

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 411 658**

51 Int. Cl.:

**F25J 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.03.2004 E 04720953 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2013 EP 1613909**

54 Título: **Proceso de refrigeración integrado de múltiples circuitos cerrados para la licuación de gases**

30 Prioridad:

**18.03.2003 US 391390**  
**19.02.2004 US 780613**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.07.2013**

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)**  
**7201 HAMILTON BOULEVARD**  
**ALLENTOWN, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:

**ROBERTS, MARK, JULIAN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 411 658 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).

## DESCRIPCION

Proceso de refrigeración integrado de múltiples circuitos cerrados para la licuación de gases

5 Los sistemas de refrigeración de circuitos cerrados múltiples son ampliamente utilizados para la licuación de gases a bajas temperaturas. En la licuación de gas natural, por ejemplo, se pueden integrar dos o tres sistemas de refrigeración en circuito cerrado para proporcionar la refrigeración a intervalos de temperatura sucesivamente más bajos para enfriar y licuar el gas de alimentación. Normalmente, al menos uno de estos sistemas de refrigeración de circuito cerrado utiliza un refrigerante de varios componentes o mixto que proporciona refrigeración en un intervalo de temperatura seleccionado a medida que el líquido refrigerante mixto se vaporiza y enfría el gas de alimentación mediante transferencia indirecta de calor. Son muy conocidos los sistemas que utilizan dos sistemas de refrigerante mixto; en algunas aplicaciones, un tercer sistema refrigerante que utiliza un refrigerante de componente puro como el propano proporciona el enfriamiento inicial del gas de alimentación. Este tercer sistema refrigerante también se puede utilizar para proporcionar una parte del enfriamiento para condensar uno o ambos refrigerantes mixtos después de la compresión. La refrigeración en el intervalo de temperatura más bajo se puede obtener mediante un circuito de expansión de gas que se integra con un circuito de refrigerante mixto que opera en un intervalo de temperatura más alto.

20 En un proceso de refrigerante mixto típico multicircuito para licuar gas natural, el nivel bajo o circuito de refrigeración más frío proporciona la refrigeración mediante la vaporización en un intervalo de temperatura de entre alrededor de  $-30^{\circ}\text{C}$  a alrededor de  $-165^{\circ}\text{C}$  para proporcionar la licuación final y el subenfriamiento opcional del gas de alimentación enfriado. El refrigerante se vaporiza completamente en el intervalo de temperatura más frío y se puede devolver directamente al compresor del refrigerante, por ejemplo, como se describe en las patentes representativas U.S. 6.119.479 y 6.253.574 B1. Alternativamente, el refrigerante completamente vaporizado se puede calentar antes de la compresión para proporcionar el enfriamiento previo del gas de alimentación como se describe en las patentes U.S. 4.274.849 y 4.755.200 o para el enfriamiento de las corrientes de refrigerante como se describe en la patente australiana AU-A- 43943/85. Un rasgo característico común de estos procesos de licuación típicos es que el refrigerante en el nivel bajo o circuito de refrigeración más frío se vaporiza completamente al tiempo que proporciona la refrigeración en el intervalo más bajo de temperatura. Cualquier refrigeración adicional facilitada por el refrigerante antes de la compresión se efectúa así mediante la transferencia de calor sensible procedente del refrigerante vaporizado a otras corrientes de proceso.

35 El documento US-A-4112700 describe la licuación de gas natural mediante un proceso en el cual el refrigerante que tiene que ser vaporizado en la zona de intercambio de calor más fría es enfriado en zonas de intercambio de calor proporcionando el enfriamiento de nivel más bajo del gas natural y luego en una zona auxiliar de intercambio de calor en el cual se vaporiza una parte del refrigerante.

40 El documento US-A-4057972 describe con referencia a la Figura 4, la licuación de gas natural utilizando tres zonas de intercambio de calor de acuerdo con el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 10. En la primera y segunda zonas, la alimentación de gas natural es enfriada mediante la vaporización de propano a diferentes presiones; siendo la presión en la segunda zona más alta que en la primera zona. Las corrientes de propano vaporizado desde esas zonas son comprimidas y condensadas para proporcionar una corriente única de refrigerante líquido desde el cual la carga de refrigeración es rechazada al aire o al agua antes de la separación en corrientes de refrigerante respectivas para descargar a ráfagas en la primera y segunda zonas. La primera zona enfría el gas de alimentación por debajo de aproximadamente los  $21^{\circ}\text{C}$  ( $70^{\circ}\text{F}$ ) antes del secado y la segunda zona elimina los carbonos pesados del gas de alimentación seco enfriándolo por debajo de aproximadamente  $-40^{\circ}\text{C}$  ( $-40^{\circ}\text{F}$ ). El gas de alimentación libre de hidrocarburos es posteriormente licuado en la tercera zona mediante la vaporización de la fracción más ligera de un refrigerante de varios componentes o multicomponente (MCR). La tercera zona está situada en el extremo frío de un intercambiador de calor en cascada de MCR, que funciona independientemente del ciclo de refrigerante que incorpore la primera y segunda zonas. Las corrientes de MCR conteniendo la fracción más ligera son enfriados en partes más calientes del intercambiador de calor en cascada mediante la vaporización de las fracciones MRC más pesadas.

55 En procesos de licuación conocidos que utilizan tres sistemas integrados de refrigeración en circuito cerrado, el tamaño de los equipos de proceso en el sistema tercero o de refrigeración de temperatura más baja puede ser más pequeño con respecto a los dos sistemas de refrigeración más calientes. A medida que la capacidad del proceso de licuación se incrementa, los tamaños de los equipos de compresión y de intercambio de calor en los dos sistemas más calientes alcanzarán los tamaños máximos disponibles por parte de los suministradores de equipos, mientras que los tamaños de los equipos correspondientes en el sistema de refrigeración de más baja temperatura serán más pequeños que los tamaños máximos. Con el fin de incrementar aún más la capacidad de producción de este proceso de licuación, serían necesarios trenes paralelos debido a las limitaciones de tamaño de los equipos de compresión y/o de intercambio de calor en los dos sistemas de refrigeración más calientes. Sería deseable incrementar la capacidad de producción máxima de este proceso de licuación dentro de los límites de tamaños disponibles de compresor e intercambiador de calor, permitiendo de este modo la utilización de procesos de licuación de un solo tren más grande.

BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

Esta necesidad es a la que se enfrenta las realizaciones de la presente invención, que se refiere a sistemas de refrigeración integrados que incrementan la capacidad de producción sin requerir equipo paralelo duplicado en los sistemas de refrigeración más calientes.

5 La invención proporciona un método para licuar un gas, que comprende enfriar sucesivamente una corriente de gas de alimentación a través de un primero, un segundo y un tercero intervalo de temperatura para proporcionar un producto licuado, en el que la refrigeración para enfriar la corriente del gas de alimentación en el primer intervalo de temperatura es facilitado por un primer refrigerante de vaporización. La refrigeración para enfriar la corriente en el segundo intervalo de temperatura es facilitado por un segundo refrigerante de vaporización, y la refrigeración para enfriar la corriente en el tercer intervalo de temperatura es facilitado por un tercer refrigerante de vaporización, dichos primero, segundo y tercer refrigerantes siendo de diferentes composiciones entre sí, y además en el que un refrigerante auxiliar derivado del tercer refrigerante de vaporización proporciona refrigeración adicional mediante la vaporización a temperatura por encima de la temperatura más baja en el segundo intervalo de temperatura.

15 El refrigerante auxiliar puede ser una segunda porción del tercer refrigerante vaporizado a una presión diferente.

20 La primera presión puede ser más baja que la segunda presión. El primer refrigerante puede ser un refrigerante de componente único, el segundo y tercer refrigerantes pueden ser refrigerantes de varios componentes. El primer intervalo de temperatura puede estar entre los 35° C y los -70° C, el segundo intervalo de temperatura puede estar entre los 0° C y los -140° C, y el tercer intervalo de temperatura puede estar entre las temperaturas de los -90° C y los -165° C. La corriente de gas de alimentación puede ser gas natural.

25 El tercer refrigerante puede ser facilitado mediante:

- (1) Compresión y enfriamiento de un refrigerante vaporizado para proporcionar un refrigerante comprimido intermedio;
- (2) Combinación del refrigerante comprimido intermedio con un refrigerante vaporizado adicional para proporcionar un refrigerante intermedio combinado;
- 30 (3) Compresión y enfriamiento del refrigerante intermedio combinado para proporcionar un refrigerante comprimido enfriado; y
- (4) Enfriamiento y condensación adicional del refrigerante comprimido enfriado para proporcionar el tercer refrigerante, en el que la refrigeración para el enfriamiento y condensación es facilitado mediante la vaporización de la segunda parte del tercer refrigerante a la segunda presión.

35 El enfriamiento del primer vapor comprimido puede generar una corriente de dos fases, y el método puede comprender además separar la corriente de dos fases en una corriente de vapor y una corriente de líquido, comprendiendo la corriente de vapor generar un vapor comprimido adicional, bombear la corriente de líquido para proporcionar un líquido presurizado, combinar el vapor comprimido adicional y el líquido presurizado para generar una corriente refrigerante combinada, y enfriar la corriente refrigerante combinada para proporcionar el refrigerante auxiliar parcialmente condensado, comprimido, enfriado.

40 El refrigerante auxiliar puede ser derivado del tercer refrigerante a menos que sea una parte del mismo.

45 El primer refrigerante puede ser un refrigerante de componente único. El segundo y tercer refrigerantes pueden ser refrigerantes de varios componentes. El primer intervalo de temperatura puede estar entre los 35° C y los -70° C, el segundo intervalo de temperatura puede estar entre los 0° C y los -140° C, y el tercer intervalo de temperatura puede estar entre los -90° C y los -165° C. La corriente de gas de alimentación puede ser gas natural.

50 El refrigerante auxiliar puede ser facilitado mediante:

- (1) Vaporización parcial o completa del tercer refrigerante para proporcionar un refrigerante calentado parcial o completamente vaporizado; y
- 55 (2) Combinación del refrigerante calentado con un refrigerante enfriado de presión reducida para proporcionar el refrigerante auxiliar,

en el que el refrigerante enfriado de presión reducida es provisto mediante:

- (3) Vaporización del refrigerante auxiliar para generar un refrigerante auxiliar vaporizado;
- 60 (4) Compresión y enfriamiento del refrigerante auxiliar vaporizado para proporcionar un refrigerante auxiliar parcialmente condensado, comprimido, enfriado;
- (5) Separación del refrigerante auxiliar parcialmente condensado, comprimido, enfriado en una fracción líquida y en una fracción de vapor;
- 65 (6) Enfriamiento adicional de la fracción líquida mediante el intercambio de calor indirecto con el refrigerante auxiliar de vaporización para proporcionar un refrigerante líquido enfriado; y

- (7) Reducir la presión del refrigerante líquido enfriado para proporcionar el refrigerante de presión reducida enfriado.

El enfriamiento del primer vapor comprimido puede generar una corriente de dos fases, y el método puede además comprender la separación de la corriente de dos fases en una corriente de vapor y una corriente de un líquido, comprendiendo la corriente de vapor: generar un vapor comprimido adicional, bombear la corriente de líquido para proporcionar un líquido presurizado, combinar el vapor comprimido adicional y el líquido presurizado para generar una corriente refrigerante combinada, y enfriar la corriente refrigerante combinada para proporcionar el refrigerante auxiliar parcialmente condensado, comprimido, enfriado.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

La siguiente es una descripción únicamente a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos de realizaciones actualmente preferidas de la invención.

La figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de licuación y de refrigeración de gas de acuerdo con la técnica anterior;

La figura 2 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de licuación y de refrigeración de gas de acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención que utiliza dos niveles de presión para la vaporización del refrigerante más frío;

La figura 3 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de licuación y de refrigeración de gas de acuerdo con otro ejemplo de realización de la presente invención, que utiliza la separación de fases del refrigerante utilizado en el intervalo de temperatura más fría;

La figura 4 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de licuación y de refrigeración de gas de acuerdo con una realización ejemplar alternativa de la presente invención; y

La figura 5 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de licuación y de refrigeración de gas de acuerdo con una realización ejemplar alternativa de la presente invención.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Las realizaciones de la invención descritas en la presente memoria se refieren a procesos de refrigeración mejorados para la licuación de gas utilizando sistemas de refrigeración de tres circuitos cerrados que enfrían una corriente de alimentación a través de tres intervalos de temperatura a temperaturas sucesivamente decrecientes. Estas realizaciones se dirigen hacia mejoras del sistema de refrigeración que proporciona refrigeración en el más bajo de estos intervalos de temperatura, en las que los tamaños del compresor y del equipo de intercambio de calor utilizados en el sistema de refrigeración en el intervalo de temperatura más bajo se incrementan en relación a los tamaños de los compresores y los intercambiadores de calor utilizados en los sistemas de refrigeración en los intervalos de temperatura más altos. El término refrigeración utilizado en el presente documento significa la transferencia indirecta de calor a temperaturas por debajo de la ambiental desde una corriente de fluido a un refrigerante. Un refrigerante es un fluido puro o mixto que absorbe calor de otra corriente por intercambio de calor indirecto con esa corriente.

En la figura 1 se ofrece un diagrama de flujo esquemático de un proceso de licuación representativo de una técnica anterior. El gas de alimentación en la línea o tubería 1, por ejemplo, gas natural que ha sido pre-tratado para eliminar agua y otras impurezas fácilmente condensables, se enfría a través de un primer intervalo de temperatura por intercambio de calor indirecto con un primer refrigerante que se vaporiza en el primer intercambiador 3 de calor. El refrigerante puede ser un refrigerante de componente puro tal como propano o alternativamente puede ser un refrigerante de varios componentes que comprenda dos o más hidrocarburos ligeros seleccionados a partir de etano, etileno, propano, propileno, butano e isobutano.

La alimentación enfriada en la línea 5 se enfría adicionalmente a través de un segundo intervalo de temperatura por intercambio de calor indirecto con un segundo refrigerante que se vaporiza en el segundo intercambiador 7 de calor. La alimentación adicionalmente enfriada en la línea 9 se enfría todavía más y se licua a través de un tercer intervalo de temperatura por intercambio de calor indirecto con un tercer refrigerante que se vaporiza en el tercer intercambiador 11 de calor. Normalmente el refrigerante es un refrigerante de varios componentes que comprende dos o más componentes refrigerantes seleccionados de metano, etano, etileno, propano y propileno. El producto licuado final en la línea 13 se puede reducir de presión a través de la válvula 15 de expansión para producir el producto líquido final en la línea 17.

La refrigeración para este proceso se obtiene normalmente mediante tres sistemas de refrigeración en circuito cerrado o en cascada. El primer sistema de refrigeración opera mediante el suministro de un refrigerante vapor en la línea 101 al compresor de primera etapa 103, en el que se comprime el gas hasta 2 a 4 bares (todas las presiones indicadas en el presente documento son presiones absolutas), se enfría en el pos-enfriador 105, se comprime más hasta 6 a 10 bares en un segundo compresor 107, y se enfría en el pos-enfriador 109 para obtener un refrigerante comprimido a la temperatura ambiente en la línea 111. El refrigerante comprimido se enfría de nuevo y condensa al menos parcialmente en los conductos de intercambio de calor en el primer intercambiador 3 de calor. El refrigerante condensado total o parcialmente en la línea 113 se reduce de presión a través de la válvula 115 de estrangulación

para proporcionar refrigerante de presión reducida en la línea 117, y este refrigerante se vaporiza en los conductos de intercambio de calor independientes para proporcionar la refrigeración en el primer intercambiador 3 de calor. El refrigerante vaporizado en la línea 101 se comprime como se ha descrito anteriormente.

5 El segundo sistema de refrigeración opera mediante el suministro de un vapor de refrigerante en la línea 201 al compresor 203, en el que el gas se comprime hasta 10 a 20 bares y se enfría en el pos-enfriador 205 hasta aproximadamente la temperatura ambiente. El refrigerante comprimido en la línea 207 se enfría adicionalmente y condensa al menos parcialmente en los conductos de intercambio de calor en el primer intercambiador 3 de calor y en el segundo intercambiador 7 de calor. El refrigerante total o parcialmente condensado en la línea 209 se reduce de presión a través de la válvula 211 de estrangulación para proporcionar refrigerante de presión reducida en la línea 213, y este refrigerante se vaporiza en conductos de intercambio de calor independientes para proporcionar la refrigeración en el segundo intercambiador 7 de calor. El refrigerante vaporizado en la línea 201 se comprime como se ha descrito anteriormente.

15 El tercer sistema de refrigeración opera mediante el suministro de un refrigerante en vapor en la línea 301 al compresor 302, en el que el gas se comprime hasta alrededor de 35 a 60 bares y se enfría en el pos-enfriador 303 hasta aproximadamente la temperatura ambiente. El refrigerante comprimido en la línea 304 se enfría más y se condensa al menos parcialmente en los conductos de intercambio de calor en el primer intercambiador 3 de calor, segundo intercambiador 7 de calor y tercer intercambiador 11 de calor. El refrigerante total o parcialmente condensado en la línea 305 reduce la presión a través de la válvula 307 de estrangulación para proporcionar refrigerante de presión reducida en la línea 309, y este refrigerante se vaporiza en los conductos de intercambio de calor independientes para proporcionar la refrigeración en el tercer intercambiador 11 de calor. El refrigerante vaporizado en la línea 301 se comprime como se ha descrito anteriormente. La utilización del tercer circuito de refrigeración que incluye el intercambiador 11 de calor y el compresor 302 proporciona una parte de la exigida refrigeración total necesaria para licuar el gas de alimentación y reducir las necesidades de refrigeración y los tamaños de los primero y segundo sistemas de refrigeración.

25 Son posibles modificaciones o alternativas conocidas del proceso de la técnica anterior de la figura 1 que utiliza tres circuitos de refrigeración. Por ejemplo, el primer circuito de refrigeración puede utilizar la refrigeración en cascada en la que el refrigerante se vaporiza a tres presiones diferentes con el refrigerante vaporizado que retorna a las diferentes etapas en un compresor multietapa. El segundo circuito de refrigeración puede vaporizar el refrigerante a dos presiones diferentes a través de dos conjuntos independientes de conductos de intercambio de calor en el intercambiador 7 de calor y retorno de cada corriente refrigerante vaporizada a dos etapas separadas del compresor.

35 En otra modificación, el tercer circuito de refrigeración puede vaporizar el refrigerante a dos presiones diferentes a través de dos conjuntos independientes de conductos de intercambio de calor en el intercambiador 11 de calor y retornar cada corriente de refrigerante vaporizado a dos etapas independientes del compresor. El refrigerante vaporizado en la línea 301 anterior al compresor 302 se puede utilizar en un intercambiador de calor independiente para proporcionar enfriamiento a una parte de la segunda corriente 215 refrigerante y a una parte del refrigerante comprimido en la línea 304.

40 En otro proceso conocido con tres circuitos de refrigeración, el refrigerante que se vaporiza en el primer circuito de refrigeración se utiliza para preenfriar el gas de alimentación; la descarga del compresor del primer circuito de refrigeración se enfría y condensa mediante una parte del refrigerante que se vaporiza procedente del segundo circuito de refrigeración. El refrigerante vaporizado en el tercer circuito de refrigeración procedente del tercer intercambiador de calor anterior a la compresión se utiliza para preenfriar más el gas de alimentación. Este gas de alimentación adicionalmente preenfriado se enfría y condensa luego en el tercer intercambiador de calor. El segundo circuito de refrigeración enfría y condensa el tercer refrigerante comprimido.

45 Un rasgo característico común de estos procesos de licuación conocidos es que el refrigerante en el tercer circuito de refrigeración, es decir, el de bajo nivel o circuito de refrigeración más frío, se vaporiza completamente al tiempo que proporciona la refrigeración en el intervalo de temperatura más bajo. Cualquier refrigeración adicional proporcionada por el refrigerante anterior a la compresión se efectúa únicamente por la transferencia de calor sensible del refrigerante vaporizado a otras corrientes del proceso.

50 En referencia al primer ejemplo de realización de la invención mostrado en la figura 2. El gas de alimentación en la línea 1, por ejemplo, gas natural que se ha pretratado para eliminar el agua y otras impurezas condensables, se enfría a través de un primer intervalo de temperatura por intercambio de calor indirecto con un primer refrigerante que vaporiza en el primer intercambiador 310 de calor. El refrigerante puede ser un refrigerante de varios componentes que comprenda, por ejemplo, dos o más hidrocarburos ligeros seleccionados de etano, etileno, propano, butano, n-pentano e i-pentano (es decir, 2-metil butano). Alternativamente, el refrigerante puede ser de un solo componente tal como propano. La temperatura más alta del primer intervalo de temperatura puede ser la temperatura ambiente y la temperatura más baja en el primer intervalo de temperatura puede estar entre los -35° C y los -55° C. La composición específica del refrigerante se puede seleccionar para alcanzar la temperatura más baja deseada en el primer intervalo de temperatura.

- 5 La alimentación enfriada en la línea 5 se enfría más a través de un segundo intervalo de temperatura mediante intercambio de calor indirecto con un segundo refrigerante que se vaporiza en el segundo intercambiador 311 de calor hasta una temperatura entre los  $-40^{\circ}\text{C}$  y los  $-100^{\circ}\text{C}$ . El refrigerante es normalmente un refrigerante de varios componentes y puede comprender, por ejemplo, dos o más componentes seleccionados de metano, etano, etileno y propano. La composición específica del refrigerante se puede seleccionar para alcanzar la temperatura más baja deseada en el segundo intervalo de temperatura.
- 10 La alimentación es adicionalmente enfriada en la línea 9 se enfría todavía más y se licua a través de un tercer intervalo de temperatura, alcanzando la temperatura más baja entre los  $-85^{\circ}\text{C}$  y los  $-160^{\circ}\text{C}$ , por intercambio de calor indirecto con un tercer refrigerante que se vaporiza en el tercer intercambiador 312 de calor. Este refrigerante es un refrigerante de varios componentes y puede comprender, por ejemplo, dos o más componentes seleccionados de metano, etano, etileno, propano, propileno, uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono, n-pentano, i-pentano (es decir, 2-metil butano), y nitrógeno. En este refrigerante, el i-pentano es un componente preferente (pero no requerido). La composición específica del refrigerante se puede seleccionar para alcanzar la temperatura deseada más baja en el tercer intervalo de temperatura. El producto licuado final en la línea 13 se puede reducir de presión a través de la válvula 15 de expansión para producir el producto líquido final en la línea 17.
- 20 El primer intervalo de temperatura se puede definir por una primera temperatura y una segunda temperatura, y la primera temperatura puede ser la temperatura ambiente. El segundo intervalo de temperatura se puede definir por la segunda temperatura y una tercera temperatura, y el tercer intervalo de temperatura se puede definir por la tercera temperatura y una cuarta temperatura. El primer intervalo de temperatura es el más alto o más caliente intervalo de temperatura y el tercer intervalo de temperatura es el más bajo o más frío intervalo de temperatura. La primera temperatura es la temperatura más alta y la cuarta temperatura es la temperatura más baja.
- 25 La refrigeración para este proceso se puede obtener mediante tres sistemas de refrigeración en circuito cerrado o en cascada. El primer sistema de refrigeración puede ser similar al primer sistema de refrigeración descrito anteriormente en relación a la figura 1, y se puede operar mediante el suministro de un refrigerante vapor por la línea 101 al compresor de primera etapa 103, en el que se comprime el gas hasta 2 a 4 bares, se enfría en el pos-enfriador 105, se comprime adicionalmente hasta 6 a 10 bares en el segundo compresor 107, y se enfría en el pos-enfriador 109 para proporcionar un refrigerante comprimido a temperatura ambiente en la línea 111. El refrigerante comprimido se enfría más y se condensa al menos parcialmente en los conductos de intercambio de calor en el primer intercambiador 310 de calor. El refrigerante parcial o totalmente condensado en la línea 113 se reduce de presión a través de la válvula 115 de estrangulación para proporcionar un refrigerante de presión reducida en la línea 117, y este refrigerante se vaporiza en conductos de intercambio de calor independientes para proporcionar la refrigeración en el primer intercambiador 310 de calor. El refrigerante vaporizado en la línea 101 se comprime como se ha descrito anteriormente.
- 30 El segundo sistema de refrigeración puede ser similar al primer sistema de refrigeración descrito anteriormente en relación a la figura 1, y se puede operar mediante el suministro de un refrigerante de vapor en la línea 201 al compresor 203, en el que el gas se comprime hasta 10 a 20 bares y se enfría en el pos-enfriador 205 hasta aproximadamente la temperatura ambiente. El refrigerante comprimido en la línea 207 se enfría más y se condensa al menos parcialmente en los conductos de intercambio de calor del primer intercambiador 310 de calor y del segundo intercambiador 311 de calor. El refrigerante parcial o totalmente condensado en la línea 209 se reduce en presión a través de la válvula 211 de estrangulación para proporcionar un refrigerante de presión reducida en la línea 213, y este refrigerante se vaporiza en conductos de intercambio de calor independientes para proporcionar la refrigeración en el segundo intercambiador 311 de calor. El refrigerante vaporizado en la línea 201 se comprime como se ha descrito anteriormente.
- 40 El tercer sistema de refrigeración de esta realización se aparta del tercer sistema de refrigeración de la técnica anterior descrito anteriormente y opera independientemente del primer y segundo sistemas de refrigeración. En este tercer sistema de refrigeración, el refrigerante condensado en la línea 313 se reduce de presión a través de la válvula 314 de estrangulación y el refrigerante condensado de presión reducida de la línea 315 se vaporiza parcialmente en el tercer intercambiador 312 de calor para proporcionar refrigeración al mismo.
- 50 El refrigerante condensado de presión reducida se vaporiza totalmente en el intercambiador 312 de calor frío y comprimido a temperaturas por debajo del ambiente. Una parte del enfriamiento del refrigerante comprimido es proporcionada por autorrefrigeración en un intercambiador de calor 357 a temperaturas por encima de la temperatura más alta del tercer intercambiador de calor 312 y por encima de la temperatura más baja de la corriente de alimentación en el intercambiador de calor 311. La presión del refrigerante de vaporización en el intercambiador de calor 357 es más alta que la presión del refrigerante de vaporización en el intercambiador 312 de calor frío.
- 60 El refrigerante vaporizado en la línea 316 se comprime a una presión en el intervalo de entre 3 a 25 bares en el primer compresor 359 y la corriente comprimida en la línea 361 es enfriada a una temperatura cercana a la ambiental en el enfriador 363 para proporcionar gas comprimido intermedio en la línea 365. El gas comprimido
- 65

- intermedio es combinado con una corriente de refrigerante auxiliar vaporizada en la línea 367 (descrita más adelante) y la corriente refrigerante combinada, normalmente a una temperatura cercana a la del ambiente y a una presión de entre 20 a 50 bares, se comprime además en el segundo compresor 319, se enfría y condensa parcialmente en el intercambiador enfriador 320, y se separa en el separador 321 para proporcionar una corriente de vapor en la línea 322 y una corriente de líquido en la línea 323.
- La corriente de vapor en la línea 322 se comprime de nuevo hasta una presión de entre 30 a 70 bares en el compresor 324, la corriente de líquido 323 del separador 321 se presuriza mediante la bomba 325 hasta la misma presión, se combinan las dos corrientes presurizadas para obtener la corriente 326 refrigerante de dos fases, la cual se enfría más en el pos-enfriador 327 mediante aire o agua de refrigeración.
- El refrigerante parcial o totalmente condensado en la línea 328 se enfría adicionalmente en el intercambiador 357 de calor para proporcionar refrigerante frío en la línea 369 y esta corriente de refrigerante está dividida en partes primera y segunda. La primera parte reduce su presión a través de la válvula 371 de estrangulación y el refrigerante de presión reducida, el cual puede ser definido como un refrigerante auxiliar, fluye a través de la línea 373 hasta el intercambiador de calor 357, donde se calienta y vaporiza para proporcionar refrigeración en el mismo y generar la corriente de refrigerante auxiliar vaporizada en la línea 367. La segunda parte del refrigerante enfriado fluye a través de la línea 329 y se enfría adicionalmente en los conductos 356 de flujo del tercer intercambiador 312 de calor para generar el refrigerante 313 anteriormente descrito. Así pues, el refrigerante auxiliar en líneas 367 y 373 es derivado del refrigerante de la línea 315 y en esta realización tiene la misma composición que el refrigerante de la línea 315.
- Opcionalmente, el separador 321, la bomba 325, el compresor 324, y el enfriador 327 no son utilizados, y el refrigerante condensado parcial o totalmente en la línea 328 es proporcionado directamente desde el enfriador 320.
- Normalmente, la corriente de refrigerante de baja presión en la línea 315 será vaporizado en un intervalo de presión de alrededor de 2 a 10 bares en el intercambiador 312 de calor, mientras que la corriente de refrigerante de presión intermedia en la línea 373 se vaporizará a una presión más alta en un intervalo de alrededor de 5 a 20 bares en el intercambiador de calor 357.
- Cuando la realización anterior es utilizada para la licuación de gas natural, los hidrocarburos más pesados que el metano pueden condensarse y ser eliminados antes de la licuación final del metano mediante métodos conocidos que incluyen columnas de esponja u otros procedimientos de destilación o condensación parcial. Estos líquidos de gas natural (GNL) condensados pueden ser fraccionados para proporcionar componentes seleccionados para los refrigerantes en los sistemas de refrigeración. Modificaciones a esta realización pueden incluir la provisión para vaporizar una parte del refrigerante en la línea 369 a una tercera presión más alta para proporcionar una refrigeración más caliente que la proporcionada por las corrientes de refrigerante de vaporización de presión más baja en las líneas 315 y 373.
- El refrigerante mixto utilizado en el tercer sistema refrigerante contiene componentes seleccionados y composiciones que permiten al refrigerante vaporizarse sobre un amplio intervalo de temperatura. Los criterios para seleccionar estos componentes y el intervalo de temperatura por encima del cual el refrigerante se vaporiza son diferentes que los criterios para seleccionar los refrigerantes mixtos normalmente utilizados en el tercer o circuito de refrigeración de bajo nivel de los sistemas de licuación de tres circuitos conocidos en la técnica. El refrigerante mixto en el tercer circuito de la presente invención ha de ser capaz de vaporizarse en el tercer intervalo de temperatura (es decir, en el tercer intercambiador 312 de calor), así como a temperaturas por encima de la temperatura más baja en el segundo intervalo de temperatura (es decir, por encima de la temperatura más baja en el segundo intercambiador 311 de calor). Dependiendo de la composición del refrigerante y la presión, la vaporización puede ser posible y deseable a temperaturas por encima de la temperatura más alta en el segundo intervalo de temperatura.
- Las composiciones típicas (en tanto por ciento molar) del refrigerante utilizado en el tercer circuito pueden incluir 5-15% de nitrógeno, 30-60% de metano, 10-30% de etano, 0-10% de propano y 5-15% de i-pentano. Pueden estar presentes en el refrigerante uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono, pero preferiblemente la concentración total del uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono es más baja que la concentración de i-pentano. Dependiendo de la presión de vaporización, la relación molar entre el i-pentano y el uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono en el refrigerante normalmente es mayor que uno y puede ser mayor que 1,5. El pentano normal (n-pentano) también puede estar presente en el refrigerante, preferiblemente en concentraciones más bajas que el i-pentano.
- Los componentes de refrigeración para utilizar en el tercer circuito de refrigeración se pueden obtener a partir de hidrocarburos líquidos más pesados que el metano, que se condensan por enfriamiento inicial de una alimentación de gas natural. Estos líquidos condensados del gas natural (GNLs) se pueden recuperar y fraccionar mediante métodos conocidos para obtener los componentes individuales para utilizar en el refrigerante mixto preferente. Cuando la alimentación de gas natural contiene n-pentano e i-pentano, por ejemplo, y cuando estos componentes se recuperan de los líquidos condensados del gas natural (GNLs) por destilación para utilizar en el refrigerante en el tercer circuito de refrigeración, la relación molar entre el i-pentano y el n-pentano en el refrigerante puede ser mayor

que la relación molar entre el i-pentano y el n-pentano en el gas de alimentación. Preferiblemente, la relación molar entre el i-pentano y el n-pentano en el refrigerante es dos veces mayor que la relación molar entre el i-pentano y el n-pentano en el gas de alimentación. Se prefiere el i-pentano más que el n-pentano para utilizar en este refrigerante porque el i-pentano tiene un punto de congelación más bajo que el n-pentano, lo que permite que el refrigerante se utilice a temperaturas más bajas.

Cuando la alimentación de gas natural contiene i-pentano y uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono, y cuando estos componentes se recuperan de los líquidos condensados del gas natural (GNLs) por destilación para utilizar en el refrigerante en el tercer circuito refrigerante, la relación molar entre el i-pentano y el uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono en el refrigerante puede ser mayor que la relación molar entre el i-pentano y el uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono en el gas de alimentación.

El tercer circuito de refrigeración en esta realización es auto-refrigerado y es independiente del primer y segundo circuitos de refrigeración. En contraste con el proceso de la figura 1, el refrigerante comprimido en el tercer circuito de refrigeración de la figura 2 no se enfría en las primera y segunda zonas de intercambio de calor mediante el primer y segundo circuitos de refrigeración. Esto descarga el primer y segundo circuitos de refrigeración, y por lo tanto reduce los tamaños de la primera y segunda zonas de intercambio de calor y del equipamiento de compresión en el primer y segundo circuitos de refrigeración en comparación con el proceso de la figura 1. Esto es especialmente beneficioso cuando el proceso de la figura 2 se utiliza en un sistema de licuación diseñado para un rendimiento de producto muy grande. Cuando los tamaños de los equipos de compresión y de intercambio de calor en el primer y segundo circuitos de refrigeración alcanzan los tamaños máximos disponibles por los suministradores de equipos, se puede alcanzar un ritmo de producción más alto con el proceso de la figura 2 que con el proceso de la figura 1.

Son posibles variaciones en el proceso de la realización de la figura 2. Por ejemplo, se pueden utilizar una etapa o más de dos etapas de compresión si se requiere, lo cual daría lugar a múltiples corrientes líquidas para bombear en conjunción con las etapas de compresión de vapor. En otra variación, la composición del refrigerante y las presiones en el sistema de compresión pueden ser tales que no se produzca condensación interetapas y no se requiera la separación líquido/vapor.

Con referencia ahora a la realización ejemplar de la Figura 3, el tercer circuito de refrigeración que proporciona refrigeración para enfriar el intercambiador de calor 312 se modifica para proporcionar autorrefrigeración mediante un refrigerante líquido auxiliar interno derivado del tercer refrigerante por la separación de fase. En la realización de la Figura 3, la corriente de alimentación en la línea 9 que es licuada se enfría a su más baja temperatura final en este intercambiador de calor enfriado y reducida en presión para proporcionar el producto líquido en la línea 13, que puede ser reducido en presión para proporcionar un producto de presión reducida en la línea 17. La refrigeración para este enfriamiento final se facilita enfriando el refrigerante en la línea 329 para proporcionar refrigerante líquido enfriado en la línea 313, reduciendo la presión a través de la válvula 314 de estrangulación para generar refrigerante de presión reducida en la línea 315, y vaporizando total o parcialmente este refrigerante para proporcionar la refrigeración en el intercambiador de calor 312.

El refrigerante parcial o totalmente vaporizado en la línea 316 se combina con un refrigerante de presión reducida proporcionado por la reducción de presión a través de la válvula 375 de estrangulación (descrita más adelante) para generar una corriente de refrigerante combinado en la línea 377. Esta corriente de refrigerante combinado, que puede ser descrita como una corriente de refrigerante auxiliar, se calienta y vaporiza en el intercambiador de calor 379 para proporcionar la refrigeración en el mismo y para generar refrigerante auxiliar vaporizado en la línea 381. Este refrigerante auxiliar vaporizado es comprimido en el compresor 319, enfriado y parcialmente condensado en el intercambiador enfriador 320, y separado en el separador 321 para proporcionar una corriente de vapor en la línea 322 y una corriente de líquido en la línea 323.

La corriente de vapor en la línea 322 es además comprimida a una presión de entre 30 a 70 bares en el compresor 324, la corriente de líquido del separador 321 es presurizada mediante la bomba 325 a la misma presión, las dos corrientes presurizadas se combinan para proporcionar la corriente 326 de refrigerante de dos fases, que además es enfriada en el pos-enfriador 327 por aire o agua de refrigeración para proporcionar un refrigerante auxiliar condensado parcialmente en la línea 328.

Opcionalmente, el separador 321, la bomba 325, el compresor 324, y el enfriador 327 no son utilizados, y el refrigerante auxiliar parcialmente condensado en la línea 328 es proporcionado directamente desde el enfriador 320.

Este refrigerante auxiliar parcialmente condensado fluye a través de la línea 328 hasta el separador 330, en donde es separado para generar una fracción de refrigerante de vapor en la línea 385 y una fracción de refrigerante líquido en la línea 383. La fracción de refrigerante líquido en la línea 383 se enfría en el intercambiador de calor 379 para generar refrigerante enfriado en la línea 389, que es reducido en presión a través de la válvula 375 de estrangulación y se combina con refrigerante parcial o totalmente vaporizado en la línea 316 para generar la corriente de refrigerante auxiliar en la línea 377.

Así pues el refrigerante en las líneas 383, 389, 377 y 381 es un refrigerante auxiliar derivado del refrigerante en la línea 315. En esta realización, este refrigerante auxiliar contiene los mismos componentes pero tiene diferente composición que la del refrigerante en la línea 315. La diferente composición es un resultado de la separación de fase del refrigerante parcialmente condensado en la línea 328 para generar el refrigerante líquido en la línea 387 y el refrigerante de vapor en la línea 385.

Ambas realizaciones ilustradas en las Figuras 2 y 3 difieren de la técnica anterior de la Figura 1, en el que el refrigerante del tercer circuito de enfriamiento que proporciona la temperatura más baja de refrigeración se vaporiza para proporcionar refrigeración a intervalos de temperatura tanto por encima como por debajo de la más baja temperatura de alimentación, siendo enfriada por el segundo circuito de enfriamiento en el intercambiador de calor 311. Así pues, la refrigeración por encima de la temperatura de alimentación más baja en el intercambiador de calor 311 se proporciona en el intercambiador de calor 357 (Figura 2) ó 379 (Figura 3) mediante la vaporización de un refrigerante auxiliar derivado del refrigerante en la línea 315 que proporciona la refrigeración en el intercambiador 312 de calor más frío. La refrigeración por debajo de la temperatura más baja de alimentación que es enfriada en el intercambiador 311 de calor es provista en el intercambiador 312 de calor. Así pues, la refrigeración en esos dos intervalos de temperatura, es decir, tanto por encima como por debajo de la temperatura más baja de alimentación en el intercambiador 311 de calor, es facilitado por el tercer circuito de enfriamiento.

Adicionalmente, toda o la mayoría de la refrigeración para enfriar los refrigerantes de alta presión en las líneas 383 y 385 después de la separación de fases es facilitada mediante la autorrefrigeración en el tercer circuito de enfriamiento, y este enfriamiento del refrigerante comprimido en el tercer circuito de enfriamiento se realiza independientemente de los dos circuitos de enfriamiento más calientes. Esta característica es beneficiosa en cuanto que carga considerablemente los requisitos de refrigeración de los dos circuitos de enfriamiento más calientes, por lo que permite mayores capacidades del producto en las plantas de licuación de gas natural cuando los compresores en los dos circuitos de enfriamiento más calientes alcanzan el tamaño máximo comercialmente disponible.

Realizaciones alternativas de los procedimientos ejemplares de las Figuras 2 y 3 son ilustradas en las Figuras 4 y 5, respectivamente. En estas alternativas, el primer circuito de refrigeración de la figura 2 (los compresores 103 y 107, los enfriadores 105 y 109 y la válvula 115 de estrangulación) se sustituye por un sistema de refrigeración en cascada de un solo componente. Se puede utilizar propano como refrigerante único en el primer circuito de refrigeración. El segundo y tercer circuitos de refrigeración permanecen inalterables con respecto a las realizaciones de las Figura 2 y 3.

El compresor 119 multietapa y el pos-enfriador 121 se operan para proporcionar un refrigerante comprimido en la línea 123 a una temperatura cercana a la del ambiente y una presión en el intervalo de 10 a 15 bares. El refrigerante comprimido en la línea 123 se reduce de presión a través de la válvula 125 de estrangulación y el refrigerante de presión reducida en la línea 127 se vaporiza parcialmente en el intercambiador 129 de calor para proporcionar refrigeración al mismo y producir un refrigerante de dos fases en la línea 131. Este refrigerante de dos fases se separa en el separador 133 para obtener vapor en la línea 135, vapor que retorna a la aspiración de la etapa de más baja presión del compresor 119, y el líquido en la línea 137. Este líquido se reduce de presión a través de la válvula 139 de estrangulación y se vaporiza parcialmente en el intercambiador 129 de calor para proporcionar refrigeración al mismo. El refrigerante de dos fases en la línea 141 se separa en el separador 143 para producir vapor en la línea 145, vapor que retorna a la aspiración de una etapa intermedia del compresor 119, y un líquido en la línea 147. Este líquido se reduce de presión a través de la válvula 149 de estrangulación y el refrigerante de presión reducida se vaporiza en el intercambiador 129 para proporcionar refrigeración adicional al mismo. El vapor en la línea 151 se devuelve a la entrada del compresor 119.

Cualquiera de las realizaciones de las Figuras 2 a 5 pueden ser instaladas como una adaptación a una planta de licuación de refrigerante mezclado dual de dos circuitos o a una planta de licuación de gas natural refrigerante mezclado de propano de dos circuitos.

#### EJEMPLO

El proceso de la figura 3 se ilustra mediante el siguiente ejemplo en el que una corriente de gas de alimentación de 100 kg-moles/hora de gas natural en la línea 1 se licua para obtener un producto de gas natural licuado (GNL) en la línea 17. El gas de alimentación en la línea 1, que se ha purificado previamente (no se muestra) para eliminar el agua y las impurezas de gas ácido, se proporciona a una temperatura de 27° C y a una presión de 60 bares. El gas de alimentación en la línea 1 y el vapor de refrigerante mixto en la línea 207 se enfrían hasta una temperatura de -39° C en un primer intercambiador 130 de calor mediante un refrigerante mixto de vaporización que tiene una composición molecular del 2% de metano, 62% de etano y 34% de isobutano más butano. Para efectuar este enfriamiento, la corriente de refrigerante mixta 113 se vaporiza y calienta en el intercambiador 310 de calor antes de ser alimentada al compresor 103 a una presión de 5 bares. El compresor 103 tiene una presión de descarga de 19,5 bares. El refrigerante mezclado es enfriado a una temperatura de 36,5° C y condensado en el pos-enfriador 105 utilizando un medio de enfriamiento a temperatura ambiente tal como agua o aire de refrigeración. La corriente resultante es además comprimida en el compresor 107 a una presión de 34 bares y enfriada en el pos-enfriador 109 a 36,5° C utilizando un medio de enfriamiento a temperatura ambiente tal como agua o aire de refrigeración. El flujo

de refrigerante mixto total en la línea 113 es 124 kg-moles/hora.

- 5 La alimentación enfriada en la línea 5 y el segundo refrigerante mixto en la línea 208 se enfrían a una temperatura de  $-119^{\circ}\text{C}$  en un segundo intercambiador 311 de calor para producir una alimentación más enfriada en la línea 9 y además un segundo refrigerante mixto más enfriado en la línea 209. El refrigerante mixto en la línea 209 se despresuriza a través de la válvula 211 hasta una presión de 4,2 bares para producir un refrigerante mixto de presión reducida en la línea 213. El refrigerante mixto en la línea 213 se vaporiza en el intercambiador 311 de calor para proporcionar refrigeración al mismo. El refrigerante mixto para este segundo circuito de enfriamiento tiene un caudal de 87 kg-moles/hora y una composición molar del 27% de metano, 63% de etano y 10% de propano.
- 10 La segunda corriente refrigerante mixta vaporizada en la línea 201 se comprime en el compresor 203 con enfriamiento interetapas de tres etapas hasta una presión de 57 bares. El refrigerante mixto comprimido se enfría en el pos-enfriador 205 a  $36,5^{\circ}\text{C}$  utilizando agua de refrigeración para proporcionar refrigerante mixto comprimido enfriado en la línea 207.
- 15 La alimentación en la línea 9 y el tercer refrigerante mixto en la línea 329 se enfrían hasta una temperatura final de  $-156^{\circ}\text{C}$  en el tercer intercambiador 312 de calor para producir, respectivamente, GNL producto en la línea 17 y el tercer refrigerante mixto condensado en la línea 313. El refrigerante mixto en la línea 313 se despresuriza a través de la válvula 314 hasta una presión de 3,7 bares para proporcionar el tercer refrigerante mixto de presión reducida en la línea 315. Este tercer refrigerante mixto de presión reducida se vaporiza parcialmente en el tercer intercambiador 312 de calor para proporcionar refrigeración al mismo, y un refrigerante parcialmente vaporizado de la línea 316 que tiene una fracción del 95% de vapor y una temperatura de  $-123^{\circ}\text{C}$ . El refrigerante mixto para este tercer circuito de enfriamiento en la línea 329 tiene un caudal de 59 kg-moles/h y una composición (en % molar) del 12% de nitrógeno, 52% de metano, 18% de etano, 6% de propano y 12% de i-pentano.
- 20 El refrigerante mixto en la línea 389 es regulado en 375 a una presión de alrededor de 3,6 bares y combinado con la corriente 316 para formar la corriente 377 que se vaporiza completamente y se calienta hasta  $26^{\circ}\text{C}$  en el cuarto intercambiador 379 de calor para proporcionar refrigeración al mismo. El refrigerante vaporizado en la línea 381 se comprime hasta 17,7 bares en la primera etapa del compresor 319, se enfría hasta  $36,5^{\circ}\text{C}$  y se licua parcialmente en el aire ambiental o en el intercambiador enfriador 320 de agua de refrigeración. El refrigerante de dos fases se separa en el separador 321 para producir vapor de refrigerante en la línea 322 y líquido refrigerante en la línea 323. El líquido refrigerante se presuriza en la bomba 325 hasta los 47 bares. El vapor refrigerante en la línea 322 se comprime hasta una presión de 47 bares en el compresor 324, se mezcla con el refrigerante presurizado procedente de la bomba 325, y la corriente mezclada en la línea 326 se enfría en el pos-enfriador 327 de agua de refrigeración hasta  $36,5^{\circ}\text{C}$  para producir un refrigerante mixto frío en la línea 328. El refrigerante de dos fases se separa en el separador 330 para obtener vapor de refrigerante mixto en la línea 385 y líquido refrigerante mixto en la línea 383. El líquido refrigerante mixto se enfría en el cuarto intercambiador 379 de calor para proporcionar refrigerante mixto enfriado en la línea 389. El vapor refrigerante mixto se enfría y licua en el cuarto intercambiador 379 de calor para proporcionar un refrigerante mixto enfriado en la línea 329, el cual se enfría adicionalmente en el tercer intercambiador 312 de calor como se ha descrito anteriormente.
- 25 El refrigerante mixto en la línea 389 es regulado en 375 a una presión de alrededor de 3,6 bares y combinado con la corriente 316 para formar la corriente 377 que se vaporiza completamente y se calienta hasta  $26^{\circ}\text{C}$  en el cuarto intercambiador 379 de calor para proporcionar refrigeración al mismo. El refrigerante vaporizado en la línea 381 se comprime hasta 17,7 bares en la primera etapa del compresor 319, se enfría hasta  $36,5^{\circ}\text{C}$  y se licua parcialmente en el aire ambiental o en el intercambiador enfriador 320 de agua de refrigeración. El refrigerante de dos fases se separa en el separador 321 para producir vapor de refrigerante en la línea 322 y líquido refrigerante en la línea 323. El líquido refrigerante se presuriza en la bomba 325 hasta los 47 bares. El vapor refrigerante en la línea 322 se comprime hasta una presión de 47 bares en el compresor 324, se mezcla con el refrigerante presurizado procedente de la bomba 325, y la corriente mezclada en la línea 326 se enfría en el pos-enfriador 327 de agua de refrigeración hasta  $36,5^{\circ}\text{C}$  para producir un refrigerante mixto frío en la línea 328. El refrigerante de dos fases se separa en el separador 330 para obtener vapor de refrigerante mixto en la línea 385 y líquido refrigerante mixto en la línea 383. El líquido refrigerante mixto se enfría en el cuarto intercambiador 379 de calor para proporcionar refrigerante mixto enfriado en la línea 389. El vapor refrigerante mixto se enfría y licua en el cuarto intercambiador 379 de calor para proporcionar un refrigerante mixto enfriado en la línea 329, el cual se enfría adicionalmente en el tercer intercambiador 312 de calor como se ha descrito anteriormente.
- 30 El líquido refrigerante se presuriza en la bomba 325 hasta los 47 bares. El vapor refrigerante en la línea 322 se comprime hasta una presión de 47 bares en el compresor 324, se mezcla con el refrigerante presurizado procedente de la bomba 325, y la corriente mezclada en la línea 326 se enfría en el pos-enfriador 327 de agua de refrigeración hasta  $36,5^{\circ}\text{C}$  para producir un refrigerante mixto frío en la línea 328. El refrigerante de dos fases se separa en el separador 330 para obtener vapor de refrigerante mixto en la línea 385 y líquido refrigerante mixto en la línea 383. El líquido refrigerante mixto se enfría en el cuarto intercambiador 379 de calor para proporcionar refrigerante mixto enfriado en la línea 389. El vapor refrigerante mixto se enfría y licua en el cuarto intercambiador 379 de calor para proporcionar un refrigerante mixto enfriado en la línea 329, el cual se enfría adicionalmente en el tercer intercambiador 312 de calor como se ha descrito anteriormente.
- 35 En la descripción anterior de las figuras 1-5, los números de referencia de las líneas (es decir, de las tuberías a través de las cuales fluyen las corrientes del proceso) se pueden referir también a las corrientes del proceso que fluyen por esas líneas. En las reivindicaciones siguientes del método, los números de referencia indican las corrientes del proceso que fluyen por esas líneas. En las reivindicaciones siguientes del sistema, los números de referencia indican las líneas en lugar de las corrientes del proceso que fluyen por estas líneas. Los números de referencia de las figuras 2-5 se incluyen en las reivindicaciones siguientes para mayor claridad y no pretenden limitar en modo alguno el alcance de las reivindicaciones.
- 40 En la descripción anterior de las figuras 1-5, los números de referencia de las líneas (es decir, de las tuberías a través de las cuales fluyen las corrientes del proceso) se pueden referir también a las corrientes del proceso que fluyen por esas líneas. En las reivindicaciones siguientes del método, los números de referencia indican las corrientes del proceso que fluyen por esas líneas. En las reivindicaciones siguientes del sistema, los números de referencia indican las líneas en lugar de las corrientes del proceso que fluyen por estas líneas. Los números de referencia de las figuras 2-5 se incluyen en las reivindicaciones siguientes para mayor claridad y no pretenden limitar en modo alguno el alcance de las reivindicaciones.
- 45 En la descripción anterior de las figuras 1-5, los números de referencia de las líneas (es decir, de las tuberías a través de las cuales fluyen las corrientes del proceso) se pueden referir también a las corrientes del proceso que fluyen por esas líneas. En las reivindicaciones siguientes del método, los números de referencia indican las corrientes del proceso que fluyen por esas líneas. En las reivindicaciones siguientes del sistema, los números de referencia indican las líneas en lugar de las corrientes del proceso que fluyen por estas líneas. Los números de referencia de las figuras 2-5 se incluyen en las reivindicaciones siguientes para mayor claridad y no pretenden limitar en modo alguno el alcance de las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

- 5 1.- Un método para licuar un gas (1) que comprende enfriar una corriente de gas de alimentación sucesivamente a través de tres zonas (310, 311 y 312) de intercambio de calor a respectivos, primero, segundo y tercero intervalos de temperatura para obtener un producto (13) licuado, en el que la refrigeración para enfriar la corriente de gas de alimentación en el primer intervalo de temperatura es proporcionada por un primer refrigerante (117) de vaporización; la refrigeración para enfriar la corriente en el segundo intervalo de temperatura es facilitada por un segundo refrigerante (213) de vaporización y la refrigeración para enfriar la corriente en el tercer intervalo de temperatura es facilitada por un tercer refrigerante (315) de vaporización, en el que se proporciona un refrigerante adicional mediante la vaporización (357, 379), a temperaturas por encima de la temperatura más baja en la segunda zona (315) de intercambio de calor, de un refrigerante auxiliar (373, 377) **caracterizado porque** dicho refrigerante auxiliar es un derivado de dicho tercer refrigerante (315) de vaporización vaporizado en la tercera y más fría zona (312) de intercambio de calor y **porque** dicho primer, segundo y tercer refrigerantes son de diferentes composiciones entre sí.
- 10 2.- El método de la reivindicación 1, en el que el refrigerante auxiliar (373) es de la misma composición que el refrigerante (315) vaporizado en la zona (312) de intercambio de calor más fría, pero es vaporizada (357) a una diferente presión.
- 15 3.- El método de la reivindicación 2, en el que el refrigerante (315) para la zona (312) de intercambio de calor más fría es facilitado mediante:
- 20 (1) compresión (359) y enfriamiento (363) de un refrigerante vaporizado (316) para proporcionar un refrigerante (365) comprimido intermedio;
- 25 (2) combinación del refrigerante comprimido intermedio (363) con el refrigerante auxiliar (367) vaporizado para proporcionar un refrigerante intermedio combinado;
- (3) compresión (319) y enfriamiento (320) del refrigerante intermedio combinado para proporcionar un refrigerante comprimido (328) enfriado; y
- 30 (4) enfriamiento y condensación (357) adicionales del refrigerante comprimido enfriado (328) mediante el intercambio de calor indirecto con refrigerante auxiliar de vaporización (373) para proporcionar el refrigerante combinado (369), una parte (329) del cual proporciona el refrigerante (315) para dicha zona (312) de intercambio de calor más fría y otra porción del cual proporciona el refrigerante auxiliar (373).
- 35 4.- El método de la reivindicación 1, en el que el refrigerante auxiliar (377) es de una composición diferente del refrigerante (315) vaporizado en la zona (312) de intercambio de calor más fría.
- 5.- El método de la reivindicación 4, en el que el refrigerante auxiliar (377) es facilitado mediante:
- 40 (1) vaporización parcial o completa del refrigerante (315) en la zona (312) de intercambio de calor más fría para proporcionar un refrigerante calentado (316) vaporizado parcial o totalmente; y
- (2) combinación del refrigerante calentado con un refrigerante de presión reducida (375) enfriado para proporcionar el refrigerante auxiliar (377);
- 45 y en el que dicho refrigerante de presión reducida enfriado es facilitado mediante
- (3) vaporización (379) del refrigerante auxiliar (377) para obtener un refrigerante auxiliar vaporizado (381);
- (4) compresión (319) y enfriamiento (320) del refrigerante auxiliar vaporizado para proporcionar un refrigerante auxiliar (328) parcialmente condensado, comprimido enfriado;
- 50 (5) separación (330) del refrigerante auxiliar (328) parcialmente condensado, comprimido enfriado en una fracción líquida (383) y en una fracción de vapor (385):
- (6) enfriamiento adicional de la fracción líquida (383) mediante el intercambio de calor indirecto (379) con el refrigerante auxiliar de vaporización (377) para proporcionar un refrigerante líquido enfriado (389); y
- (7) reducción de la presión (375) del refrigerante líquido enfriado (389) para proporcionar el refrigerante (375) de presión reducida enfriado.
- 55 6.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la corriente (1) del gas de alimentación es gas natural.
- 60 7.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer refrigerante es un refrigerante simple o de varios componentes, y el segundo y tercer refrigerantes son respectivamente refrigerante de varios componentes.
- 65 8.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primero, segundo y tercer sistemas de refrigeración son sistemas de circuito cerrado independientes.

9.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha primera zona (310) de intercambio de calor enfría la corriente del gas de alimentación a entre  $-35^{\circ}\text{C}$  y  $-55^{\circ}\text{C}$ , dicha segunda zona (311) de intercambio de calor enfría la corriente de gas de alimentación a entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $-100^{\circ}$ , y dicha tercera zona (312) de intercambio de calor enfría la corriente de gas de alimentación a entre  $-82^{\circ}\text{C}$  y  $-160^{\circ}\text{C}$ .

10.- Un sistema para licuar una corriente (1) de gas por el método de la reivindicación 1, dicho sistema comprende tres intercambiadores de calor (310, 311 y 312) para enfriar la corriente (1) de gas sucesivamente a través de primero, segundo y tercer intervalos de temperatura respectivos para obtener un producto (13) licuado; respectivos sistemas de refrigeración para proporcionar respectivos primero, segundo y tercer refrigerantes (117, 213 y 315) a dichos intercambiadores de calor (310, 311 y 312), y un intercambiador de calor adicional (357; 379) para la vaporización, a temperaturas por encima de la temperatura más baja del segundo intercambiador de calor (311), **caracterizado porque** dicho refrigerante auxiliar es un refrigerante auxiliar (373, 377) derivado de dicho tercer refrigerante (315) vaporizado en el tercero y más frío intercambiador de calor (312), y **porque** los sistemas de refrigeración respectivos están para proporcionar respectivos primero, segundo y tercer refrigerantes (117, 213 y 315) de composiciones diferentes entre sí a dichos tres intercambiadores de calor (310, 311 y 312).

11.- El sistema de la reivindicación 10, en el que el refrigerante auxiliar (373) es de la misma composición que el refrigerante (315) vaporizado en el intercambiador de calor (312) más frío pero se vaporiza en dicho intercambiador de calor adicional (357) a una presión diferente.

12.- El sistema de la reivindicación 10 ó de la reivindicación 11, que comprende medios para comprimir (359) y enfriar (363) un refrigerante vaporizado (316) para proporcionar un refrigerante comprimido intermedio (365); medios para combinar el refrigerante intermedio (363) comprimido con el refrigerante auxiliar (367) vaporizado para proporcionar un refrigerante intermedio combinado; y medios para comprimir (319) y enfriar (320) el refrigerante intermedio combinado para proporcionar un refrigerante comprimido (328) enfriado; y en el que dichos medios de intercambio de calor adicional (357) además enfría y condensa el refrigerante comprimido (328) enfriado mediante intercambio de calor indirecto con refrigerante auxiliar (373) de vaporización para proporcionar un refrigerante combinado (369), una parte (329) del cual facilita el refrigerante (315) para el intercambiador de calor (312) más frío y otra parte del cual facilita el refrigerante auxiliar (373).

13.- El sistema de la reivindicación 10 ó de la reivindicación 11, en el que el refrigerante auxiliar (377) se vaporiza en dicho intercambiador de calor adicional para obtener un refrigerante auxiliar (381) vaporizado y el sistema comprende:

medios para combinar refrigerante (316) calentado vaporizado parcial o completamente desde el intercambiador de calor (312) más frío con un refrigerante (375) de presión reducida enfriado para proporcionar el refrigerante auxiliar (377);  
 medios para comprimir (319) y enfriar (320) el refrigerante auxiliar vaporizado para proporcionar un refrigerante auxiliar (328) parcialmente condensado comprimido enfriado;  
 medios para separar (330) el refrigerante auxiliar (328) parcialmente condensado, comprimido enfriado en una fracción de líquido (383) y en una fracción de vapor (385);  
 medios para además enfriar la fracción de líquido (383) mediante intercambio de calor indirecto (379) con el refrigerante auxiliar (377) de vaporización para proporcionar un refrigerante líquido enfriado (389); y  
 medios (375) para reducir la presión del refrigerante líquido enfriado (389) para proporcionar el refrigerante (375) de presión reducida enfriado.

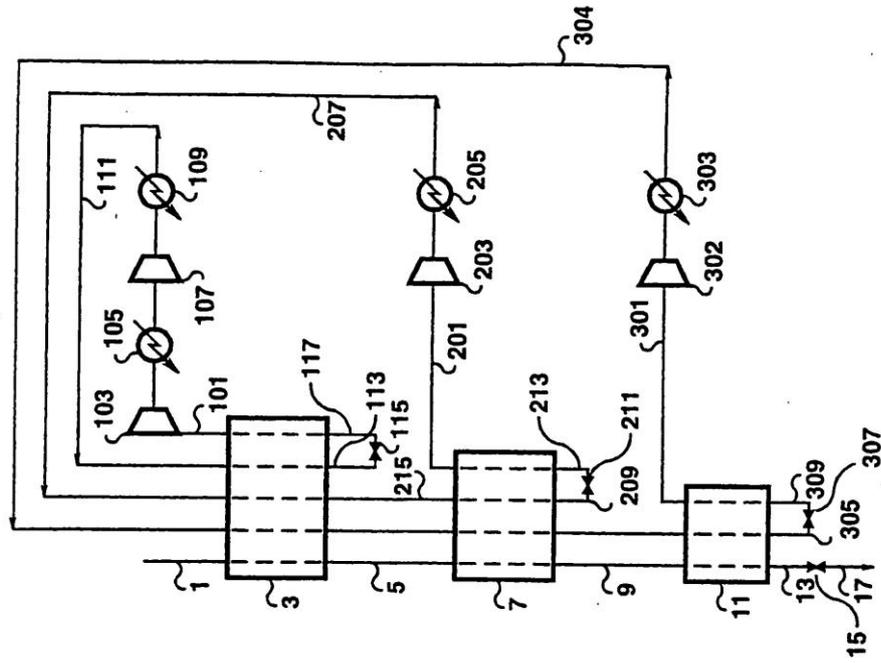


FIG. 1  
(TÉCNICA ANTERIOR)

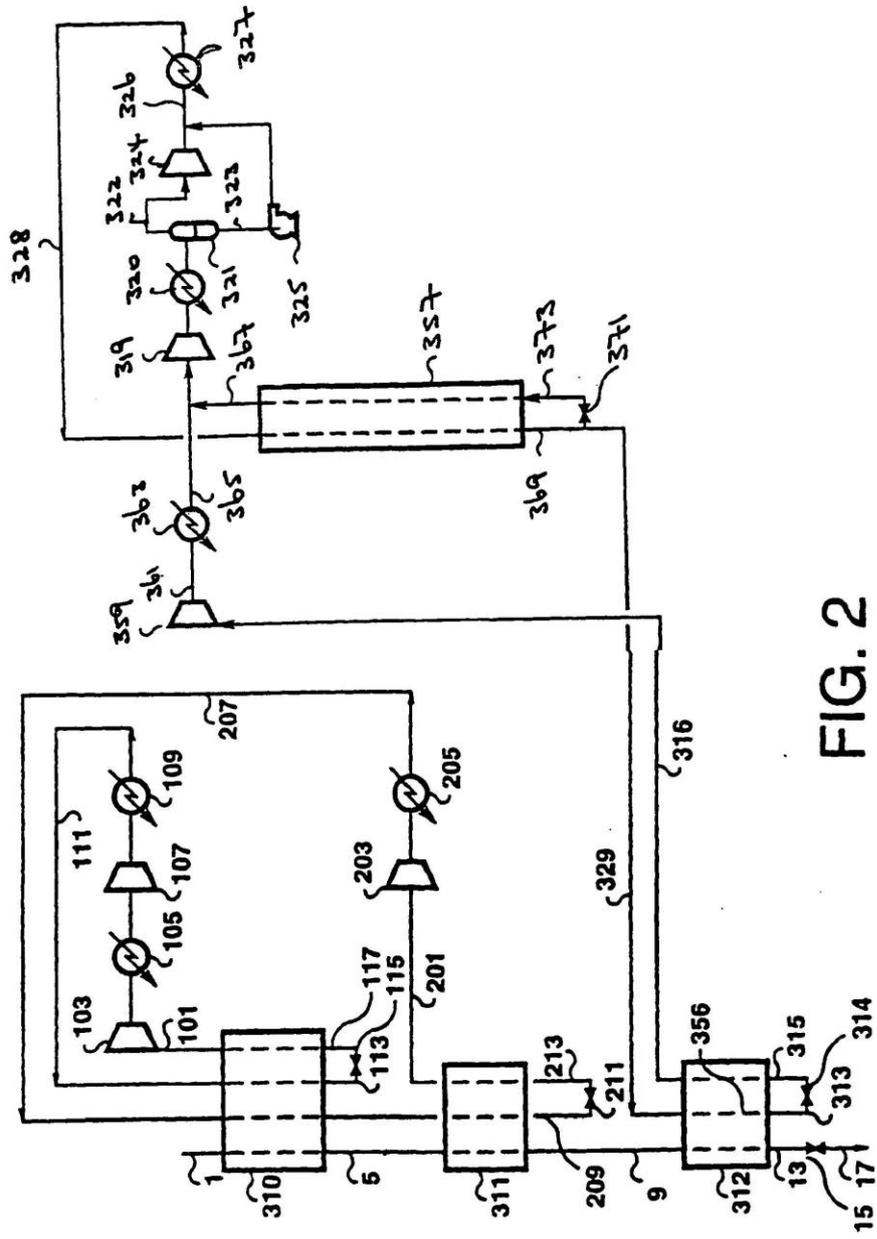


FIG. 2

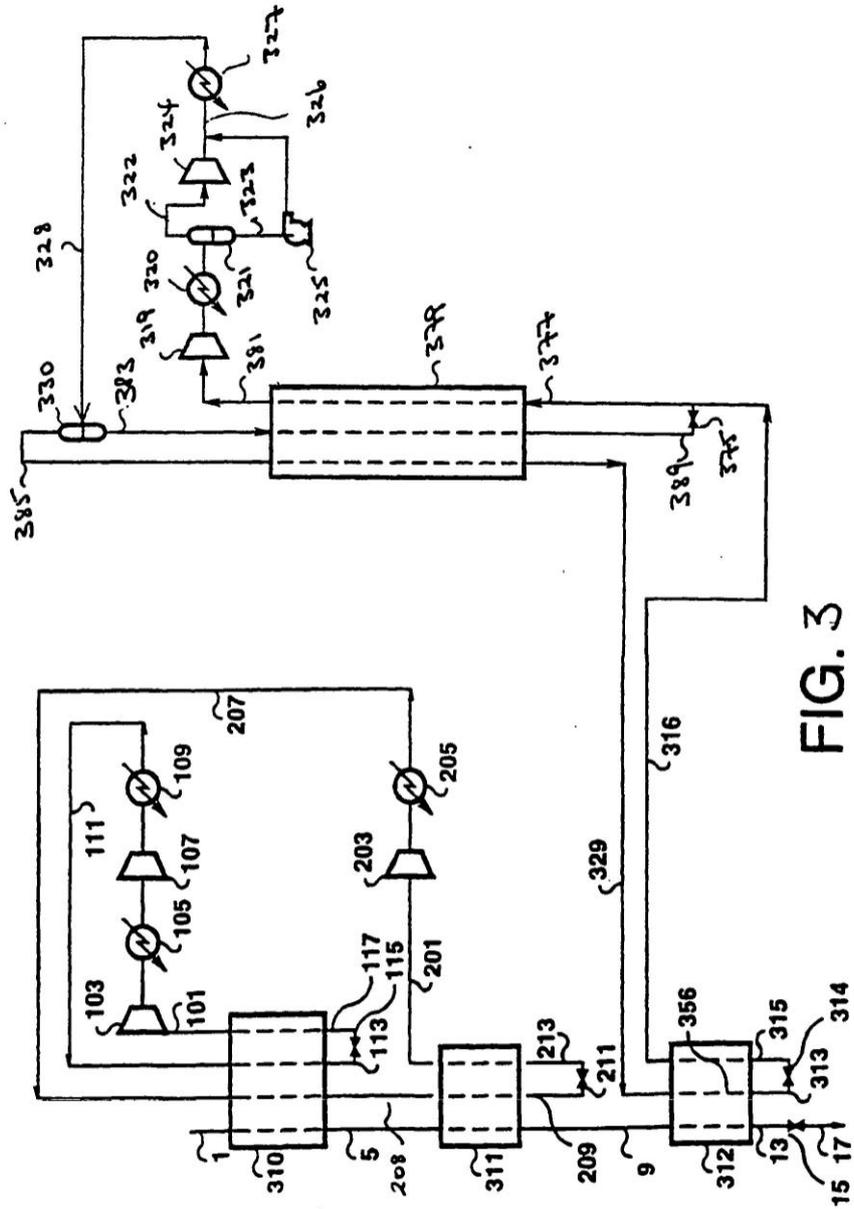


FIG. 3



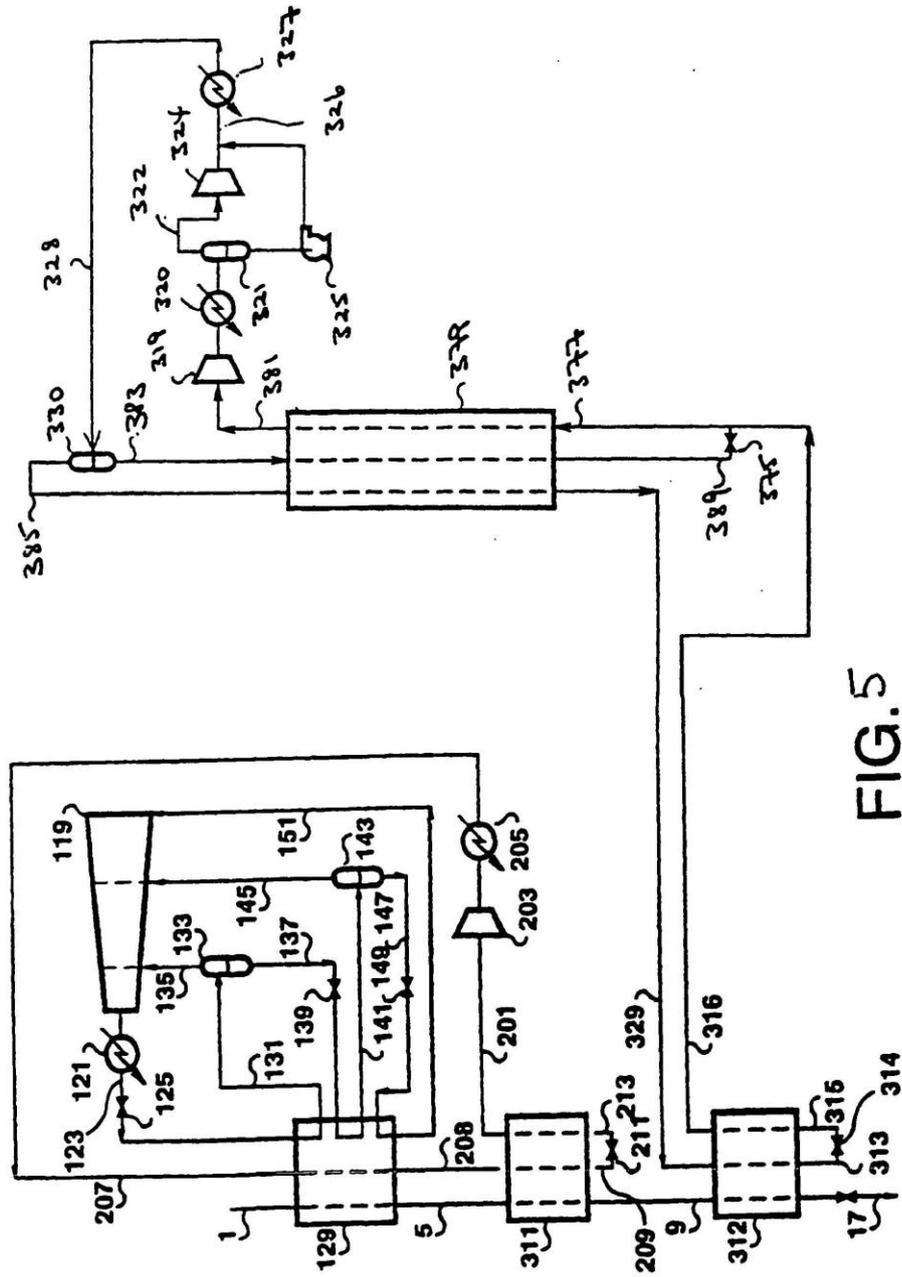


FIG. 5