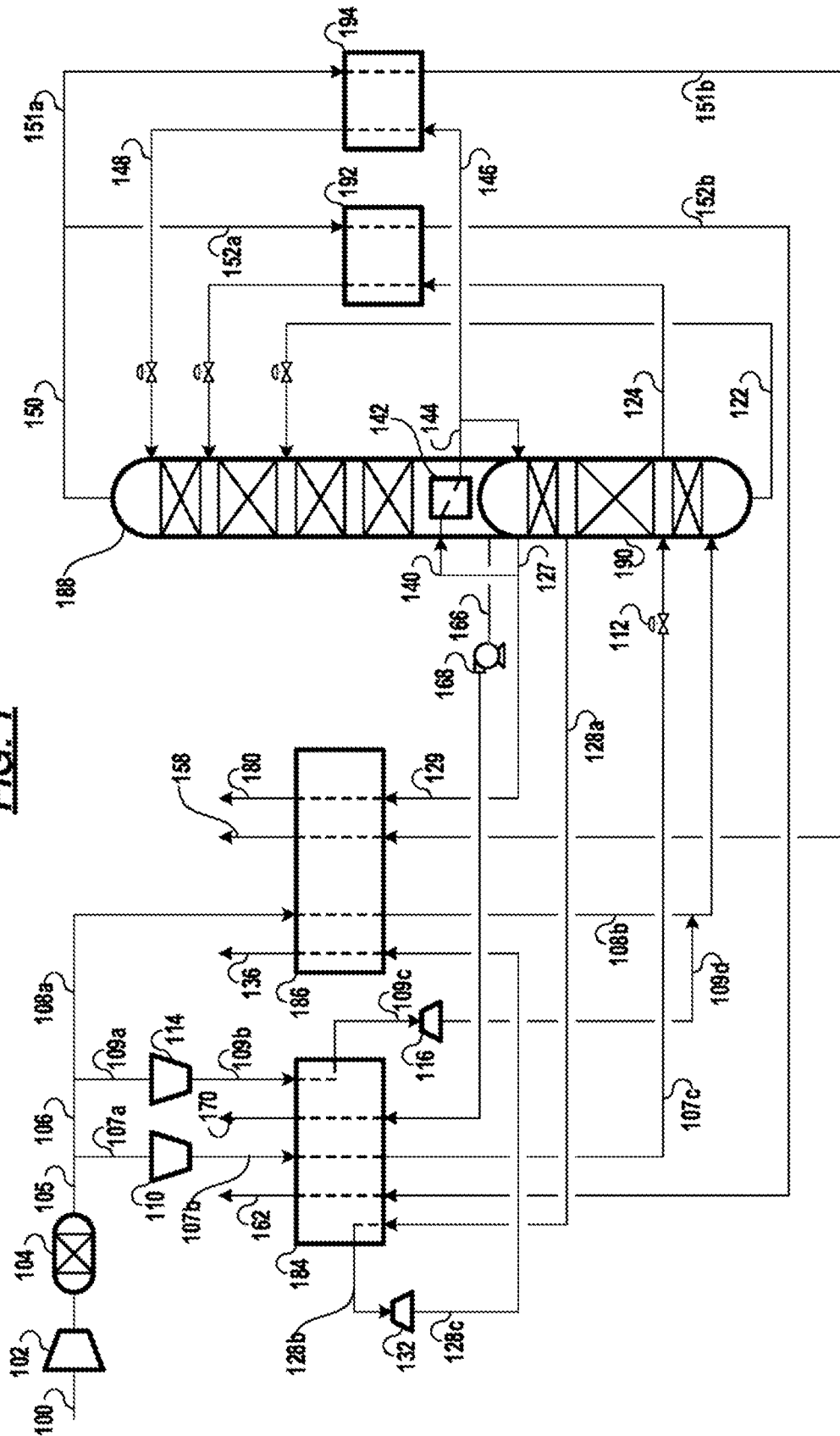
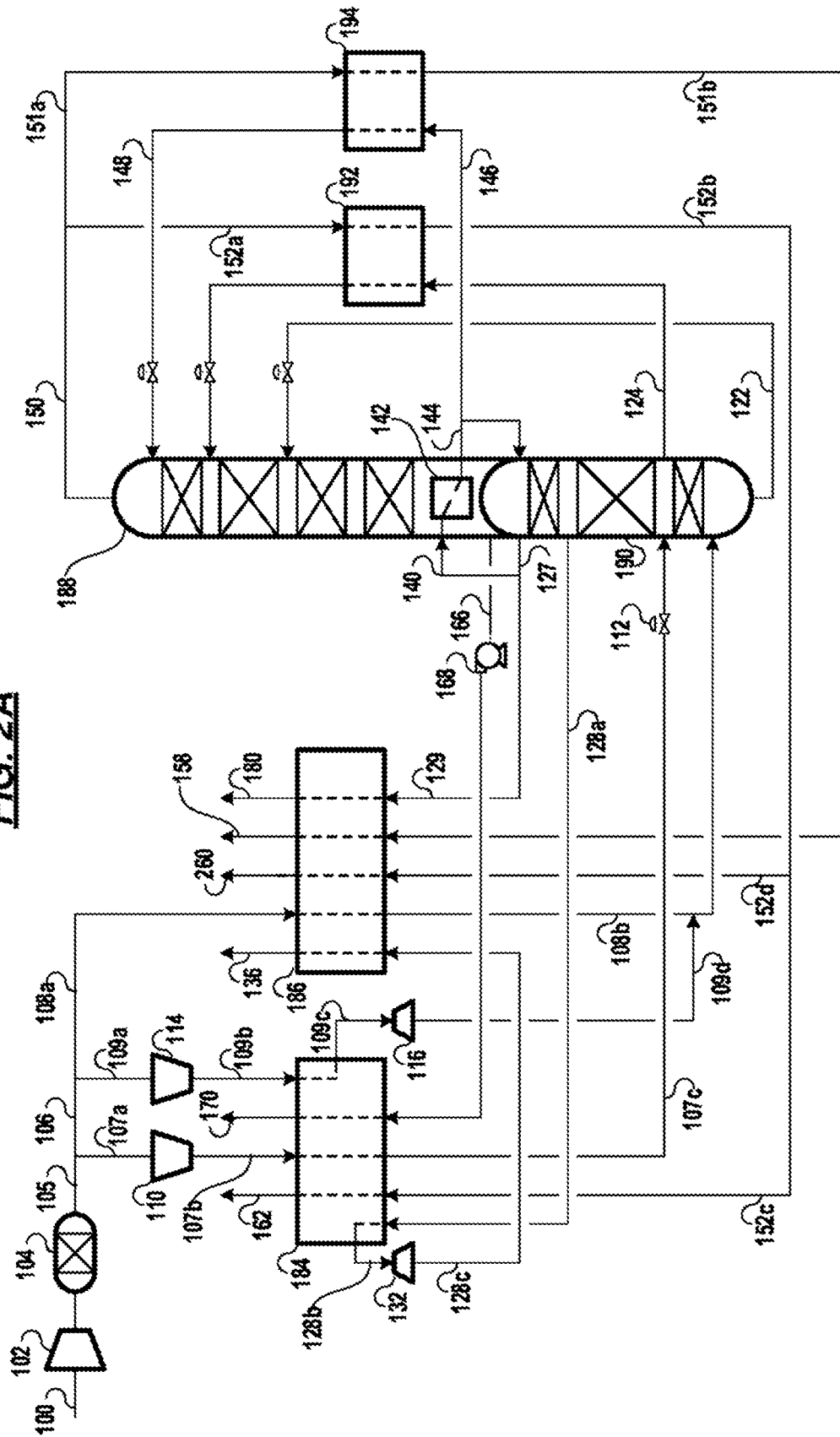


FIG. 2A



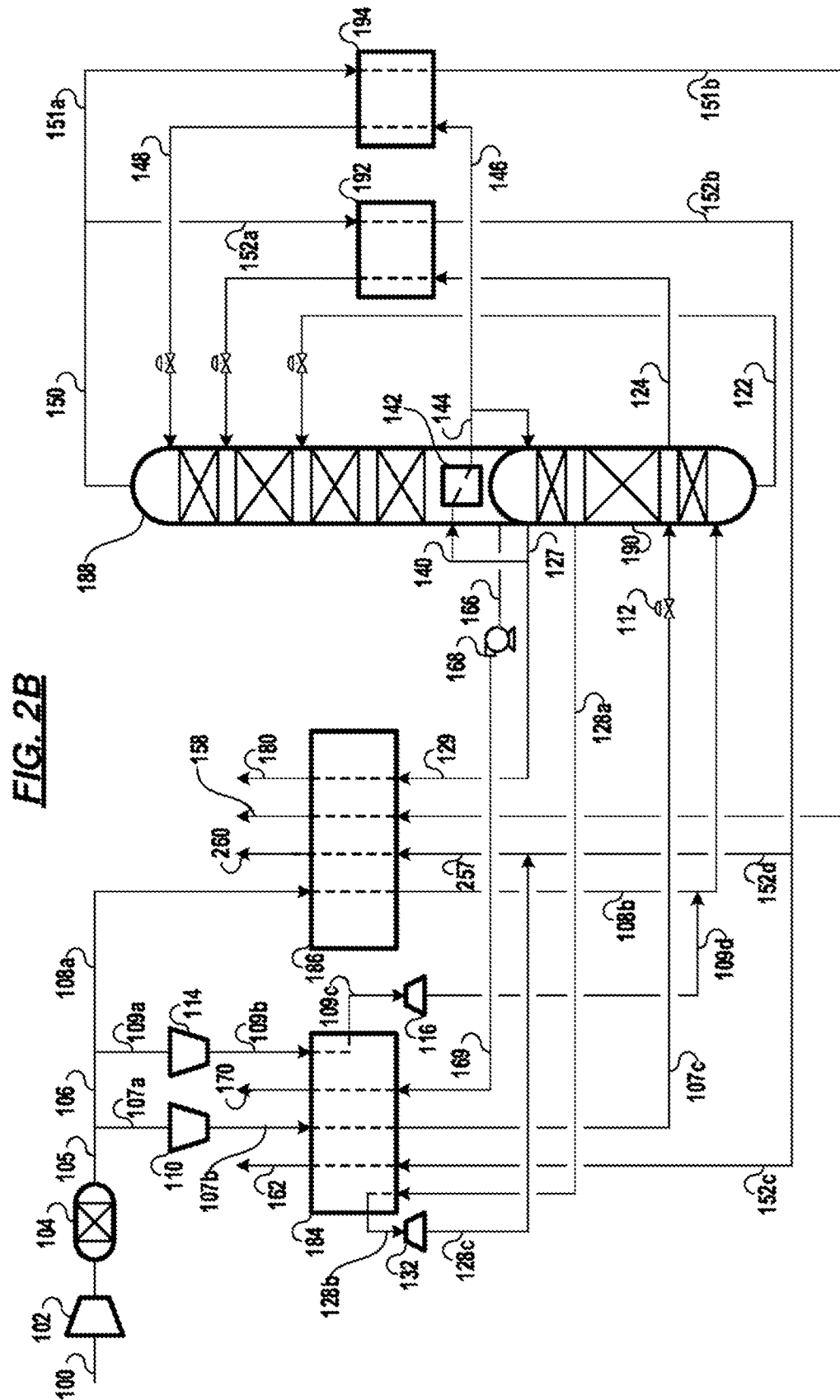


FIG. 2C

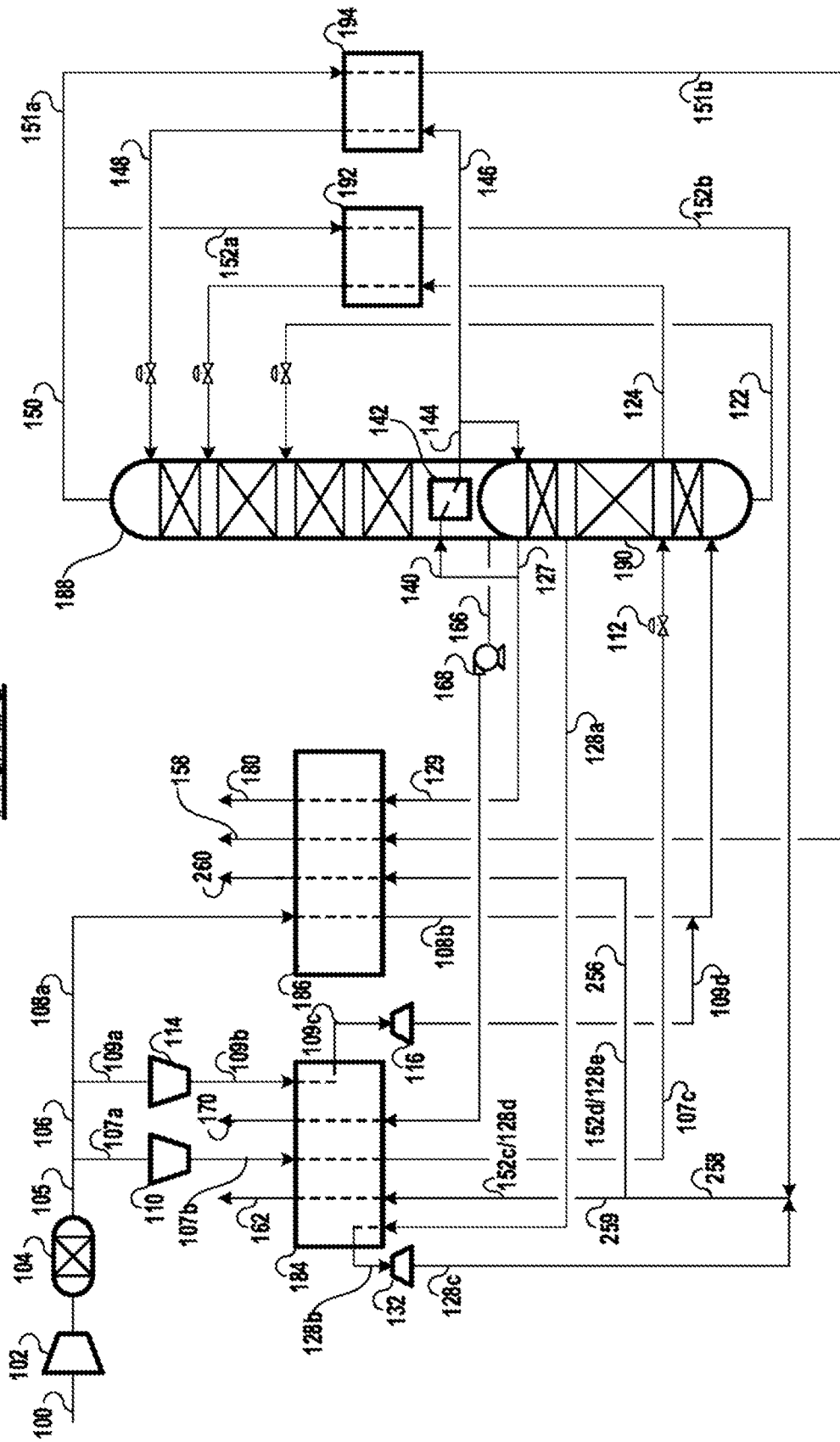


FIG. 3A

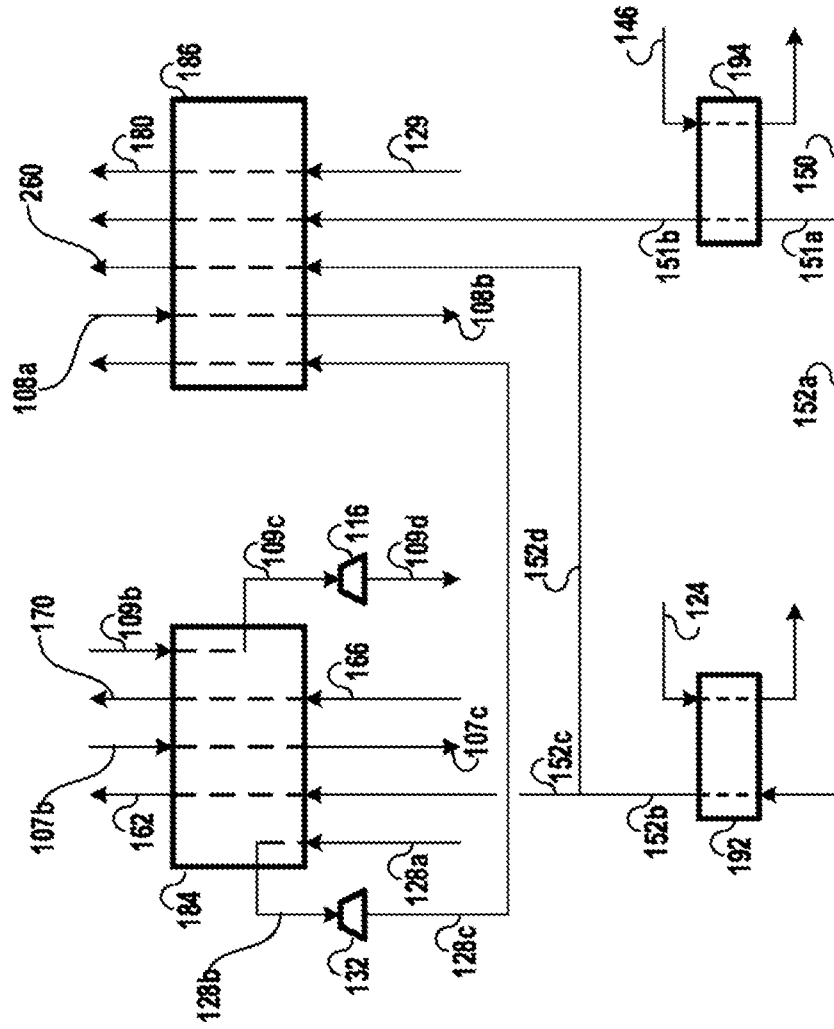


FIG. 3B

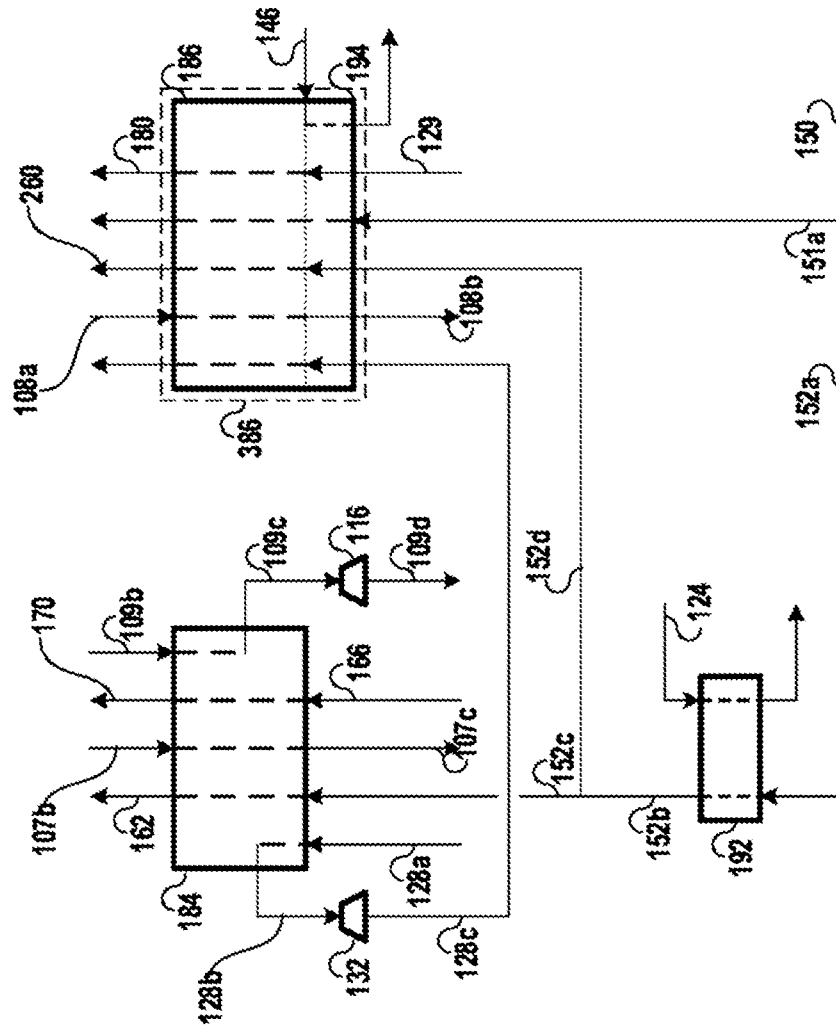


FIG. 3C

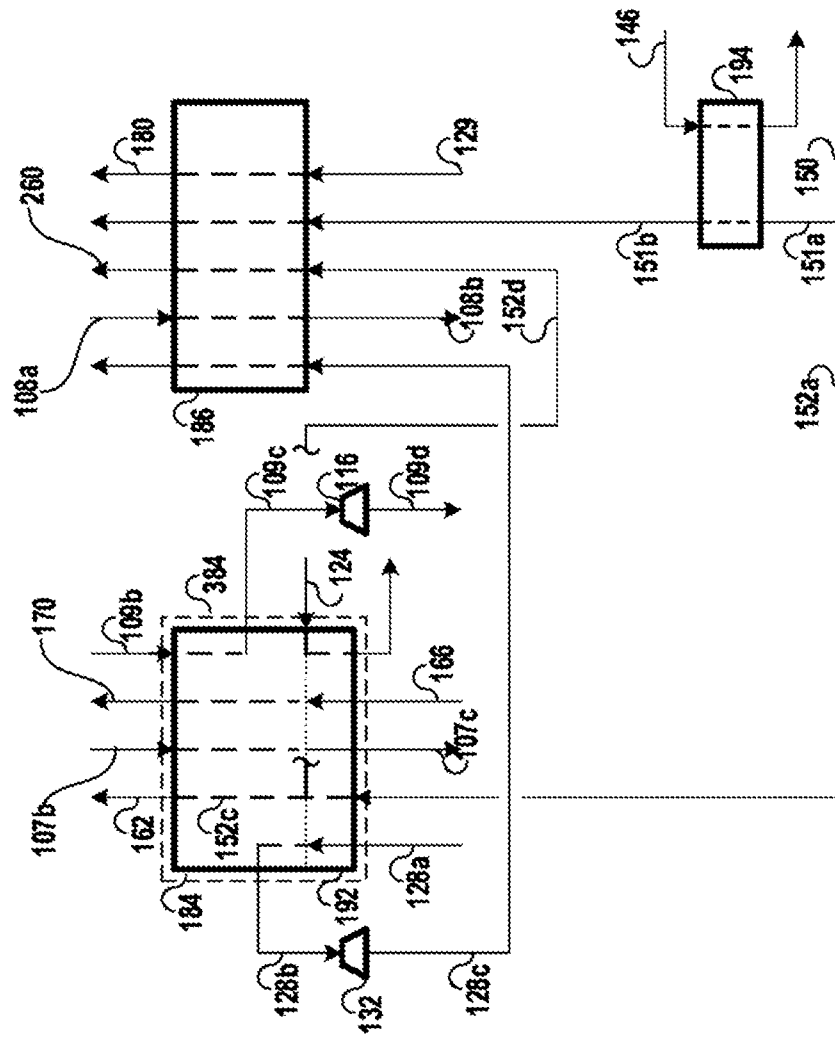


FIG. 3D

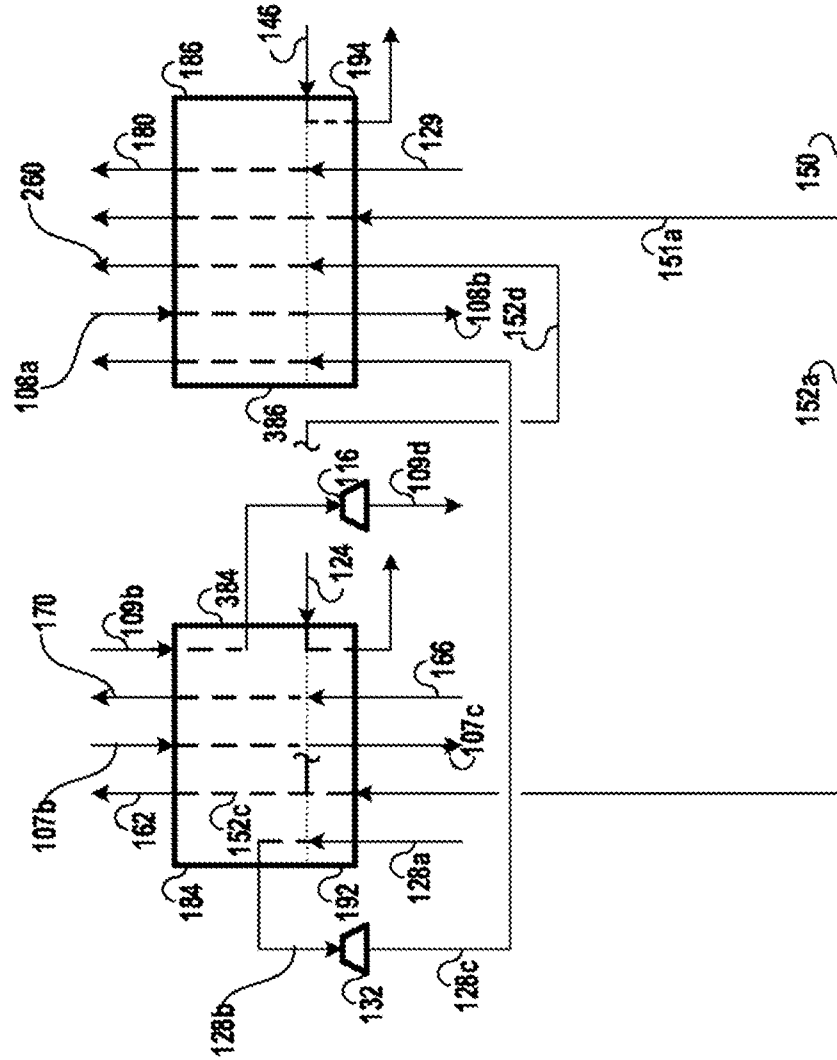


FIG. 4

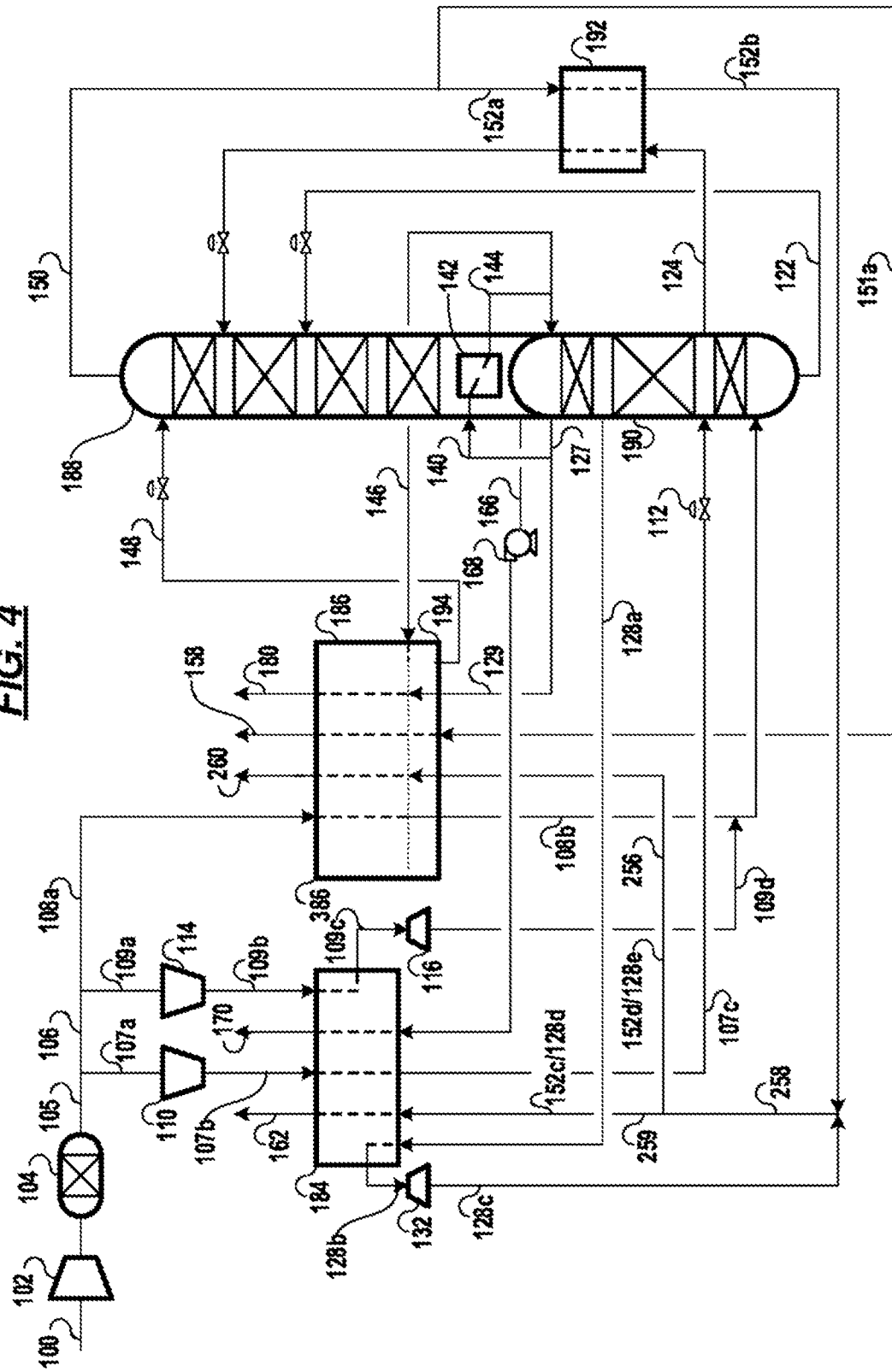


FIG. 5 -CASO COMPARATIVO

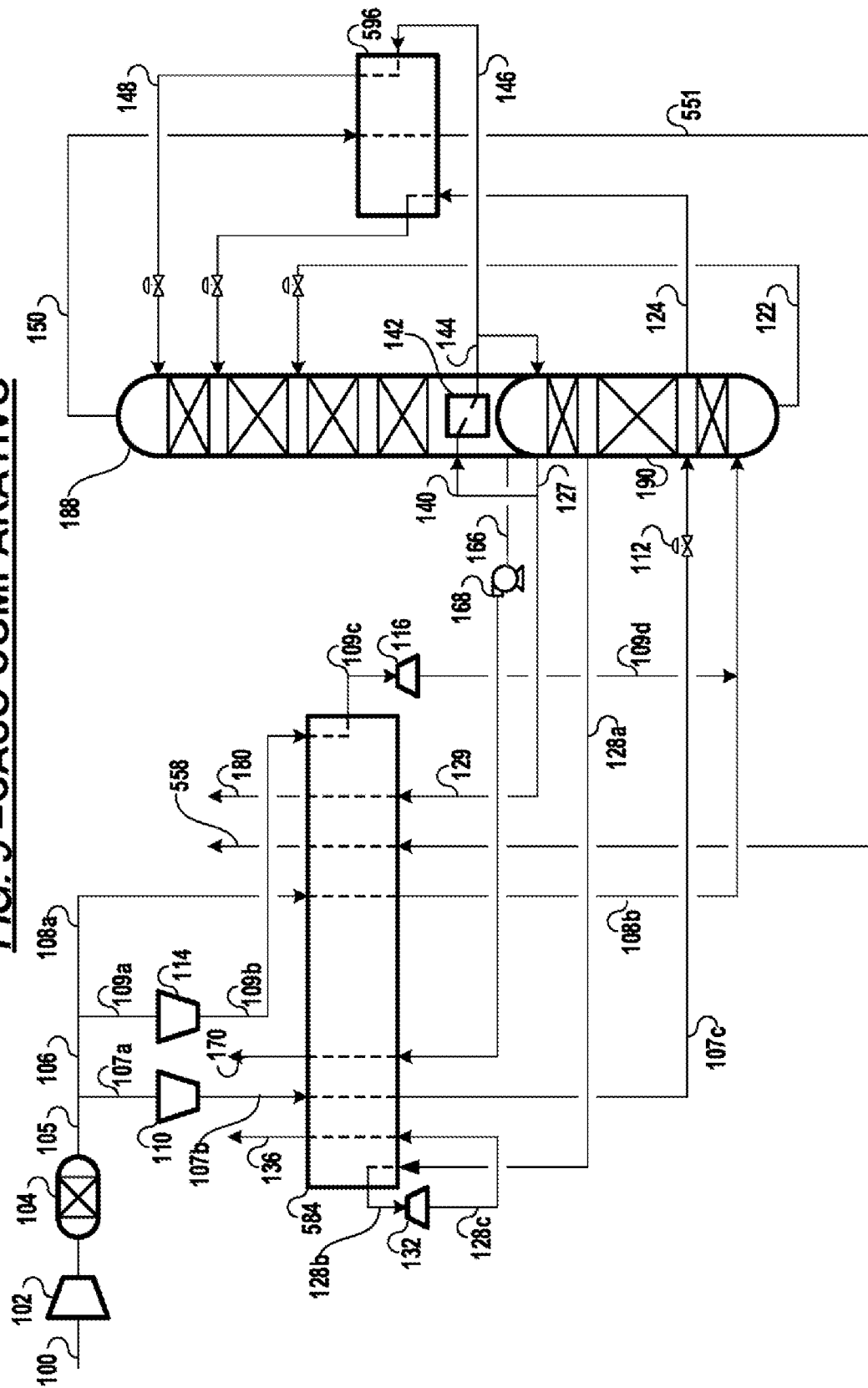


FIG. 6 — TÉCNICA ANTERIOR

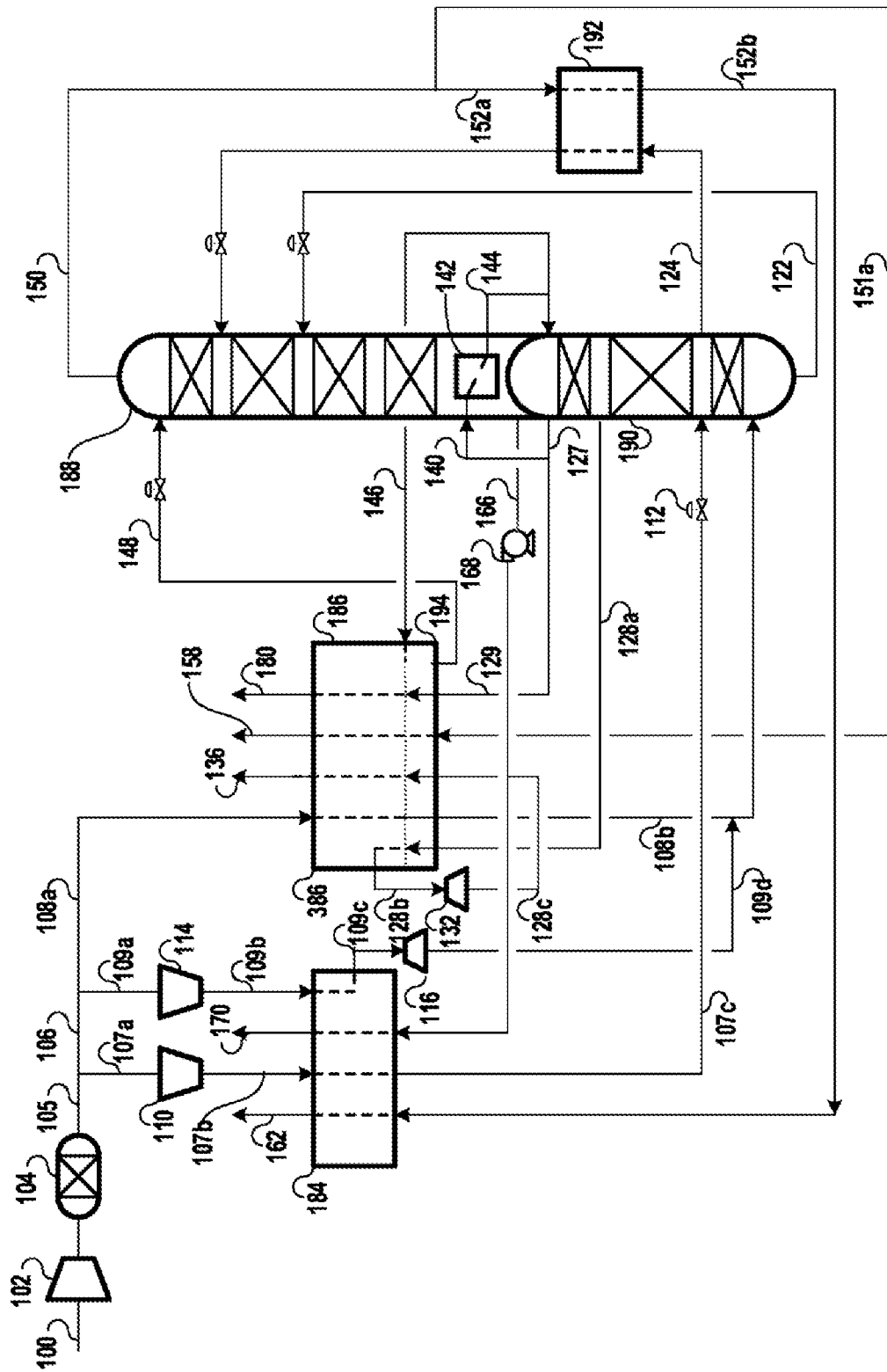


FIG. 7 –CASO COMPARATIVO

