



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 300 240**

51 Int. Cl.:  
**F25J 3/04** (2006.01)  
**F02C 6/00** (2006.01)  
**F02C 6/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **00110995 .8**  
86 Fecha de presentación : **30.05.2000**  
87 Número de publicación de la solicitud: **1058073**  
87 Fecha de publicación de la solicitud: **06.12.2000**

54 Título: **Procedimiento de separación del aire integrado con motor de combustión de turbina de gas.**

30 Prioridad: **04.06.1999 US 326219**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.06.2008**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.06.2008**

73 Titular/es: **AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.**  
**7201 Hamilton Boulevard**  
**Allentown, Pennsylvania 18195-1501, US**

72 Inventor/es: **Dillon, John Lloyd IV y**  
**Griffiths, John Louis**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 300 240 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).

# ES 2 300 240 T3

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de separación del aire integrado con motor de combustión de turbina de gas.

### 5 Antecedentes de la invención

Los nuevos procesos químicos y de refinado, y las economías de escala de tales procesos, requerirán cantidades crecientes de oxígeno gaseoso en una sola posición. Se anticipan para tales procesos unos requisitos para 15.000 toneladas diarias, o más, de oxígeno gaseoso suministrado a presiones de 86,2 bar (1.250 psia) o más. Algunas de estas instalaciones que requerirán grandes cantidades de oxígeno gaseoso se construirán y operarán en posiciones geográficamente remotas.

Una unidad grande de separación de aire para producir oxígeno gaseoso requiere una corriente de alimentación de aire comprimido que es tomado típicamente del aire atmosférico por un turbocompresor interenfriado movido por un motor eléctrico. Los turbocompresores movidos por motor eléctrico también se utilizan para comprimir el oxígeno gaseoso y otros subproductos de procesos de separación de aire.

A medida que aumentan las capacidades requeridas de las unidades de separación de aire, también aumentan los requisitos de potencia eléctrica de los accionadores de los compresores. La demanda de potencia para una unidad grande de separación de aire usando un turbocompresor movido eléctricamente puede exceder de las capacidades del sistema de potencia eléctrica disponible. En posiciones remotas, la potencia eléctrica importada puede no estar esencialmente disponible. En tales casos pueden ser necesarios sistemas de generación de potencia eléctrica *in situ*.

Si se dispone de gas natural, combustible líquido o combustible sintetizado en un proceso químico o de refinado, el turbocompresor que suministra aire a la unidad de separación de aire puede ser movido mecánicamente por un motor de combustión de turbina de gas. Esto evita la necesidad de un sistema de generación y transmisión de potencia eléctrica, y las pérdidas asociadas con la generación y transmisión de energía eléctrica. Sin embargo, la temperatura de la corriente de escape de un motor de combustión de turbina de gas que opera con un simple ciclo Brayton es del rango de 371°C (700°F) a 593°C (1100°F), y el escape representa una porción principal del calor generado por combustión en el motor de turbina de gas. Típicamente el escape de la turbina de expansión se utiliza para generar vapor que se expande en un ciclo de reaprovechamiento de vapor para accionar un generador eléctrico u otra maquinaria rotativa.

Se exponen revisiones generales de los métodos de integración para turbinas de gas y sistemas de separación de aire en un documento titulado "Next-Generation Integration Concepts for Air Separation Units and Gas Turbines" por A. R. Smith y colaboradores en Transactions of the ASME, Vol. 119, Abril 1997, pp. 298-304 y en una presentación titulada "Future Direction of Air Separation Design for Gasification, IGCC, y Alternative Fuel Projects" por R. J. Allam y colaboradores, IChemE Conference on Gasification, 23-24 septiembre 1998, Dresden, Alemania.

Un modo de integración común entre las unidades de turbina de gas y separación de aire se define como plena integración de aire y nitrógeno. En este modo operativo, todo el aire para el combustor de la turbina de gas y la unidad de separación de aire lo proporciona el compresor de aire de la turbina de gas que es movido por el expansor de la turbina de gas, y el nitrógeno de la unidad de separación de aire se utiliza en el sistema integrado. La plena integración de aire y nitrógeno se describe en las Patentes de Estados Unidos representativas 3.731.495, 4.224.045, 4.250.704, 4.631.915, y 5.406.786, donde el nitrógeno se introduce en el combustor de la turbina de gas. La plena integración de aire y nitrógeno también se describe en las Patentes de Estados Unidos 4.019.314 y 5.317.862, y en la publicación de patente alemana DE 195 29 681 A1, donde el nitrógeno se expande para proporcionar trabajo de compresión para la alimentación de aire o para generar potencia eléctrica.

La turbina de gas y la unidad de separación de aire pueden operar en un modo alternativo, definido como integración de aire parcial con plena integración de nitrógeno, en el que una porción del aire de alimentación para la unidad de separación de aire es proporcionado por el compresor de la turbina de gas y el resto es proporcionado por un compresor de aire separado movido por un accionador con una fuente de potencia independiente. El nitrógeno de la unidad de separación de aire es introducido en el combustor de la turbina de gas o es expandido de otro modo. Este modo operativo se describe en las Patentes de Estados Unidos representativas 4.697.415, 4.707.994, 4.785.621, 4.962.646, 5.437.150, 5.666.823, y 5.740.673.

En otra alternativa, la integración de nitrógeno se usa sin integración de aire. En esta alternativa, la turbina de gas y la unidad de separación de aire tienen un compresor de aire movido independientemente, y el nitrógeno de la unidad de separación de aire se utiliza en el combustor de la turbina de gas. Esta opción se describe en las Patentes de Estados Unidos representativas 4.729.217, 5.081.845, 5.410.869, 5.421.166, 5.459.994 y 5.722.259.

La Patente de Estados Unidos 3.950.957 y la memoria descriptiva de la Patente británica 1 455 960 describen una unidad de separación de aire integrada con un sistema de generación de vapor en el que una corriente residual enriquecida con nitrógeno es calentada por intercambio de calor indirecto con aire caliente comprimido del compresor de aire de alimentación de la unidad de separación de aire, la corriente enriquecida con nitrógeno calentada es calentada más indirectamente en un calentador, y la corriente enriquecida con nitrógeno caliente final es expandida en una turbina de expansión de nitrógeno dedicada. El trabajo generado por esta turbina de expansión mueve el compresor de aire de alimentación de la unidad de separación de aire. El escape de la turbina de expansión de nitrógeno y los gases

## ES 2 300 240 T3

de combustión del calentador son introducidos por separado en un generador de vapor para elevar el vapor, del que una porción se puede expandir en una turbina de vapor para accionar el compresor de aire principal de la unidad de separación de aire. Opcionalmente, los gases de combustión del calentador son expandidos en una turbina que mueve un compresor para proporcionar aire de combustión a un calentador separado que calienta la corriente enriquecida con nitrógeno antes de la expansión.

Un uso alternativo del nitrógeno a presión alta de una unidad de separación de aire integrada con una turbina de gas se describe en la Patente de Estados Unidos 5.388.395 donde el nitrógeno es expandido para operar un generador eléctrico. El escape de nitrógeno frío del expansor se mezcla con el aire de entrada al compresor de la turbina de gas, enfriando por ello toda la corriente de entrada del compresor. Alternativamente, el nitrógeno a presión baja de la unidad de separación de aire es enfriado y saturado con agua en un enfriador-refrigerador de contacto directo, y el nitrógeno saturado enfriado se mezcla con el aire de entrada al compresor de la turbina de gas.

Las Patentes de Estados Unidos 5.040.370 y 5.076.837 describen la integración de una unidad de separación de aire con procesos a alta temperatura que usa oxígeno, donde el calor residual de un proceso se usa para calentar nitrógeno presurizado de la unidad de separación de aire, y el nitrógeno caliente es expandido para generar potencia eléctrica.

La publicación de la Patente europea EP 0 845 644 A2 describe una unidad de separación de aire a presión elevada en la que el producto enriquecido con nitrógeno presurizado es calentado indirectamente por la combustión de combustible a presión baja, y el nitrógeno caliente es expandido para producir potencia o accionar compresores de gas dentro de la unidad de separación de aire.

EP 0 503 900 A1 describe un método para la separación de una mezcla de gases de alimentación incluyendo oxígeno y nitrógeno, método que incluye

quemar un gas oxidante y combustible en un motor de combustión para generar trabajo de eje y un gas de escape caliente;

comprimir la mezcla de gases de alimentación incluyendo oxígeno y nitrógeno y separar la mezcla comprimida de gases de alimentación resultante en dos o más corrientes de gas producto con composiciones diferentes;

utilizar el trabajo de eje para realizar al menos una porción del trabajo requerido para comprimir la mezcla de gases de alimentación; y

calentar una de las corrientes de gas producido por intercambio de calor indirecto con el gas de escape caliente y expandir la corriente de gas producto caliente resultante para generar trabajo de eje y obtener una corriente de gas producto expandido. También se describe en EP 0 503 900 A1 un aparato para llevar a cabo este método.

Toda la mezcla de gases de alimentación, a saber aire, es proporcionado por un solo compresor.

Como se ha indicado en la explicación anterior de los antecedentes de la invención, la recuperación de calor del escape de un motor de combustión de turbina de gas se logra típicamente por un sistema de generación de vapor por recuperación de calor (HRSG) que incluye un intercambiador de calor con numerosos tubos de caldera para vaporizar agua de alimentación de caldera, una turbina de vapor para la expansión del vapor, un condensador para condensar el vapor expandido, y un sistema de relleno y recirculación del agua de alimentación de la caldera. En algunas situaciones, sin embargo, tal sistema de vapor puede no ser factible por razones económicas u operativas, y se requerirán métodos alternativos para recuperar calor del escape de la turbina de gas. Cuando el método preferido para mover un turbocompresor que suministra aire a una unidad de separación de aire se lleve a cabo con un motor de combustión de turbina de gas, sería deseable dicho método alternativo para recuperar calor del escape de la turbina de gas.

La invención descrita a continuación y definida por las reivindicaciones que siguen elimina la necesidad de unidades de separación de aire movidas por turbina de gas que usan métodos alternativos de recuperar y utilizar el calor en el gas de escape de la turbina de gas.

### Breve resumen de la invención

El método para la separación de una mezcla de gases de alimentación incluyendo oxígeno y nitrógeno se define en la reivindicación 1.

La invención incluye un aparato para la separación de aire según la reivindicación 18.

Las reivindicaciones secundarias definen realizaciones ventajosas de la invención.

### Breve descripción de varias vistas de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de la realización base del proceso de la presente invención.

## ES 2 300 240 T3

La figura 2 es un diagrama de flujo esquemático de una realización de la presente invención donde el calor residual en las corrientes de gas de escape de la turbina de gas y las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno es recuperado para proporcionar una corriente de proceso calentada.

5 La figura 3 es un diagrama de flujo esquemático de una realización alternativa de la presente invención donde el calor residual en el escape combinado del gas de combustión y las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno es recuperado para proporcionar una corriente de proceso calentada.

10 La figura 4 es un diagrama de flujo esquemático de una realización de la presente invención donde el escape de la turbina de expansión de producto enriquecido con nitrógeno es recalentado y expandido en otra turbina de expansión o etapa de turbina.

15 La figura 5 es un diagrama de flujo esquemático de una realización de la presente invención donde el aire de alimentación comprimido enviado a la unidad de separación de aire es enfriado contra una corriente de gas producto procedente de la unidad de separación de aire.

20 La figura 6 es un diagrama de flujo esquemático de una realización de la presente invención donde el escape de la turbina de expansión de producto enriquecido con nitrógeno es recalentado y expandido en otra turbina de expansión o etapa de turbina, y el calor residual en las corrientes de gas de escape procedentes del gas de combustión y segunda turbina de expansión de producto enriquecido con nitrógeno es recuperado para proporcionar una corriente de proceso calentada.

### Descripción detallada de la invención

25 Una primera realización de la invención se ilustra en la figura 1. Una corriente de alimentación de gas conteniendo oxígeno, típicamente aire atmosférico, como corriente 101 es comprimida en el turbocompresor 103 a 3,3 bar - 40,7 bar (48-590 psia) y 71-816°C (160-1500°F). La corriente de aire comprimido 105 se quema en el combustor 107 con la corriente de combustible 109 para producir corriente de gas de combustión presurizado caliente 111. La corriente de combustible 109 puede ser cualquier combustible apropiado compatible con la operación del combustor 107.

30 La corriente de gas de combustión presurizado caliente 111 es expandida en la turbina de expansión 113 para producir trabajo útil, y la corriente de escape de la turbina de expansión 117 es descargada a presión casi atmosférica de 83 a 871°C (200 a 1600°F). Este paso de expansión puede ser definido como expansión de trabajo. El trabajo generado por la turbina de expansión 113 mueve el turbocompresor 103 por el eje 115, y si se desea, se puede generar trabajo adicional para accionar otro equipo rotativo (no representado). La corriente de escape 117 es enfriada en el intercambiador de calor 119 por intercambio de calor indirecto con la corriente enriquecida con nitrógeno presurizada 121 (definida más adelante), y la corriente enfriada resultante 123 es expulsada a la atmósfera.

35 Una segunda corriente conteniendo gas oxígeno 125, típicamente aire atmosférico pero que podría ser cualquier mezcla conteniendo oxígeno y nitrógeno, y posiblemente otros gases, es comprimida en el turbocompresor 127, que en esta realización puede ser un turbocompresor polietápico interenfriado, a 3,3-40,7 bar (48-590 psia). El turbocompresor 127 es movido por eje 128 usando el trabajo de la turbina de expansión 113. La corriente de aire comprimido 129 es enfriada en el postenfriador 131, y corriente de alimentación de aire enfriada final 133 es introducida en el sistema de separación de aire 135.

40 Dentro del sistema de separación de aire 135, la corriente de alimentación de aire puede ser tratada en un sistema de extracción de contaminantes (no representado), por ejemplo, un proceso de adsorción con vaivén de temperatura (TSA), para quitar agua, dióxido de carbono, y otras impurezas antes de separar el aire de alimentación. La corriente de alimentación de aire purificada es separada en el sistema de separación de aire 135, por ejemplo usando un proceso criogénico de separación de aire, por lo que el aire de alimentación es separado en corriente de producto enriquecida con nitrógeno 137 y corriente de producto enriquecida con oxígeno 139. El término “enriquecido con oxígeno” en el sentido en que se usa aquí se refiere a cualquier corriente de gas que tenga una concentración más alta de oxígeno que el aire y el término “enriquecida con nitrógeno” en el sentido en que se usa aquí se refiere a cualquier corriente de gas que tenga una concentración de nitrógeno más alta que el aire. La corriente de producto enriquecida con nitrógeno 137 contiene típicamente de 80 a 99,999 mol % de nitrógeno y típicamente está casi a temperatura ambiente y una presión ligeramente superior a la atmosférica a 40,7 bar (590 psia). La corriente de producto enriquecida con oxígeno 139 contiene típicamente de 50 a 99,9 mol % de oxígeno y generalmente está casi a temperatura ambiente y una presión ligeramente superior a la atmosférica hasta aproximadamente 82,7 bar (1200 psia). El producto enriquecido con oxígeno se puede comprimir más, si es necesario, en el compresor de oxígeno producido 141 para obtener oxígeno producido final 143. Opcionalmente, una corriente de producto enriquecida con argón puede ser recuperada además de las corrientes de producto enriquecidas con oxígeno y/o enriquecidas con nitrógeno.

45 Cuando la corriente de gas conteniendo oxígeno 125 es una mezcla de gas conteniendo oxígeno y nitrógeno, pero no es aire, el término “enriquecido con oxígeno” en el sentido en que se usa aquí se refiere a cualquier corriente de gas que tenga una concentración más alta de oxígeno que la corriente de alimentación y el término “enriquecido con nitrógeno” en el sentido en que se usa aquí se refiere a cualquier corriente de gas que tenga una concentración de nitrógeno más alta que la corriente de alimentación.

## ES 2 300 240 T3

El sistema de separación de aire 135 puede ser un proceso criogénico de separación de aire a presión elevada (EP) en el que aire de alimentación a una presión superior a aproximadamente 6,9 bar (100 psia) es separado en corrientes enriquecida con oxígeno y enriquecida con nitrógeno a presiones superiores a la atmosférica. En este método conocido, la alimentación de aire presurizado purificado se enfría más, se condensa al menos parcialmente, y destila en una o más columnas de destilación. El producto enriquecido con nitrógeno 137 se produce típicamente a una presión en el rango de 2,8 a 20,7 bar (40 a 300 psia). La refrigeración se lleva a cabo típicamente por expansión de una o más de las corrientes de proceso internas. Se describen sistemas de separación de aire EP representativos en las Patentes de Estados Unidos 5.740.673, 5.666.823 y 5.421.166.

Alternativamente, el sistema de separación de aire 135 puede ser cualquier proceso criogénico de separación de aire a baja presión conocido en la técnica en el que una porción del aire de alimentación se separa en corrientes enriquecida con oxígeno y enriquecida con nitrógeno a presiones superiores a la atmosférica. En este caso, la corriente de producto enriquecida con nitrógeno 137 se suministra típicamente a una presión en el rango de la atmosférica a 10,3 bar (150 psia). La corriente de producto enriquecida con nitrógeno 137 puede ser comprimida en el compresor 145 para obtener una corriente enriquecida con nitrógeno presurizada 121. La corriente enriquecida con nitrógeno presurizada 121 en el rango de presión de aproximadamente 2,1 a 69 bar (30 a 1000 psia) se calienta contra la corriente de escape 117 en el intercambiador de calor 119, y la corriente enriquecida con nitrógeno presurizada caliente resultante 147 es expandida a una presión ligeramente superior a la atmosférica en la turbina de expansión de producto enriquecido con nitrógeno 149 para producir trabajo de eje. La corriente enriquecida con nitrógeno expandida enfriada 151 puede ser expulsada a la atmósfera o usada en otro lugar, si se desea. El trabajo de eje producido por la turbina de expansión de producto enriquecido con nitrógeno 149 puede ser usado para accionar equipo de compresión de gas dentro del proceso, por ejemplo el compresor de oxígeno 141 antes descrito. Alternativa o adicionalmente, el trabajo de eje producido por la turbina de expansión 149 puede proporcionar una porción del trabajo requerido para accionar el compresor de aire de alimentación 127 y el compresor de aire de la turbina de gas 103. Si se requiere el compresor de producto enriquecido con nitrógeno 145, una porción del trabajo para accionar este compresor puede ser proporcionada por el trabajo de eje generado por la turbina de expansión de producto enriquecido con nitrógeno 149.

El trabajo de recuperación de la corriente de escape de la turbina de gas 117 en las realizaciones descritas anteriormente se realiza en la presente invención por una alternativa al sistema de generación de vapor por recuperación de calor usual y el ciclo de reaprovechamiento de vapor antes descrito. Recuperando calor usando una corriente de gas producto de la unidad de separación de aire, el equipo de proceso requerido se reduce de forma significativa eliminando el generador de vapor de recuperación de calor (caldera); la bomba y el sistema de alimentación de agua de la caldera; la turbina de vapor de expansión; el condensador, bombas de condensado, y equipo relacionado; y el sistema de desmineralización del agua de alimentación de la caldera. El sistema de intercambio térmico de la presente invención es más compacto que un generador de vapor de recuperación de calor. Además, en la mayoría de las aplicaciones la corriente de gas producto del sistema de separación de aire es seca y carece de partículas, y esto es beneficioso en la operación y el mantenimiento del intercambiador de calor y la turbina de expansión. Dado que la invención utiliza eficientemente gas producto presurizado, se puede utilizar una unidad de separación de aire a presión alta que usa un líquido bombeado o ciclo a presión elevada. Estos ciclos requieren en general equipo más pequeño y menos caro que otros ciclos, y esto puede ser una ventaja con relación al costo de capital.

Una realización alternativa de la invención se ilustra en la figura 2 en la que se recupera calor adicional de la corriente de escape enfriada 123, que puede estar a una temperatura en el rango de 93 a 704°C (200 a 1300°F), y la corriente enriquecida con nitrógeno expandida 151, que puede estar a una temperatura en el rango de 93 a 704°C (200 a 1300°F). Estas dos corrientes intercambian calor con la corriente de proceso 201 en el intercambiador de calor 203 produciendo una corriente de proceso calentada 205, otra corriente enriquecida con nitrógeno enfriada 207, y la corriente de escape final 209. Los productos de combustión en la corriente de escape final 209 se pueden mantener en una sola fase sin condensación de agua, si se desea, limitando el grado de calor transferido a la corriente de proceso 201. La corriente de proceso calentada 205 puede ser una corriente de vapor a presión intermedia que se expande en una turbina de vapor (no representada) para generar potencia eléctrica. Alternativamente, la corriente de proceso calentada 205 puede suministrar calor a una corriente asociada con la unidad de separación de aire 135, por ejemplo una corriente de gas de regeneración usada en el sistema de purificación de aire de alimentación por adsorción con vaivén de temperatura. Esta realización se prefiere cuando se ha de utilizar otra corriente enriquecida con nitrógeno enfriada 207 en otro lugar en el proceso o se ha de utilizar externamente.

Alternativamente, se puede recuperar calor individualmente de una o ambas de la corriente de escape enfriada 123 y la corriente enriquecida con nitrógeno expandida 151 (no representada). Las corrientes enfriadas resultantes pueden ser utilizadas en otro lugar en el proceso o usadas externamente.

Otra realización alternativa relacionada se ilustra en la figura 3, en la que se recupera calor de la corriente de escape enfriada 123 y la corriente enriquecida con nitrógeno expandida 151 en el intercambiador de recuperación de calor 301. En esta alternativa, la corriente 303 puede ser un líquido que se calienta y vaporiza para obtener una corriente de vapor presurizada 305, que puede ser expandida en una turbina de expansión (no representada) para generar potencia eléctrica. Si se desea, la corriente de líquido 303 puede ser agua que se vaporiza para proporcionar vapor para uso en el proceso o en otro lugar. Alternativamente, la corriente 303 puede ser una corriente de proceso gaseosa que se calienta para proporcionar una corriente de gas caliente 305. En esta realización, la corriente enriquecida con nitrógeno expandida 151 se introduce en un intercambiador de recuperación de calor 301 en un punto tal que la temperatura de la corriente enriquecida con nitrógeno expandida 151 sea aproximadamente igual a la temperatura de la corriente de

## ES 2 300 240 T3

escape enfriada 123. En esta realización, el gas de escape final 307 es una combinación de la corriente de escape 123 y la corriente enriquecida con nitrógeno expandida 151.

Otra realización alternativa relacionada con la realización de la figura 1 se ilustra en la figura 4. En esta realización, se puede recuperar más efectivamente energía calorífica adicional cuando la tasa de flujo másico de la corriente de escape de la turbina de gas 117 es mayor que la de la corriente enriquecida con nitrógeno presurizada 121. Se utiliza recalentamiento para equilibrar el intercambio de calor entre estas dos corrientes donde la corriente enriquecida con nitrógeno presurizada 121 es calentada en el intercambiador de calor 401, la corriente enriquecida con nitrógeno calentada 403 es expandida a una presión intermedia en la turbina de expansión 405, la corriente enriquecida con nitrógeno expandida intermedia 407 es recalentada en el intercambiador de calor 401, y la corriente enriquecida con nitrógeno recalentada 409 es expandida a presión atmosférica en la turbina de expansión 411 para producir una corriente de expulsión enriquecida con nitrógeno final 413. El trabajo de eje generado por las turbinas de expansión 405 y 411 puede ser para accionar equipo de compresión de gas dentro del proceso, por ejemplo el compresor de oxígeno 141 antes descrito, o puede ser usado para generar potencia eléctrica. Alternativa o adicionalmente, el trabajo de eje producido por las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno 405 y 411 puede proporcionar una porción del trabajo requerido para accionar el compresor de aire de alimentación 127 y el compresor de aire de la turbina de gas 103. Si es necesario el compresor de producto enriquecido con nitrógeno 145, una porción del trabajo para accionar este compresor puede ser proporcionada por el trabajo de eje generado por turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno 405 y 411. El trabajo de eje de las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno o etapas puede ser usado alternativamente para accionar cualquier otra maquinaria rotativa según sea preciso.

Las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno 405 y 411 se representan como dos turbinas de expansión separadas, pero se puede utilizar una sola turbina de expansión de dos etapas para el mismo servicio, si se desea.

Otra realización alternativa relacionada con el proceso de la figura 1 se ilustra en la figura 5 en la que se recupera energía calorífica de la corriente de aire comprimido 129 hacia abajo del compresor de aire 127. Como se ha explicado anteriormente, el compresor de aire 127 utiliza típicamente múltiples etapas de compresión. Si tiene lugar interenfriamiento del aire entre estas etapas, la temperatura de la corriente de aire comprimido 129 será típicamente del rango de aproximadamente 71 a 104°C (160 a 220°F). Sin embargo, el compresor de aire 127 puede utilizar un nivel de interenfriamiento reducido, o alternativamente puede ser un compresor adiabático, en cuyos casos la temperatura de la corriente de aire comprimido 129 puede ser de hasta 816°C (1500°F). Se puede recuperar calor de esta corriente de aire caliente por intercambio de calor indirecto con la corriente enriquecida con nitrógeno presurizada 121 en el intercambiador de calor 501. La corriente de aire enfriada 503 se puede enfriar más en el postenfriador 131 e introducir en el sistema de separación de aire como se ha descrito anteriormente. La corriente enriquecida con nitrógeno intermedia calentada 503 se calienta posteriormente más en el intercambiador de calor 119 y se expande en la turbina de expansión 149 como se ha descrito anteriormente.

Una alternativa al proceso de la figura 5 se ilustra en la figura 6. En esta realización, se puede recuperar energía calorífica adicional más efectivamente cuando la tasa de flujo másico de la corriente de escape de la turbina de gas 117 es mayor que la de la corriente enriquecida con nitrógeno presurizada 121. Se utiliza recalentamiento para equilibrar el intercambio de calor entre estas dos corrientes donde la corriente enriquecida con nitrógeno intermedia calentada 503 es calentada en el intercambiador de calor 601, la corriente enriquecida con nitrógeno calentada resultante 603 es expandida a una presión intermedia en la turbina de expansión 605, la corriente enriquecida con nitrógeno intermedia expandida 607 es recalentada en el intercambiador de calor 601, y la corriente enriquecida con nitrógeno recalentada 609 es expandida a presión atmosférica en la turbina de expansión 611 para producir una corriente enriquecida con nitrógeno expandida 613. El trabajo de eje generado por las turbinas de expansión 605 y 611 puede ser usado para accionar el equipo de compresión de gas dentro del proceso, en particular el compresor de oxígeno 141 antes descrito, o generar potencia eléctrica. Alternativa o adicionalmente, el trabajo de eje producido por las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno 605 y 611 puede proporcionar una porción del trabajo requerido para accionar el compresor de aire de alimentación 127 y el compresor de aire de la turbina de gas 103 (no representado). Si el compresor de producto enriquecido con nitrógeno 145 es necesario, una porción del trabajo para accionar este compresor puede ser proporcionado por el trabajo de eje generado por las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno 605 y 611. El trabajo de eje de las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno o etapas puede ser usado alternativamente para accionar cualquier otra máquina rotativa según sea preciso.

Las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno 405 y 411 se representan como dos turbinas de expansión separadas, pero se puede utilizar una sola turbina de expansión de dos etapas para el mismo servicio si se desea.

Si la corriente enriquecida con nitrógeno expandida 613 y la corriente de escape enfriada de la turbina de gas 615 están a temperaturas suficientemente altas, se puede recuperar calor adicional de estas corrientes por transferencia indirecta de calor a la corriente de proceso 617 en el intercambiador de calor 619. Estas dos corrientes intercambian calor con la corriente de proceso 617 en el intercambiador de calor 619 para producir una corriente de proceso calentada 621, otra corriente enriquecida con nitrógeno enfriada 623, y una corriente de escape final 625. La corriente de proceso 617 puede ser cualquier corriente de proceso líquida o gaseosa. Los productos de combustión en la corriente de escape final 625 se pueden mantener en una sola fase sin condensación de agua, si se desea, limitando el grado

## ES 2 300 240 T3

de calor transferido a la corriente de proceso 201. La corriente de proceso calentada 621 puede ser una corriente de vapor a presión intermedia que se expande en una turbina de vapor (no representada) para generar potencia eléctrica, o puede ser agua de alimentación de caldera pretratada. Alternativamente, la corriente de proceso calentada 621 puede suministrar calor a una corriente asociada con la unidad de separación de aire 135, por ejemplo una corriente de gas de regeneración usada en el sistema de purificación de aire de alimentación por adsorción con vaivén de temperatura. Esta realización se prefiere cuando se ha de utilizar otra corriente enriquecida con nitrógeno enfriada 623 en otro lugar en el proceso o fuera del proceso.

En las realizaciones de la invención descrita anteriormente, la unidad de separación de aire descrita es un sistema de separación criogénica que separa el gas de alimentación por destilación criogénica. Las características de la invención también se pueden realizar cuando se utilizan otros tipos de procesos de separación de gas conocidos, por ejemplo procesos que utilizan métodos de adsorción, permeación de membrana, o separación química. El accionador preferido para la unidad de separación de aire es un motor de combustión de turbina de gas como se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 1, que ilustra una simple turbina de gas de eje único. Cualquier tipo de motor de combustión de turbina de gas conocido en la técnica puede ser utilizado en la presente invención, por ejemplo, sistemas de turbina de gas de dos ejes o carretes múltiples. Se puede utilizar otras configuraciones de ciclo de turbina de gas tal como las descritas en el libro titulado "The Gas Turbine Manual" por R. J. Welsh y G. Waller, Temple Press Limited, Londres, 1955, p. 37. Alternativamente, se puede utilizar un motor de combustión interna utilizando un ciclo Otto, un ciclo Diesel, u otro tipo de ciclo como el accionador para compresión de la corriente de gas de alimentación de la unidad de separación de aire.

### Ejemplo

El proceso de la figura 1 opera a una presión barométrica de 1 bar (14,7 psia), una temperatura ambiente de 32,7°C (91°F), y una humedad relativa de 60%; el agua refrigerante está disponible a 32,2°C (90°F). El motor de combustión de turbina de gas como se representa en la figura 1 se usa para accionar el compresor de aire 127 con el fin de suministrar 311 kg/s (686 lb/s) de aire a una presión de 8,8 bar (127 psia) a la unidad de separación de aire 135. La unidad de separación de aire utiliza un proceso de destilación criogénica para separar el aire en una corriente enriquecida con nitrógeno 137 a 242 kg/s (534 lb/s) y 2,1 bar (30,1 psia) y una corriente enriquecida con oxígeno 139 a 69 kg/s (152 lb/s) y 2,2 bar (31,6 psia) con una pureza de oxígeno de 95 vol%. La corriente enriquecida con nitrógeno 137 se calienta a 510°C (950°F) en el intercambiador de calor 119 contra la corriente de escape 117 y la corriente enriquecida con nitrógeno calentada 147 se expande en la turbina de expansión 149 para producir una corriente enriquecida con nitrógeno expandida 151 a presión atmosférica. La turbina de expansión 149 genera 28.705 kW de potencia. La corriente enriquecida con oxígeno 139 es comprimida en el compresor 141 para producir una corriente de oxígeno producto comprimida 143 a 49 bar (715 psia), que requiere 28.705 kW de potencia. La turbina de expansión 149 mueve el compresor 141 proporcionando por ello la cantidad exacta de trabajo requerida para la compresión. Este ejemplo ilustra la operación del proceso en modo autónomo sin necesidad de importar potencia eléctrica. El combustible 109 proporciona toda la energía requerida para producir oxígeno producto 143 a la presión y tasa de flujo requeridas. Así, la presión operativa de la unidad de separación de aire se puede seleccionar para producir un producto enriquecido con nitrógeno a una presión y tasa de flujo tales que el producto enriquecido con nitrógeno se pueda calentar contra el escape de la turbina de gas y se expanda para proporcionar la cantidad exacta de trabajo requerida para la compresión del oxígeno producto.

Un resumen de las corrientes del ejemplo se expone a continuación en la tabla 1 y un equilibrio de potencia se indica en la tabla 2.

(Tabla pasa a página siguiente)

# ES 2 300 240 T3

TABLA 1

Resumen de las corrientes del ejemplo  
(Figura 1)

Corriente número	101	109	117	121	123	125	129
Presión, psia*	14,55	350	15,06	29,58	14,7	14,55	128,1
Temperatura °C (°F)	33 (91)	25 (77)	550 (1022)	38 (100)	160 (320)	33 (91)	96 (204)
Caudal (lbs/s)**	622,2	10,8	633	534,2	633	695,4	686,5
Composición volumen %							
Aire seco	97,06	0,00	0,00	0,00	0,00	97,06	98,79
Agua	2,94	0,00	8,88	3,50	8,88	2,94	1,21
Nitrógeno	0,00	0,00	73,51	94,16	73,51	0,00	0,00
Oxígeno	0,00	0,00	13,70	1,78	13,70	0,00	0,00
Argón	0,00	0,00	0,88	0,32	0,88	0,00	0,00
Dióxido de carbono	0,00	0,00	3,04	0,25	3,04	0,00	0,00
Metano	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Corriente número	133	137	139	143	147	151
Presión, psia*	127,1	30,05	31,55	715	28,08	14,7
Temperatura °C (°F)	41 (105)	38 (100)	38 (100)	38 (100)	510 (950)	401 (754)
Caudal (lbs/s)**	686	534,2	151,8	151	534,2	534,2
Composición volumen %						
Aire seco	99,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,87	3,50	0,00	0,00	3,50	3,50
Nitrógeno	0,00	94,16	1,80	1,80	94,16	94,16
Oxígeno	0,00	1,78	95,00	95,00	1,78	1,78
Argón	0,00	0,32	3,20	3,20	0,32	0,32
Dióxido de carbono	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	0,25
Metano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

\* 1 psia = 0,0689 bar

\*\* 1 lb/s = 0,4536 kg/s

# ES 2 300 240 T3

TABLA 2

*Equilibrio de potencia del ejemplo*

Equipo	Número (fig. 1)	Potencia eje kW	Potencia de salida de turbina, kW
Compresor de aire principal	127	79746	
Compresor de oxígeno	141	28705	
Motor de turbina de gas	103/107/ 113/115/ 128	79746	79746
Turbina de expansión de nitrógeno	149	28705	28705
Potencia neta de exportación		0	

Notas:

- 1) Para el equilibrio se han tenido en cuenta la mecánica del compresor, las pérdidas de estanqueidad y la separación de humedad.
- 2) Para el equilibrio se han tenido en cuenta las pérdidas de la unidad de separación de aire.
- 3) No se incluye la energía para dispositivos como las bombas de circulación de refrigerante, ventiladores de las torres de refrigeración y dispositivos auxiliares del sistema de lubricación.

Así, el proceso de la presente invención es un método alternativo para recuperar calor del escape de la turbina de gas en un sistema integrado de turbina de gas y separación de aire en que la turbina de gas mueve el compresor de aire de alimentación para la unidad de separación de aire. La invención ofrece una alternativa al método conocido de recuperar calor del escape de la turbina de gas por un generador de vapor de recuperación de calor, y es útil para situaciones de proceso en las que no se desea un sistema de generación de vapor con los sistemas necesarios de preparación del agua de alimentación de la caldera y condensación de vapor gastado sistemas.

En una realización descrita, la presión operativa de la unidad de separación de aire se puede seleccionar con el fin de producir un producto enriquecido con nitrógeno a una presión y tasa de flujo tales que el producto enriquecido con nitrógeno pueda ser calentado contra el escape de la turbina de gas y se expanda para proporcionar la cantidad exacta de trabajo requerida para compresión del oxígeno producto. La invención proporciona un proceso eficiente y autónomo para la producción de oxígeno a presión alta sin necesidad de importar potencia eléctrica.

Las características esenciales de la presente invención se describen completamente en la descripción anterior. Los expertos en la técnica pueden entender la invención y hacer varias modificaciones sin apartarse de la invención, y sin desviarse del alcance de las reivindicaciones que siguen.

# ES 2 300 240 T3

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para la separación de una mezcla de gases de alimentación incluyendo oxígeno y nitrógeno, que incluye:
- 10 (a) comprimir una primera mezcla de gases (101) incluyendo oxígeno para obtener un gas oxidante comprimido (105) y quemar el gas oxidante comprimido (105) y combustible en un motor de combustión (107) para generar trabajo de eje y un gas de escape caliente (111);
- 15 (b) comprimir una segunda mezcla de gases (125) incluyendo oxígeno y nitrógeno para obtener una mezcla comprimida de gases de alimentación (129), y separar la mezcla comprimida de gases de alimentación (129) en dos o más corrientes de gas producto con composiciones diferentes;
- 20 (c) utilizar el trabajo de eje de (a) para proporcionar al menos una porción del trabajo requerido para comprimir la segunda mezcla de gases (125) de (b); y
- (d) calentar una de las corrientes de gas producto (121) por intercambio de calor indirecto, expandiendo el gas de escape caliente (117) y el trabajo la corriente de gas producto calentado resultante (147) para generar trabajo de eje y obtener una corriente de gas producto expandido (151).
2. El método de la reivindicación 1 donde el motor de combustión es un motor de combustión de turbina de gas (113).
- 25 3. El método de la reivindicación 1 donde el motor de combustión es un motor de combustión interna.
4. El método de la reivindicación 1 donde la mezcla de gases de alimentación (101) es aire, una de las corrientes de gas producto es un gas producto enriquecido con oxígeno (139), y otra de las corrientes de gas producto es un gas producto enriquecido con nitrógeno (137).
- 30 5. El método de la reivindicación 4 donde el gas producto enriquecido con nitrógeno (137) proporciona el gas producto de (d), donde el gas producto enriquecido con nitrógeno (137) es calentado por intercambio de calor indirecto con el gas de escape caliente (117), y donde el gas producto enriquecido con nitrógeno calentado resultante (147) es expandido en una turbina de expansión de producto enriquecido con nitrógeno (149) para generar trabajo de eje y obtener una corriente de gas producto enriquecido con nitrógeno a presión reducida.
- 35 6. El método de la reivindicación 5 donde el gas producto enriquecido con oxígeno (139) es comprimido en un compresor de oxígeno producido (141).
- 40 7. El método de la reivindicación 6 donde al menos una porción del trabajo requerido por el compresor de oxígeno producido (141) la proporciona el trabajo de eje generado por la turbina de expansión de producto enriquecido con nitrógeno (149).
- 45 8. El método de la reivindicación 5 donde el gas producto enriquecido con nitrógeno (137) es comprimido en un compresor de producto enriquecido con nitrógeno (145) antes de ser calentado por intercambio de calor indirecto con el gases de escape caliente.
- 50 9. El método de la reivindicación 8 donde una porción del trabajo requerido por el compresor de producto enriquecido con nitrógeno (145) la proporciona el trabajo de eje generado por la turbina de expansión de producto enriquecido con nitrógeno (149).
10. El método de la reivindicación 5 que incluye además:
- 55 (e) recalentar el gas producto enriquecido con nitrógeno a presión reducida (407) por transferencia indirecta de calor con el gas de escape caliente (117) y expandir el gas producto enriquecido con nitrógeno recalentado resultante (408) en otra turbina de expansión de producto enriquecido con nitrógeno (411) para obtener un gas producto enriquecido con nitrógeno final (413) a otra presión reducida.
- 60 11. El método de la reivindicación 10 donde el gas producto enriquecido con oxígeno (139) es comprimido en un compresor de oxígeno producido (141).
12. El método de la reivindicación 11 donde al menos una porción del trabajo requerido por el compresor de oxígeno producido (141) la proporciona el trabajo de eje generado por las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno (405, 411).
- 65 13. El método de la reivindicación 10 donde el gas producto enriquecido con nitrógeno (137) es comprimido en un compresor de producto enriquecido con nitrógeno (145) antes de ser calentado por transferencia indirecta de calor con el gas de escape caliente.

## ES 2 300 240 T3

14. El método de la reivindicación 13 donde una porción del trabajo requerido por el compresor de producto enriquecido con nitrógeno (145) la proporciona el trabajo de eje generado por las turbinas de expansión de producto enriquecido con nitrógeno (405, 411).

5 15. El método de la reivindicación 10 donde el calentamiento del gas producto enriquecido con nitrógeno por transferencia indirecta de calor con el gas de escape caliente produce un gas de escape enfriado (615), y donde el gas de escape enfriado (615) y el gas producto enriquecido con nitrógeno final (613) a otra presión reducida se combinan en un generador de vapor de recuperación de calor, y el gas combinado se enfría más en él por transferencia indirecta de calor con agua para obtener una corriente de agua calentada.

10 16. El método de la reivindicación 10 donde el calentamiento del gas producto enriquecido con nitrógeno y el recalentamiento del gas producto enriquecido con nitrógeno a presión reducida por transferencia indirecta de calor con el gas de escape caliente (117) producen un gas de escape enfriado, y donde el gas de escape enfriado y el gas producto enriquecido con nitrógeno final a otra presión reducida se enfrían más por transferencia indirecta de calor con una corriente de proceso (617) para obtener una corriente de proceso calentada (621).

17. El método de la reivindicación 4 donde el aire es separado en el gas producto enriquecido con oxígeno y el gas producto enriquecido con nitrógeno por destilación criogénica.

20 18. Un aparato para la separación de aire que incluye:

- (a) un primer compresor de aire (103) para comprimir aire, proporcionando por ello una primera corriente de alimentación de aire presurizado (105);
- 25 (b) un segundo compresor de aire (127) para comprimir aire, proporcionando por ello una segunda corriente de alimentación de aire presurizado (129);
- (c) un combustor de la turbina de gas (107) para quemar combustible con la primera corriente de alimentación de aire presurizado (105) para obtener un gas presurizado caliente (111) y una turbina de expansión de turbina de gas (113) para expandir el gas presurizado caliente para obtener un gas de escape caliente (117), donde la turbina de expansión de turbina de gas (113) está conectada mecánicamente con los compresores de aire primero y segundo (103, 127) de tal manera que el trabajo de la turbina de expansión de turbina de gas (113) mueva los compresores de aire primero y segundo (103, 127);
- 30 (d) medios de tubo para el flujo de la primera corriente de alimentación de aire presurizado (105) del primer compresor de aire (103) al combustor de la turbina de gas (107) y para el flujo del gas presurizado caliente del combustor de la turbina de gas (107) a la turbina de expansión de turbina de gas (113);
- (e) medios de enfriamiento (131) para enfriar la segunda corriente de alimentación de aire presurizado (129) para proporcionar una corriente de aire de alimentación enfriada presurizada (133);
- 35 (f) medios de tubo para el flujo de la segunda corriente de alimentación de aire presurizado (129) del segundo compresor de aire (127) a los medios de enfriamiento (131);
- 40 (g) un sistema de separación de aire (135) para separar la corriente de alimentación de aire presurizada enfriada (133) en al menos un gas producto enriquecido con oxígeno (139) y un gas producto enriquecido con nitrógeno (137); y
- (h) medios de tubo para el flujo de la corriente de alimentación de aire presurizada enfriada (133) de los medios de enfriamiento al sistema de separación de aire (135);
- 45 (i) medios de intercambio térmico (119) para calentar el gas producto enriquecido con nitrógeno (137) por intercambio de calor indirecto con gas de escape caliente (117) de la primera turbina de expansión (113).
- 50 (j) una turbina de expansión de gas producto enriquecido con nitrógeno caliente (149) para expandir el gas producto enriquecido con nitrógeno caliente resultante (147) de los medios de intercambio térmico (119); y
- 55 (k) medios de tubo para el flujo del gas producto enriquecido con nitrógeno (137) del sistema de separación de aire (135) a los medios de intercambio térmico (119) y para el flujo de el gas de escape caliente (117) desde la turbina de expansión de turbina de gas (113) a los medios de intercambio térmico (119).
- 60
- 65

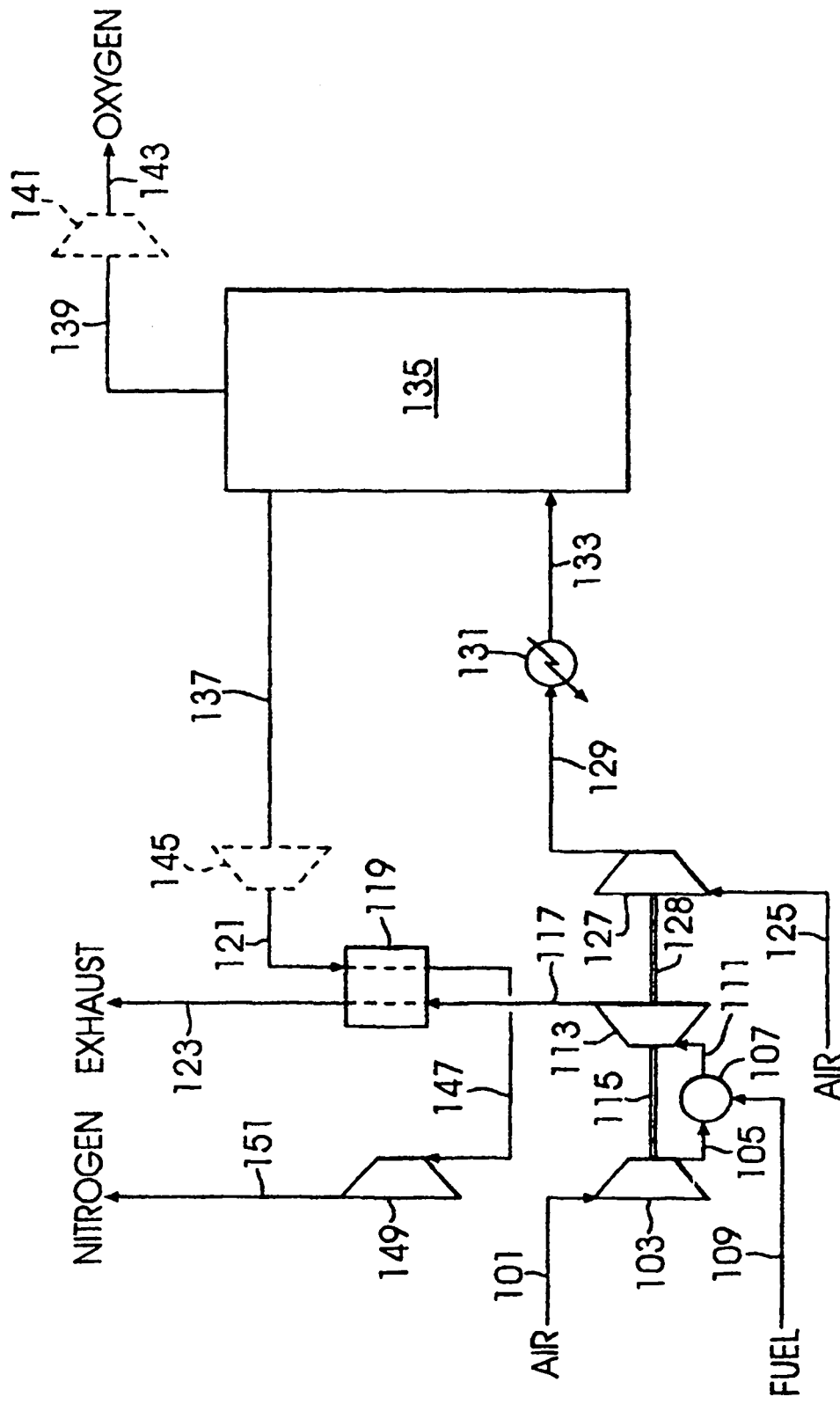


FIG. 1

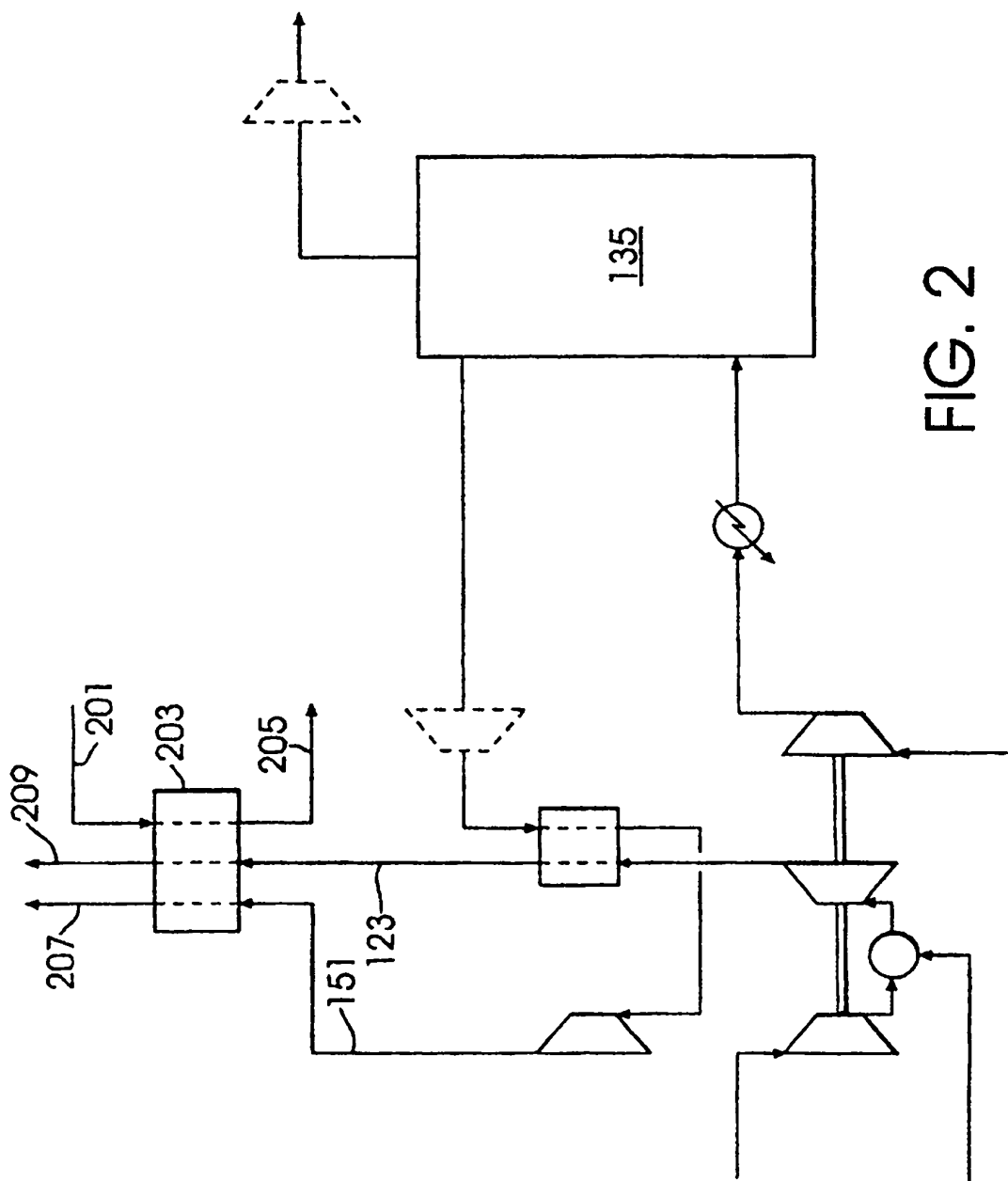


FIG. 2

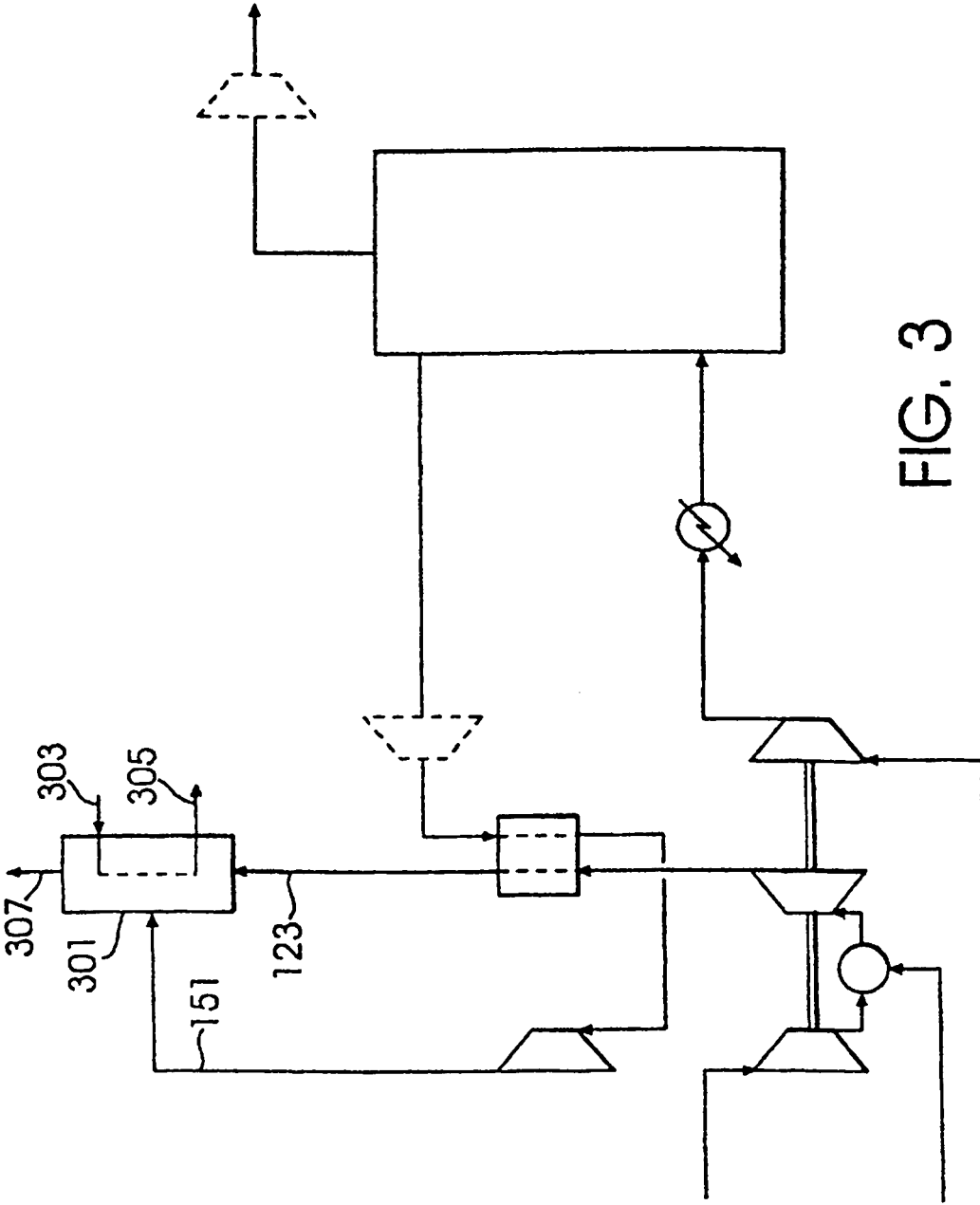


FIG. 3

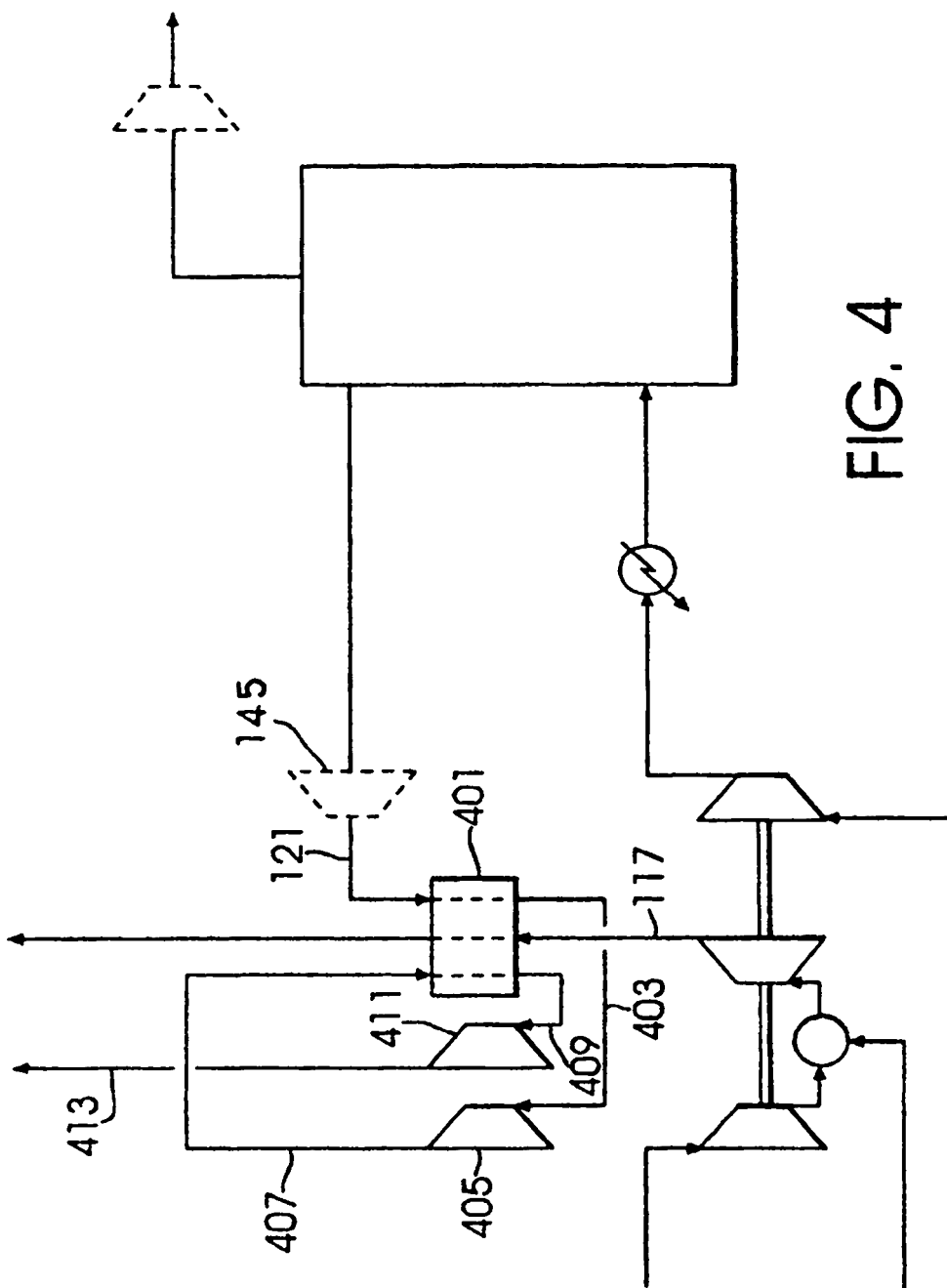


FIG. 4

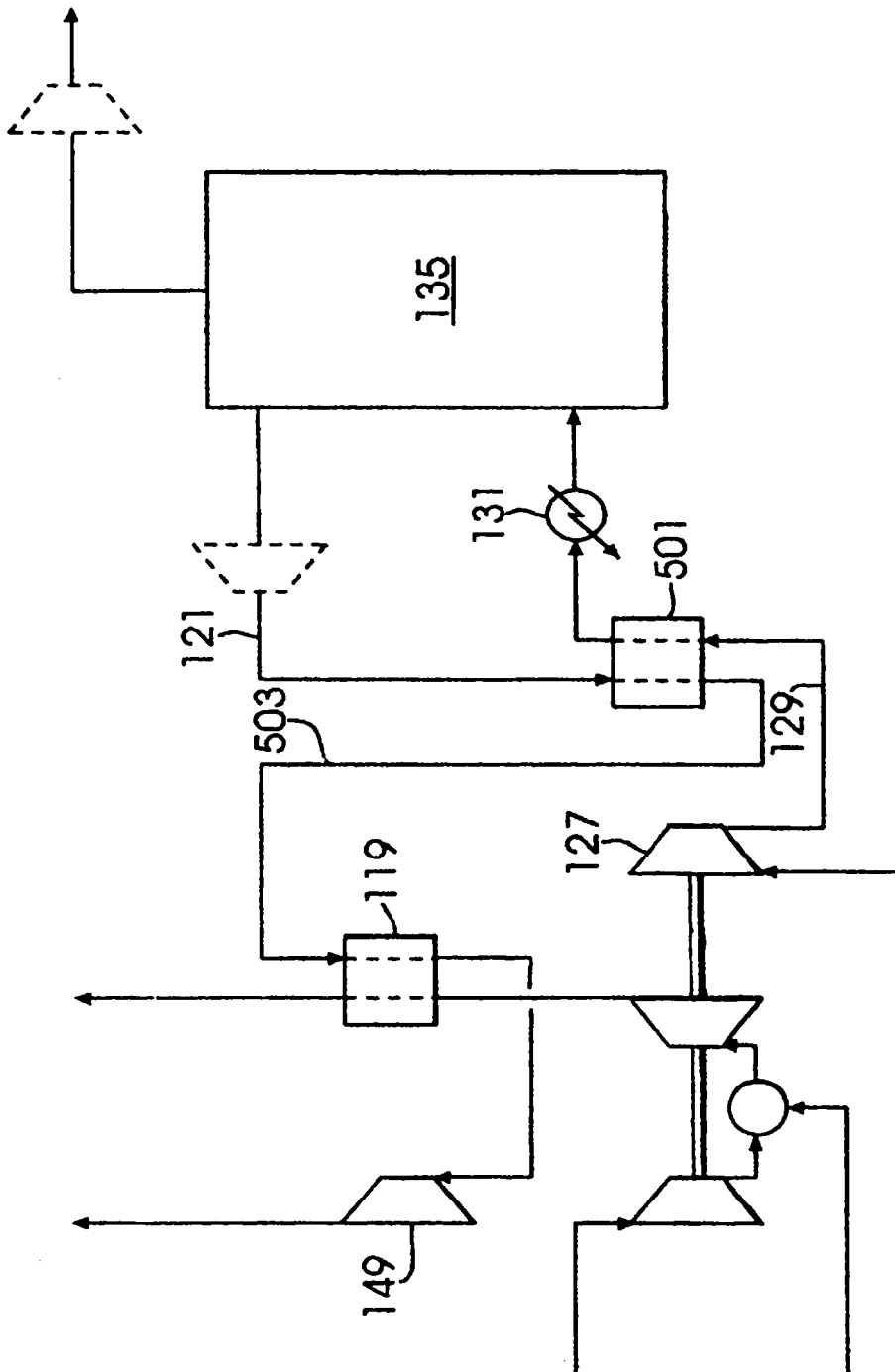


FIG. 5

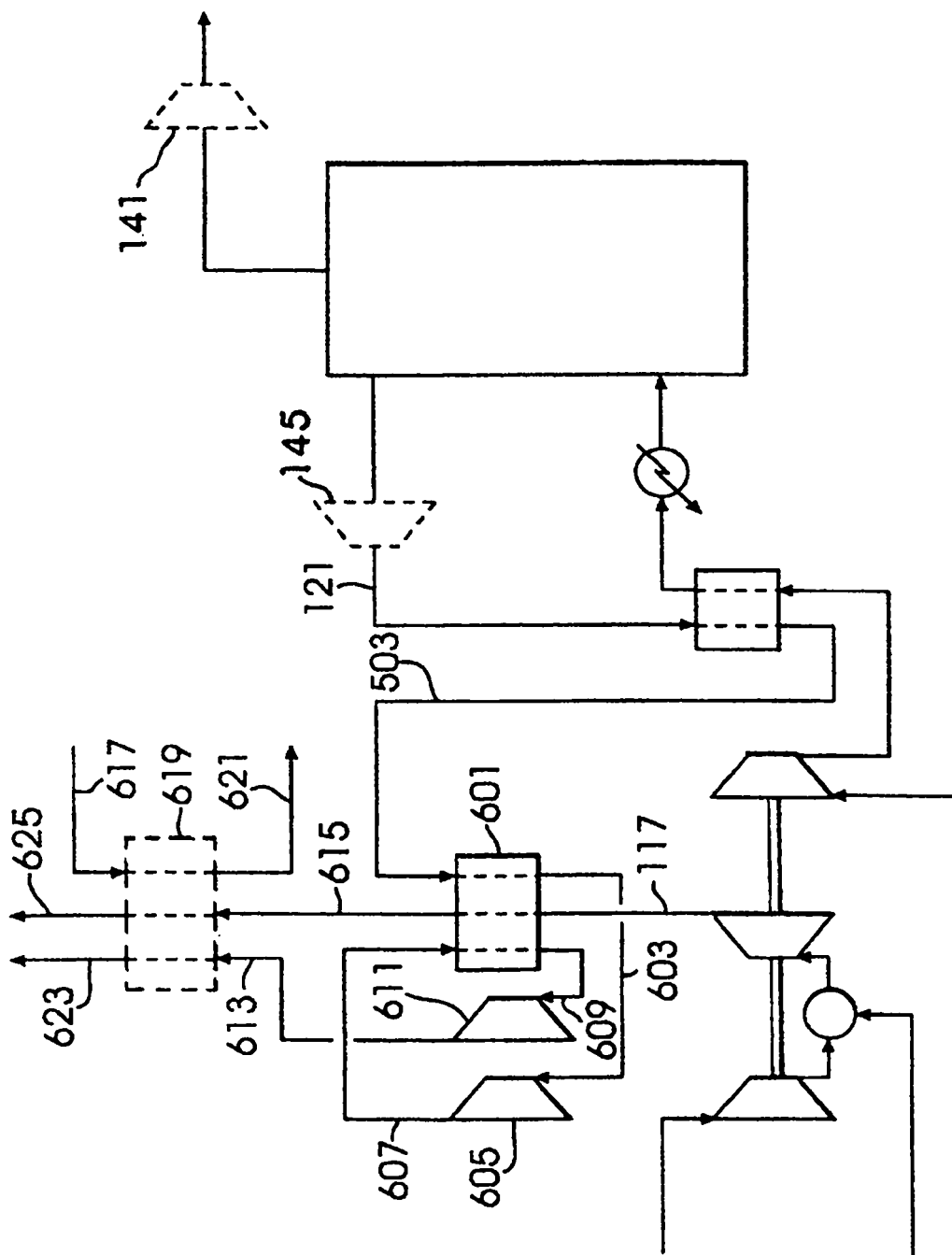


FIG. 6