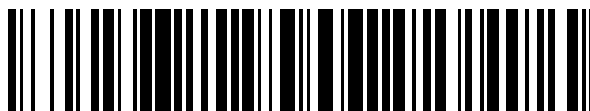


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 382 805**

51 Int. Cl.:
F25J 1/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **04720954 .9**
96 Fecha de presentación: **16.03.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1613910**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.01.2006**

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

30 Prioridad:
18.03.2003 US 391390

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.06.2012

73 Titular/es:
**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC.
7201 HAMILTON BOULEVARD
ALLENTOWN, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:
ROBERTS, Mark Julian

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

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 2 382 805 T3

DESCRIPCION

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

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.

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 -30°C a -165°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.

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. Esta necesidad es a la que se enfrenta la presente invención, que proporciona un sistema de refrigeración integrado que incrementa la capacidad de producción sin requerir equipo paralelo duplicado en los sistemas de refrigeración más calientes.

La patente GB-A-1572900, que muestra las características del preámbulo de la reivindicación 1, describe el enfriamiento sucesivo de una corriente de gas de alimentación a través de dos zonas de intercambio de calor a los intervalos de temperatura respectivos para obtener un producto licuado. El calor intercambiado necesario para enfriar la corriente de gas de alimentación a los citados intervalos de temperatura se obtiene a través de las respectivas vaporizaciones de los refrigerantes. El refrigerante en el intervalo de temperatura más fría se evapora al menos en parte al pasar a través del segundo intercambiador de calor. El refrigerante evaporado al menos en parte proporciona el enfriamiento necesario en un tercer intercambiador de calor, en el que se enfría una corriente refrigerante comprimida. El refrigerante que sale del tercer intercambiador de calor se comprime para proporcionar una corriente refrigerante comprimida. Una parte de esta corriente se enfría en el tercer intercambiador de calor y el resto se enfría en el primer intercambiador de calor y la corriente enfriada resultante se alimenta directamente al mismo separador de fase que la corriente enfriada del tercer intercambiador de calor. El enfriamiento de una parte de la corriente refrigerante comprimida en el tercer intercambiador de calor es opcional en la invención de GB-A-1572900, pero el enfriamiento de al menos una parte de esta corriente en el primer intercambiador de calor es esencial para la invención.

La patente US-A-4094655 describe un proceso en el que una corriente de gas de alimentación se enfría secuencialmente en cuatro intercambiadores de calor. El enfriamiento necesario se proporciona en los cuatro intercambiadores de calor mediante un circuito incorporado de refrigeración en cascada en el cual una corriente de

vapor refrigerante resulta casi completamente condensada y se sobreenfría al pasar a través de los dos últimos intercambiadores de calor. La corriente condensada se expansiona y proporciona entonces el enfriamiento necesario al intercambiador de calor más frío mezclándose antes con una corriente refrigerante expansionada procedente del tercer intercambiador de calor y proporcionando secuencialmente el enfriamiento necesario al tercer intercambiador de calor y algo del enfriamiento necesario al segundo intercambiador de calor. El enfriamiento necesario adicional se proporciona al segundo intercambiador de calor por medio de una corriente refrigerante expansionada de este intercambiador, cuya corriente proporciona después algo del enfriamiento necesario al primer intercambiador de calor. Un circuito de refrigeración de enfriamiento previo separado proporciona el resto del enfriamiento necesario al primer intercambiador de calor. La corriente refrigerante mixta que retorna de los dos últimos intercambiadores de calor se comprime, se mezcla con la corriente refrigerante que retorna del segundo intercambiador de calor y luego es comprimida de nuevo antes de reciclarla hacia el primer intercambiador de calor.

La patente US-A-6250105 describe la licuación de un gas de alimentación en un intercambiador de calor de producto utilizando un refrigerante de bajo nivel enfriado por un refrigerante de alto nivel. Hay intercambiadores de calor periféricos que recuperan la refrigeración a partir de un producto combustible y proporcionan la refrigeración necesaria a la Unidad de Recuperación de Gas Natural Licuado (GNL). El refrigerante gastado del intercambiador de calor de producto se encuentra en un estado predominantemente gaseoso y continúa para calentarse y vaporizarse en una zona de intercambio de calor del refrigerante. Entonces se comprime, se enfría de forma secuencial en intercambiadores de calor y se expande para obtener el refrigerante más frío. Aunque parte de la refrigeración necesaria en el intercambiador de calor del refrigerante se obtiene por medio del refrigerante de recirculación comprimido, la mayor parte de la refrigeración necesaria se obtiene por medio del refrigerante de alto nivel.

En un aspecto, la presente invención facilita un método para licuar un gas, que consiste en enfriar sucesivamente una corriente de gas de alimentación a través de al menos dos zonas de intercambio de calor en intervalos de temperatura respectivos para proporcionar un producto licuado, en el que la refrigeración para enfriar la corriente del gas de alimentación en los citados intervalos de temperatura se facilita mediante la vaporización respectiva de refrigerantes y el refrigerante en el intervalo de temperatura más frío solamente se vaporiza parcialmente en la zona de intercambio de calor más fría y se recircula en un proceso de refrigeración de recirculación que comprende una vaporización adicional del refrigerante parcialmente vaporizado en una zona de intercambio de calor adicional a temperaturas por encima de la temperatura más alta de la zona de intercambio de calor más fría para obtener un refrigerante totalmente vaporizado, comprimir más el refrigerante vaporizado para producir una corriente refrigerante comprimida, y enfriar la corriente refrigerante comprimida para proporcionar el refrigerante más frío, caracterizado porque el gas de alimentación no pasa a través de la zona (317) de intercambio de calor adicional y la totalidad de la citada corriente refrigerante comprimida se enfría a base de (i) enfriar opcionalmente la totalidad de la corriente refrigerante comprimida en una zona de intercambio de calor anterior a la zona de intercambio de calor más fría, por intercambio de calor indirecto con el refrigerante que se vaporiza de la citada zona anterior de intercambio de calor; (ii) en la zona de intercambio de calor adicional por intercambio de calor indirecto de la corriente refrigerante comprimida opcionalmente enfriada con el refrigerante que se vaporiza adicionalmente para proporcionar una corriente refrigerante enfriada, y entonces (iii) mediante más enfriamiento de la corriente refrigerante enfriada para proporcionar el refrigerante más frío, mediante lo cual el citado proceso de refrigeración de recirculación se autorrefrigera, excepto para cualquier enfriamiento mediante el citado paso (i) de enfriamiento opcional.

En una realización, la corriente de gas de alimentación se enfría sucesivamente a través de un primer y segundo intervalos de temperatura para obtener la licuación del producto, en la que la refrigeración para enfriar la corriente de gas de alimentación en el primer intervalo de temperatura se obtiene mediante un primer refrigerante que se vaporiza y la refrigeración para enfriar la corriente de gas de alimentación en el segundo intervalo de temperatura se obtiene mediante el proceso de refrigeración por recirculación.

En otra realización, la corriente de gas de alimentación se enfría sucesivamente a través de un primer, segundo y tercer intervalos de temperatura para obtener el producto licuado, en la que la refrigeración para enfriar la corriente de gas de alimentación en el primer intervalo de temperatura se obtiene mediante un primer refrigerante que se vaporiza, la refrigeración para enfriar la corriente de gas de alimentación en el segundo intervalo de temperatura se obtiene mediante un segundo refrigerante que se vaporiza, y la refrigeración para enfriar la corriente de gas de alimentación en el tercer intervalo de temperatura se obtiene mediante el proceso de refrigeración por recirculación. El primer refrigerante puede ser un refrigerante de un solo componente. El segundo y tercer refrigerantes pueden ser refrigerantes de varios componentes.

El primer intervalo de temperatura puede estar entre 35° C y -70° C, el segundo intervalo de temperatura puede estar entre 0° C y -140° C, y el tercer intervalo de temperatura puede estar entre -90° C y -165° C. La corriente de gas de alimentación puede ser gas natural.

El enfriamiento de la corriente de gas de alimentación se puede efectuar por:

- a) enfriamiento de la corriente de gas de alimentación en el primer intervalo de temperatura mediante intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante que se vaporiza en una primera zona de intercambio de calor para proporcionar una primera corriente de alimentación parcialmente enfriada y un primer vapor de

refrigerante;

b) enfriamiento adicional de la corriente de alimentación parcialmente enfriada en el segundo intervalo de temperatura mediante intercambio de calor indirecto con el segundo refrigerante que se vaporiza en una segunda zona de intercambio de calor para proporcionar una segunda corriente de alimentación parcialmente enfriada y un segundo vapor de refrigerante; y

c) enfriamiento adicional de la segunda corriente de alimentación parcialmente enfriada en el tercer intervalo de temperatura mediante intercambio de calor indirecto con el tercer refrigerante que se vaporiza en una tercera zona de intercambio de calor para proporcionar el producto licuado y una corriente de refrigerante de dos fases.

El tercer refrigerante puede ser una mezcla de varios componentes que incluya dos o más componentes seleccionados de nitrógeno e hidrocarburos que tengan de uno a cinco átomos de carbono. El tercer refrigerante puede estar compuesto (en porcentaje molar) de un 5-15% de nitrógeno, 30-60% de metano, 10-30% de etano, 0-10% de propano y 5-15% de i-pentano. El tercer refrigerante puede estar compuesto de i-pentano y uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono, en el que la relación molar entre el i-pentano y el uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono es mayor que uno.

El tercer refrigerante puede estar compuesto de i-pentano y n-pentano y la relación molar entre el i-pentano y el n-pentano en el tercer refrigerante puede ser mayor que uno. El i-pentano y el n-pentano se pueden obtener a partir de la corriente del gas de alimentación y la relación molar entre el i-pentano y el n-pentano en el tercer refrigerante puede ser mayor que la relación molar entre el i-pentano y el n-pentano en la corriente del gas de alimentación. El tercer refrigerante puede estar compuesto de i-pentano y uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono, en el que el i-pentano y uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono en el tercer refrigerante se pueden obtener a partir de la corriente del gas de alimentación, y en el que la relación molar entre el i-pentano y el uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono en el tercer 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 la corriente del gas de alimentación.

El proceso de refrigeración por recirculación puede comprender vaporizar la corriente refrigerante de dos fases en una cuarta zona de intercambio de calor a temperaturas mayores que la temperatura más baja en el segundo intervalo de temperatura para proporcionar un tercer vapor de refrigerante, comprimir el tercer vapor de refrigerante para producir una tercera corriente refrigerante comprimida, enfriar la tercera corriente refrigerante comprimida en la cuarta zona de intercambio de calor mediante intercambio de calor indirecto con la corriente refrigerante de dos fases para obtener una tercera corriente refrigerante enfriada, y enfriar más la tercera corriente refrigerante enfriada para obtener el tercer refrigerante en (c).

El enfriamiento adicional de la tercera corriente refrigerante enfriada se puede efectuar mediante intercambio de calor indirecto con el tercer refrigerante que se vaporiza en la tercera zona de intercambio de calor. La tercera corriente refrigerante comprimida se puede obtener comprimiendo el tercer vapor refrigerante en una primera etapa de compresión para obtener un primer vapor comprimido, enfriando el primer vapor comprimido para producir una corriente de dos fases, separando la corriente de dos fases en una corriente de vapor y una corriente de líquido, comprimiendo la corriente de vapor para producir un vapor más comprimido, bombeando la corriente líquida para obtener un líquido presurizado, combinando el vapor adicionalmente comprimido y el líquido presurizado para producir una corriente refrigerante combinada, y enfriando la corriente refrigerante combinada para obtener la tercera corriente refrigerante comprimida.

El tercer proceso de refrigeración por recirculación puede incluir vaporizar la corriente refrigerante de dos fases en una cuarta zona de intercambio de calor a mayores temperaturas que una temperatura más baja en el segundo intervalo de temperatura para obtener un tercer vapor de refrigerante, comprimir y enfriar el tercer vapor refrigerante para producir una tercera corriente refrigerante comprimida, enfriar la tercera corriente refrigerante comprimida en la primera zona de intercambio de calor mediante intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante que se vaporiza en la cuarta zona de intercambio de calor mediante intercambio de calor indirecto con la corriente refrigerante de dos fases que se vaporiza para obtener una tercera corriente refrigerante enfriada, y enfriar más la tercera corriente refrigerante enfriada para obtener el tercer refrigerante en (c).

El proceso de refrigeración por recirculación puede incluir combinar la corriente refrigerante de dos fases con una corriente de refrigerante líquido a presión reducida enfriada para obtener una corriente refrigerante de dos fases combinada, vaporizar la corriente refrigerante combinada en una cuarta zona de intercambio de calor a mayores temperaturas que la temperatura más baja en el segundo intervalo de temperatura para obtener un tercer vapor de refrigerante, comprimir y enfriar el tercer vapor de refrigerante para obtener un tercer refrigerante parcialmente condensado, separar el tercer refrigerante parcialmente condensado en una corriente de vapor de refrigerante y una corriente líquida de refrigerante, comprimir y enfriar la corriente de vapor de refrigerante para formar una corriente parcialmente condensada y separar la corriente parcialmente condensada en un tercer vapor de refrigerante comprimido y un líquido refrigerante, reducir la presión del líquido refrigerante para obtener un líquido refrigerante de presión reducida, combinar el líquido refrigerante de presión reducida con la corriente de líquido refrigerante para

obtener un líquido refrigerante combinado, subenfriar la corriente de líquido refrigerante combinada en la cuarta zona de intercambio de calor para obtener un líquido refrigerante subenfriado, combinar el líquido refrigerante subenfriado y la corriente refrigerante de dos fases para obtener un refrigerante de dos fases combinado, vaporizar el refrigerante de dos fases combinado en la cuarta zona de intercambio de calor para proporcionar refrigeración al mismo, enfriar el tercer vapor de refrigerante comprimido en la cuarta zona de intercambio de calor para obtener una tercera corriente refrigerante enfriada, y enfriar más y reducir la presión de la tercera corriente refrigerante enfriada para obtener el tercer refrigerante.

En un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema para licuar una corriente de gas mediante un método del aspecto del método anteriormente mencionado, cuyo sistema comprende al menos dos zonas de intercambio de calor para enfriar sucesivamente la corriente de gas a través de intervalos de temperatura respectivos para obtener un producto licuado y sistemas de refrigeración respectivos para proporcionar refrigerantes respectivos en respectivas tuberías de refrigerante a las zonas de intercambio de calor, vaporizando la zona de intercambio de calor de temperatura más fría sólo parcialmente el respectivo (es decir el más frío) refrigerante y siendo el sistema de refrigeración respectivo que proporciona el refrigerante más frío un sistema de recirculación que comprende una zona de intercambio de calor adicional para vaporizar totalmente el refrigerante resultante parcialmente vaporizado a temperaturas por encima de la más alta temperatura de la zona de intercambio de calor más fría; medios de compresión para comprimir el refrigerante vaporizado para obtener la corriente refrigerante comprimida; medios de tuberías para proporcionar refrigerante vaporizado de la zona adicional de intercambio de calor a los citados medios de compresión; medios de tuberías para proporcionar refrigerante comprimido a la zona adicional de intercambio de calor; medios de tuberías para proporcionar un refrigerante comprimido enfriado desde la zona adicional de intercambio de calor a la zona de intercambio de calor más fría; y medios para enfriar más el refrigerante comprimido enfriado para obtener un refrigerante condensado, caracterizado porque el gas de alimentación no pasa a través de la zona de intercambio de calor adicional y los medios de tuberías que proporcionan el refrigerante comprimido a la zona de intercambio de calor adicional llevan toda la corriente refrigerante comprimida y opcionalmente pasan a través de la zona de intercambio de calor que precede a la zona de intercambio de calor más fría para enfriar todo el refrigerante comprimido mediante intercambio de calor indirecto con el respectivo refrigerante que se vaporiza, por lo que el citado sistema de refrigeración por recirculación que proporciona el proceso refrigerante más frío se refrigera a sí mismo, excepto para cualquier enfriamiento proporcionado mediante dicha opción de enfriamiento en la zona de intercambio de calor precedente. Normalmente, habrá únicamente dos o, preferiblemente, tres zonas de intercambio de calor a través de las cuales la corriente de gas pasa sucesivamente para su licuación.

En una realización del segundo aspecto de la invención, el sistema comprende primera, segunda y tercera zonas de intercambio de calor para enfriar la corriente de gas sucesivamente a través del primer, segundo y tercer intervalos de temperatura, respectivamente, para proporcionar producto licuado, un primer sistema de refrigeración para proporcionar un primer refrigerante en una primera tubería de refrigerante a la primera zona de intercambio de calor, un segundo sistema de refrigeración para proporcionar un segundo refrigerante en una segunda tubería de refrigerante a la segunda zona de intercambio de calor, y un tercer sistema de refrigeración para proporcionar un tercer refrigerante en una tercera tubería de refrigerante a la tercera zona de intercambio de calor, en la que el tercer sistema de refrigeración es el sistema de recirculación que proporciona el refrigerante más frío.

Los medios de compresión para comprimir el tercer refrigerante vaporizado pueden constar de un compresor de primera etapa, un intercambiador enfriador para enfriar y condensar parcialmente una primera corriente refrigerante comprimida para producir una primera corriente refrigerante comprimida parcialmente condensada, un separador para separar la primera corriente refrigerante comprimida parcialmente condensada en una corriente de vapor de refrigerante y una corriente líquida de refrigerante, un compresor de segunda etapa para comprimir la corriente de vapor de refrigerante para obtener una corriente de vapor de refrigerante comprimida, una bomba para presurizar la corriente líquida de refrigerante para obtener una corriente líquida de refrigerante presurizada, y medios de tuberías para combinar la corriente de vapor de refrigerante comprimida y la corriente líquida de refrigerante presurizada y proporcionar una corriente refrigerante combinada a un pos-enfriador para enfriar la corriente refrigerante combinada para obtener el tercer refrigerante comprimido.

La zona de intercambio de calor adicional puede incluir medios para subenfriar un líquido refrigerante para obtener un líquido refrigerante subenfriado, medios de reducción de presión para reducir la presión del líquido refrigerante subenfriado para obtener un refrigerante de presión reducida, medios de tuberías para combinar el refrigerante de presión reducida con el tercer refrigerante que se vaporiza adicionalmente, procedente de la tercera zona de intercambio de calor para, proporcionar una corriente refrigerante combinada que se vaporiza a la zona de calor adicional, en la que la corriente refrigerante que se vaporiza combinada se vaporiza en la zona de intercambio de calor adicional para obtener el tercer refrigerante vaporizado.

Los medios de compresión para comprimir el tercer refrigerante vaporizado pueden constar de un compresor de primera etapa, un intercambiador enfriador para enfriar y condensar parcialmente una primera corriente refrigerante comprimida para producir una primera corriente refrigerante comprimida, parcialmente condensada, un primer separador para separar la primera corriente refrigerante comprimida parcialmente condensada en una primera corriente de vapor refrigerante y una primera corriente de líquido refrigerante, un compresor de segunda etapa para

comprimir la corriente de vapor de refrigerante para obtener una corriente de vapor de refrigerante comprimida, un pos-enfriador para enfriar la corriente de vapor de refrigerante comprimida para obtener una corriente refrigerante de dos fases enfriada, un segundo separador para proporcionar una segunda corriente de líquido refrigerante y el tercer refrigerante comprimido, medios de reducción de presión para reducir la presión de la segunda corriente del líquido refrigerante para obtener una segunda corriente de líquido refrigerante de presión reducida, y medios de tuberías para combinar la segunda corriente de líquido refrigerante de presión reducida y la primera corriente de líquido refrigerante para proporcionar el líquido refrigerante a la zona de intercambio de calor adicional.

En otra realización, el sistema comprende primera, segunda, y tercera zonas de intercambio de calor para enfriar la corriente de gas sucesivamente a través del primer, segundo y tercer intervalos de temperatura, respectivamente, para obtener el producto licuado, un primer sistema de refrigeración para proporcionar un primer refrigerante que se vaporiza en la primera zona de intercambio de calor, un segundo sistema de refrigeración para proporcionar un segundo refrigerante que se vaporiza en la segunda zona de intercambio de calor, y un tercer sistema de refrigeración para proporcionar un tercer refrigerante que se vaporiza en la tercera zona de intercambio de calor, en la que el tercer sistema de refrigeración es el sistema de recirculación que proporciona el refrigerante más frío y comprende medios de enfriamiento en la primera zona de intercambio de calor para enfriar el tercer refrigerante comprimido mediante intercambio indirecto de calor con el primer refrigerante que se vaporiza en la primera zona de intercambio de calor para proporcionar un tercer refrigerante comprimido enfriado, el cual se alimenta a la zona de intercambio de calor adicional para enfriar más el tercer refrigerante comprimido enfriado mediante intercambio de calor indirecto con un tercer refrigerante que se vaporiza procedente de la tercera zona de intercambio de calor para proporcionar el tercer refrigerante vaporizado y un tercer refrigerante comprimido más enfriado, y los medios para enfriar más el tercer refrigerante comprimido enfriado están en la tercera zona de intercambio de calor para proporcionar un tercer refrigerante condensado, y se proporcionan medios de reducción de presión para reducir la presión del tercer refrigerante condensado para obtener el tercer refrigerante que se vaporiza en la tercera zona de intercambio de calor.

Un refrigerante preferente utilizado en la invención comprende i-pentano, uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono, y uno o más componentes seleccionados del nitrógeno, metano, etano, etileno, propano y propileno, en el que la relación molar entre el i-pentano y el uno o más hidrocarburos que tengan cuatro átomos de carbono es mayor que uno. El refrigerante también puede contener n-pentano y la relación molar entre el i-pentano y el n-pentano puede ser mayor que uno. El refrigerante puede tener una composición (en porcentaje molar) de un 5-15% de nitrógeno, 30-60% de metano, 10-30% de etano, 0-10% de propano y 5-15% de i-pentano.

La siguiente es una descripción únicamente a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos de realizaciones actualmente preferentes 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;

La figura 3 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de licuación y de refrigeración de gas de acuerdo con un ejemplo de realización alternativo de la presente invención;

La figura 4 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 y

La figura 5 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de licuación y de refrigeración de gas de acuerdo con otro ejemplo de realización alternativo de la presente invención.

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 310 de calor. El

refrigerante puede ser un refrigerante de componente puro tal como propano o alternatively 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.

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.

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 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.

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.

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.

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.

5 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.

10 En las diversas realizaciones de la presente invención, el refrigerante condensado del tercero o circuito de refrigeración más frío se vaporiza sólo parcialmente en el tercer intercambiador de calor en el tercero o intervalo de temperatura más bajo. El refrigerante parcialmente vaporizado del tercer intercambiador de calor se vaporiza adicionalmente a temperaturas por encima de la temperatura más baja en el segundo intervalo de temperatura. Esto se ilustra mediante un 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 -35°C y -55°C. La composición específica del refrigerante se puede seleccionar para alcanzar la temperatura más baja deseada en el primer intervalo de temperatura.

25 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 -40° C y -100° 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.

30 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 -85° C y -160° 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.

40 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.

45 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.

55 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.

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. El refrigerante parcialmente vaporizado fluye a través de la línea 316 y se vaporiza completamente en el cuarto intercambiador 317 de calor para proporcionar refrigeración al mismo. El refrigerante vaporizado en la línea 318, normalmente a una temperatura cerca de la del ambiente y a una presión de 2 a 10 bares, se comprime en el primer compresor 319, se enfría y condensa parcialmente en el intercambiador enfriador 320, y se separa en el separador 321 para obtener 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 30 a 70 bares en el compresor 324, la corriente de líquido en la línea 323 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. El refrigerante parcial o totalmente condensado en la línea 328 se enfría adicionalmente en el cuarto intercambiador 317 de calor para proporcionar refrigerante frío en la línea 329. El refrigerante frío en la línea 329 se enfría adicionalmente en los conductos 356 de flujo del tercer intercambiador 312 de calor para producir el refrigerante 313 anteriormente descrito.

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. 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.

En una realización alternativa del proceso de la figura 2, no se requiere el segundo sistema de refrigeración, y el intercambiador 311 de calor, la válvula 211, el compresor 203, el enfriador 205, y la tubería asociada no se utilizan. En esta alternativa, el intercambiador 310 de calor no incluiría conductos para enfriar el refrigerante suministrado por la línea 207. Por lo tanto en esta realización el proceso incluye enfriar el gas de alimentación en la línea 1 sucesivamente a través del primer y segundo intervalos de temperatura para obtener un producto licuado en la línea 13, en el que la refrigeración para enfriar la corriente de gas se proporciona mediante un primer refrigerante en la línea 117, que se vaporiza en el primer intervalo de temperatura y un segundo refrigerante en la línea 315, que se vaporiza en el segundo intervalo de temperatura y que además se vaporizan a temperaturas por encima de la temperatura más baja en el primer intervalo de temperatura. Por tanto los intervalos de temperatura en los que se vaporizan el primer y segundo refrigerantes se solapan. En esta realización alternativa, el primer refrigerante puede ser propano y el segundo refrigerante puede ser un refrigerante de varios componentes. En otra versión de esta realización, ambos refrigerantes se pueden seleccionar de varios componentes.

Una realización alternativa de ejemplo del proceso de la figura 2 se ilustra en la figura 3. En esta alternativa, 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. En esta realización, el segundo y tercer circuitos de refrigeración permanecen inalterables con respecto a la realización de la figura 2.

El compresor 119 multi-etapa 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.

Otra alternativa al ejemplo de la realización de la figura 2 se ilustra en la figura 4. En esta realización, se utiliza un tercer circuito de refrigeración modificado en el que el líquido formado en la etapa de compresión se combina con líquido parcialmente vaporizado del tercer intercambiador de calor y la corriente combinada proporciona la refrigeración para enfriar el vapor de refrigerante comprimido. El refrigerante vaporizado en la línea 330 se comprime en el compresor 331 hasta 2 a 4 bares, se enfría y condensa parcialmente en el pos-enfriador 332, y se separa en el separador 333 para proporcionar vapor en la línea 334 y líquido en la línea 335. El vapor en la línea 334 se comprime adicionalmente en el compresor 336 hasta 6 a 20 bares, se enfría y condensa parcialmente en el pos-enfriador 337, y se separa en el separador 338 para proporcionar vapor en la línea 339 y líquido en la línea 340.

El líquido en la línea 340 se reduce de presión a través de la válvula 341 de estrangulación, el líquido de presión reducida en la línea 342 se combina con el líquido de la línea 335, y el líquido combinado en la línea 343 se sub-enfría en el cuarto intercambiador 344 de calor para producir un refrigerante líquido sub-enfriado en la línea 345. Este refrigerante subenfriado se reduce de presión a través de la válvula 346 de estrangulación y se combina con el refrigerante parcialmente vaporizado en la línea 316 del tercer intercambiador 312 de calor. El refrigerante combinado en la línea 347 se vaporiza en el intercambiador 344 de calor para proporcionar refrigeración al mismo y producir vapor de refrigerante en la línea 330. El refrigerante enfriado en la línea 329 se enfría más y se licua al

menos parcialmente en el tercer intercambiador 312 de calor, reduce su presión a través de la válvula 314 de estrangulación para proporcionar un refrigerante de presión reducida en la línea 315, en la que el refrigerante de presión reducida se vaporiza parcialmente en el intercambiador 312 de calor para proporcionar refrigeración al mismo como se ha descrito anteriormente. El refrigerante parcialmente vaporizado en la línea 316 vuelve al intercambiador 344 de calor como se ha descrito anteriormente.

Otra alternativa al ejemplo de la realización de la figura 2 se ilustra en la figura 5. En este ejemplo de la realización, se utiliza un tercer circuito de refrigeración modificado en el que el refrigerante se comprime a temperaturas por debajo de la del ambiente y una parte del enfriamiento del refrigerante comprimido se proporciona mediante el primer circuito de refrigeración. Con referencia a la figura 5, el vapor refrigerante en la línea 348 a una temperatura en el intervalo de 0° C a -90° C se comprime en el compresor 349 hasta 10 a 20 bares y se enfría en el pos-enfriador 350 hasta la temperatura ambiente. El refrigerante comprimido enfriado en la línea 351 se enfría adicionalmente en los conductos de flujo 352 del primer intercambiador 353 de calor, en el que se proporciona la refrigeración mediante el primer circuito de refrigeración como se ha descrito anteriormente.

El refrigerante enfriado en la línea 354 se enfría más en el cuarto intercambiador 355 de calor para proporcionar un refrigerante adicionalmente enfriado en la línea 329. El refrigerante enfriado en la línea 329 se enfría más y se licua al menos parcialmente en el tercer intercambiador 312 de calor, reduce su presión a través de la válvula 314 de estrangulación para proporcionar un refrigerante de presión reducida en la línea 315, en la que el refrigerante de presión reducida se vaporiza parcialmente en el intercambiador 312 de calor para proporcionar refrigeración al mismo como se ha descrito anteriormente. El refrigerante parcialmente vaporizado en la línea 316 vuelve al intercambiador 354 de calor como se ha descrito anteriormente.

En esta realización alternativa, el refrigerante mixto en la línea 348 está a una temperatura en el intervalo de 0°C a -90°C a la entrada al compresor 349. La utilización de la compresión fría en el compresor 349 contrasta con las realizaciones de las figuras 2, 3 y 4, en las que el vapor refrigerante entra a la entrada del compresor a temperatura ambiente aproximadamente. El refrigerante mixto de la realización de la figura 5 es más ligero que el refrigerante de la realización de la figura 2; preferiblemente, el refrigerante mixto de la figura 5 no contiene componentes más pesados que el propano.

Cuando las realizaciones anteriores se utilizan para la licuación de gas natural, los hidrocarburos más pesados que el metano se pueden condensar y eliminar antes de la licuación final del metano mediante métodos conocidos que incluyen columnas depuradoras u otros procesos de destilación y/o condensación parcial. Como se ha descrito anteriormente, estos líquidos condensados de gas natural (GNLs) se pueden fraccionar para obtener componentes seleccionados para los refrigerantes de los sistemas de refrigeración.

EJEMPLO

El proceso de la figura 3 se ilustra mediante el siguiente ejemplo no limitativo 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 gas natural licuado (GNL) producto 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 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 -33° C en un primer intercambiador 129 de calor mediante tres etapas de enfriamiento con propano. Para efectuar este enfriamiento, el propano se evapora a tres niveles de presión formando tres corrientes de aspiración (135, 145 y 151) al compresor 119 de propano. Las presiones de las tres corrientes de aspiración son 1,3 bares, 2,8 bares y 4,8 bares respectivamente. El compresor 119 tiene una presión de descarga de 16,3 bares. El propano se enfría a una temperatura de 43° C y se condensa en el pos-enfriador 121 que utiliza un medio enfriador a temperatura ambiente tal como agua o aire de refrigeración. El caudal total de propano en la línea 123 es de 114 kg-moles/hora.

La alimentación enfriada en la línea 5 y el segundo refrigerante mixto en la línea 208 se enfrían a una temperatura de -119° C en un segundo intercambiador 311 de calor para producir una alimentación más enfriada en la línea 9 y 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. 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° C utilizando agua de refrigeración para proporcionar refrigerante mixto comprimido enfriado en la línea 207.

La alimentación en la línea 9 y el tercer refrigerante mixto en la línea 329 se enfrían hasta una temperatura final de -156° 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 el refrigerante parcialmente vaporizado de la línea 316 tiene una fracción del 55% de vapor y una temperatura de -123°C . El refrigerante mixto para este tercer circuito de enfriamiento 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.

- 5 El refrigerante mixto en la línea 316 se vaporiza completamente y se calienta hasta 26°C en el cuarto intercambiador 317 de calor para proporcionar refrigeración al mismo. El refrigerante vaporizado en la línea 318 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 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 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. Este refrigerante mixto se enfría en el cuarto intercambiador 317 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.
- 10
- 15

- 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.
- 20

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método para licuar un gas (1) que comprende enfriar una corriente de gas de alimentación sucesivamente a través de al menos dos zonas (310, 311 y 312) de intercambio de calor a sus respectivos intervalos de temperatura para obtener un producto (13) licuado, en el que la refrigeración para enfriar la corriente de alimentación de gas en los citados intervalos de temperatura es proporcionada por los respectivos refrigerantes (117, 213 y 315) que se vaporizan y el refrigerante (315) en el intervalo de temperatura más frío se vaporiza sólo parcialmente en la zona (312) más fría de intercambio de calor y se recircula en un proceso de refrigeración por recirculación que comprende vaporizar más el refrigerante (316) parcialmente vaporizado en una zona (317) de intercambio de calor adicional a temperaturas por encima de la temperatura más alta de la zona (312) de intercambio de calor más fría para formar un refrigerante (318) totalmente vaporizado, comprimir (319, 324) el refrigerante (318) totalmente vaporizado para producir una corriente (328) refrigerante comprimida, y enfriar la corriente (328) refrigerante comprimida para proporcionar el refrigerante (315) más frío, en el que el gas de alimentación no pasa a través de la zona (317) de intercambio de calor adicional, **caracterizado porque** la citada corriente (328) entera refrigerante comprimida se enfría (i) opcionalmente, en una zona (353) de intercambio de calor que precede a la zona (312) de intercambio de calor más fría, por intercambio (352) indirecto de calor con el refrigerante que se vaporiza de dicha zona (353) precedente de intercambio de calor; (ii) en la zona (317) de intercambio de calor adicional por intercambio (317) indirecto de calor de la corriente (328; 354) refrigerante comprimida opcionalmente enfriada con el refrigerante (316) que se vaporiza de nuevo para proporcionar una corriente (329) refrigerante enfriada, y luego (iii) mediante nuevo enfriamiento (312) de la corriente refrigerante (329) enfriada para obtener el refrigerante (315) más frío, por lo cual el citado proceso de refrigeración por recirculación se auto-refrigera, excepto para cualquier enfriamiento mediante el citado paso (i) de enfriamiento opcional.
- 2.- El método de la reivindicación 1, en el que el enfriamiento de la corriente (328) refrigerante comprimida no comprende el paso (i).
- 3.- El método de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que el enfriamiento de la corriente (328; 351) refrigerante comprimida comprende el paso (i).
- 4.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la corriente (1) de gas de alimentación es gas natural.
- 5.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el refrigerante en el proceso (315) de refrigeración por recirculación es una mezcla de varios componentes que comprende nitrógeno, i-pentano y n-pentano, siendo la relación molar entre el i-pentano y el n-pentano en el refrigerante más frío mayor que uno, obteniéndose dicho i-pentano y n-pentano a partir de la corriente (1) de gas de alimentación y siendo la citada relación molar en el refrigerante (315) más frío mayor que la relación molar entre el i-pentano y el n-pentano en la corriente (1) del gas de alimentación.
- 6.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el refrigerante en el proceso (315) de refrigeración por recirculación es una mezcla de varios componentes que comprende nitrógeno, i-pentano y uno o más hidrocarburos que tienen cuatro átomos de carbono, siendo obtenidos el citado i-pentano y uno o más hidrocarburos se obtienen a partir de la corriente (1) del gas de alimentación, y siendo la relación molar entre el i-pentano y el uno o más hidrocarburos que tienen cuatro átomos de carbono en el refrigerante (315) más frío mayor que la relación molar entre el i-pentano y uno o más hidrocarburos que tienen cuatro átomos de carbono en la corriente (1) del gas de alimentación.
- 7.- El método de la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en el que el refrigerante (315) más frío comprende (en % molar) el 5-15% de nitrógeno, 30-60% de metano, 10-30% de etano, 0-10% de propano y 5-15% de i-pentano.
- 8.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el enfriamiento adicional de la corriente (329) refrigerante enfriada se efectúa por intercambio de calor indirecto con el refrigerante (315) más frío que se vaporiza en la zona (312) de intercambio de calor más fría.
- 9.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, antes de la vaporización para enfriar la corriente (328; 339) refrigerante comprimida, el refrigerante (316) parcialmente vaporizado se combina con un líquido refrigerante (345) de presión reducida enfriado para proporcionar un refrigerante (347) combinado de dos fases que se vaporiza para enfriar la corriente (328; 339) refrigerante comprimida, siendo el vapor (330) refrigerante comprimido y enfriado (332) para obtener un refrigerante parcialmente condensado, siendo separado el refrigerante parcialmente condensado (333) en una corriente (334) de vapor refrigerante y una corriente (335) de líquido refrigerante, siendo la corriente (334) de vapor refrigerante comprimida (336) y enfriada para formar una corriente parcialmente condensada y siendo separada la corriente parcialmente condensada (338) en el vapor (328; 339) refrigerante comprimido y un líquido refrigerante (340), siendo reducida la presión del líquido refrigerante (341) para proporcionar un líquido refrigerante (342) de presión reducida, combinándose el líquido refrigerante (342) de presión reducida con la corriente (335) líquida refrigerante para proporcionar un líquido (343) refrigerante combinado, siendo subenfriada la corriente (343) líquida refrigerante combinada por intercambio (344) indirecto de calor con el refrigerante (347) combinado de dos fases y luego reducida de presión para obtener el líquido refrigerante (345) de

presión reducida enfriado para combinar con el refrigerante (316) parcialmente vaporizado.

10.- Un sistema para licuar una corriente (1) de gas por el método de la reivindicación 1, cuyo sistema comprende:

al menos dos zonas (310, 311 y 312) de intercambio de calor para enfriar la corriente (1) de gas sucesivamente a través de los respectivos intervalos de temperatura para obtener un producto (13) licuado y

respectivos sistemas de refrigeración para proporcionar respectivos refrigerantes en las respectivas líneas (117, 213 y 315) de refrigerantes a las zonas (310, 311 y 312) de intercambio de calor, vaporizando la zona (312) de intercambio de calor de temperatura más fría sólo parcialmente el respectivo (es decir, más frío) refrigerante y siendo el sistema de refrigeración que proporciona el refrigerante más frío un sistema de recirculación que comprende:

una zona (317) de intercambio de calor adicional para vaporizar totalmente el refrigerante resultante parcialmente vaporizado a temperaturas por encima de la temperatura más alta de la zona (312) de intercambio de calor más fría,

medios (319, 324) de compresión para comprimir el refrigerante vaporizado para obtener la corriente (328) de refrigerante comprimida,

medios (318) de tuberías para proporcionar refrigerante vaporizado procedente de la zona (317) de intercambio de calor adicional a los citados medios (319, 324) de compresión,

medios (328) de tuberías para proporcionar el refrigerante comprimido a la zona (317) de intercambio de calor adicional,

medios (329) de tuberías para proporcionar un refrigerante comprimido enfriado procedente de la zona (317) de intercambio de calor adicional a la zona (312) de intercambio de calor más fría, y

medios para enfriar aún más (356) el refrigerante comprimido enfriado para obtener un refrigerante condensado

caracterizado porque:

el gas de alimentación no pasa a través de la zona de intercambio de calor adicional y los medios (328) de tuberías que proporcionan el refrigerante comprimido a la zona (317) de intercambio de calor adicional transporta toda la corriente (328) de refrigerante comprimida y opcionalmente pasa a través de una zona (353) de intercambio de calor que precede a la zona (312) de intercambio de calor más fría para enfriar todo el refrigerante comprimido mediante intercambio (352) de calor indirecto con el respectivo refrigerante (117) que vaporiza, por lo cual el citado sistema de refrigeración por recirculación que proporciona el proceso de refrigerante más frío se auto-refrigera, excepto para cualquier enfriamiento proporcionado por la citada opción de enfriar en la zona (353) precedente de intercambio de calor.

11.- El sistema de la reivindicación 10, en el que:

los medios para enfriar (356) aún más el refrigerante comprimido enfriado para obtener un refrigerante condensado comprenden la zona (312) de intercambio de calor más fría y

el sistema comprende además medios (314) de reducción de presión para reducir la presión del refrigerante condensado para proporcionar el refrigerante a la línea (315) de refrigerante para la zona (312) de intercambio de calor más fría.

12.- El sistema de la reivindicación 11, en el que la zona (317; 344) de intercambio de calor adicional incluye medios para subenfriar un líquido refrigerante para proporcionar un líquido refrigerante subenfriado y el sistema de refrigeración más frío comprende medios (346) de reducción de presión para reducir la presión del líquido refrigerante subenfriado para proporcionar un refrigerante de presión reducida, y (347) de tuberías para combinar el refrigerante de presión reducida con el refrigerante parcialmente vaporizado procedente de la zona (312) de intercambio de calor más fría para proporcionar una corriente combinada de refrigerante que se vaporiza a la zona (317; 344) de intercambio de calor adicional, en el que la corriente de refrigerante que se vaporiza, combinada, se vaporiza para proporcionar la alimentación de refrigerante vaporizado a los medios (319) de compresión.

13.- El sistema de la reivindicación 12, en el que los medios de compresión para comprimir el refrigerante vaporizado procedente de la zona (344) de intercambio de calor adicional comprenden:

un compresor (331) de primera etapa,

un intercambiador enfriador (332) para enfriar y condensar parcialmente la primera corriente refrigerante resultante comprimida para producir una primera corriente de refrigerante comprimida parcialmente

condensada,

un primer separador (333) para separar la primera corriente de refrigerante comprimida parcialmente condensada en una primera corriente de refrigerante vapor y una primera corriente de refrigerante líquida,

5 un compresor (336) de segunda etapa para comprimir la corriente de refrigerante vapor para proporcionar una corriente de refrigerante vapor comprimida,

un pos-enfriador (337) para enfriar la corriente de refrigerante vapor comprimida para proporcionar una corriente de refrigerante de dos fases enfriada,

un segundo separador (338) para proporcionar una segunda corriente de refrigerante líquida y el refrigerante comprimido a los medios (328) de tuberías para alimentar la zona (317) de intercambio de calor adicional,

10 medios (341) de reducción de presión para reducir la presión de la segunda corriente de refrigerante líquida para proporcionar una segunda corriente de refrigerante líquida de presión reducida, y

medios (335, 342, 343) de tuberías para combinar la segunda corriente de refrigerante líquida de presión reducida y la primera corriente de refrigerante líquida para proporcionar el líquido refrigerante a la zona (344) de intercambio de calor adicional.

15 14.- El sistema de la reivindicación 10 para licuar una corriente (1) de gas mediante el método de la reivindicación 4, en el que el sistema de refrigeración más frío comprende:

medios (348) de tuberías para proporcionar refrigerante vaporizado procedente de la zona (317; 355) de intercambio de calor adicional a medios (349) de compresión para comprimir un refrigerante vaporizado para proporcionar un refrigerante comprimido,

20 medios (352) de enfriamiento en una zona (353) de intercambio de calor que precede a la zona (312) de intercambio de calor más fría para enfriar el refrigerante comprimido por intercambio de calor indirecto con el refrigerante respectivo que vaporiza en la citada zona (353) de intercambio de calor para proporcionar un refrigerante comprimido enfriado,

25 medios de tuberías para proporcionar el refrigerante comprimido enfriado a la zona (317; 355) de intercambio de calor adicional para enfriar aún más el refrigerante comprimido enfriado por intercambio de calor indirecto con el refrigerante que se vaporiza procedente de la zona (312) de intercambio de calor más fría para proporcionar el tercer refrigerante vaporizado y un refrigerante comprimido más enfriado,

medios para enfriar (356) aún más el refrigerante comprimido enfriado en la zona (312) de intercambio de calor más fría para proporcionar un refrigerante condensado, y

30 medios (314) de reducción de presión para reducir la presión del refrigerante condensado para proporcionar el refrigerante a la línea (315) de refrigerante a la zona (312) de intercambio de calor más fría.

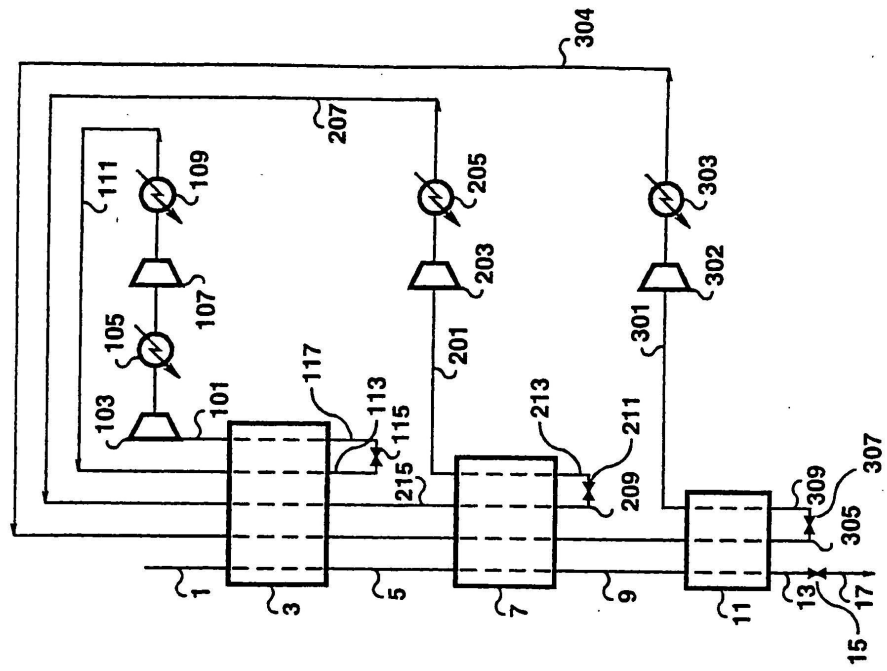


FIG. 1
(TÉCNICA ANTERIOR)

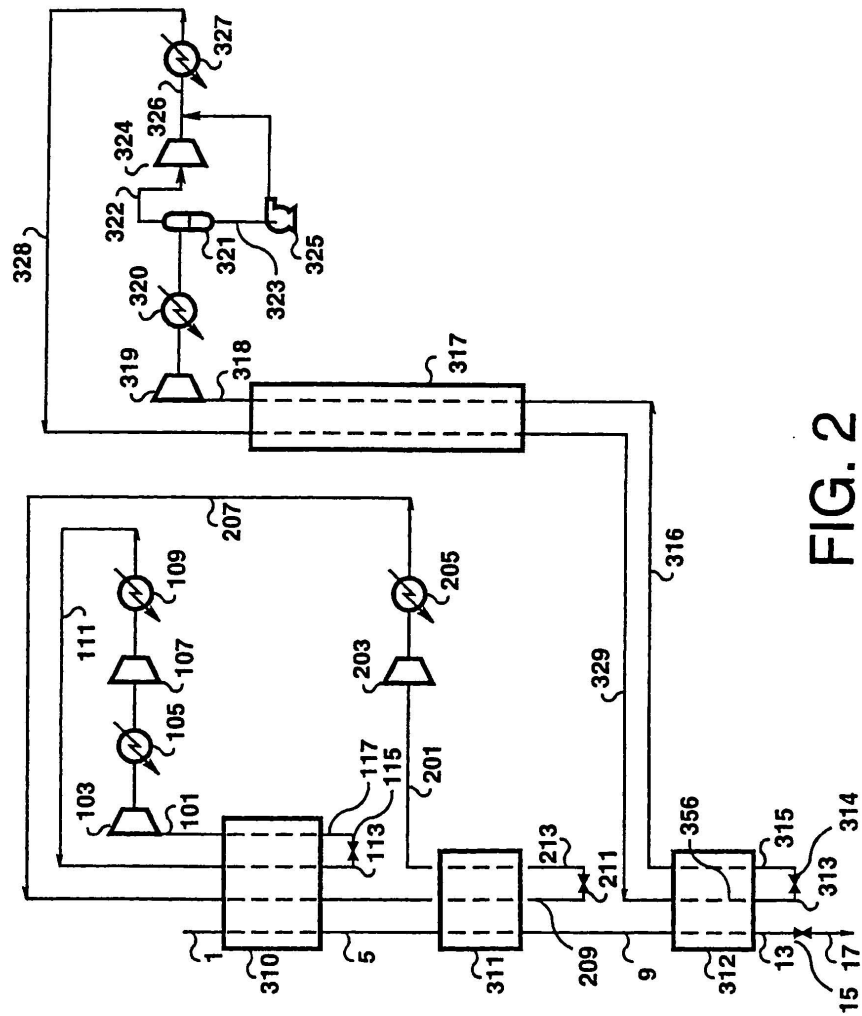


FIG. 2

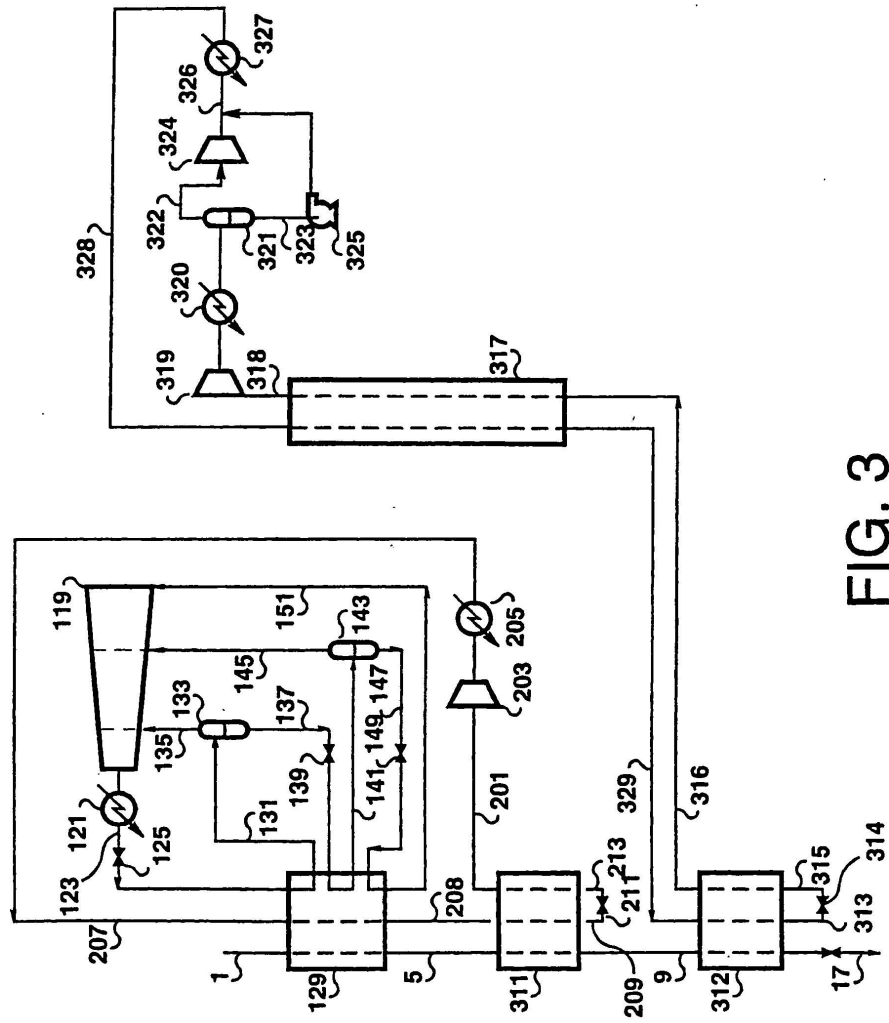
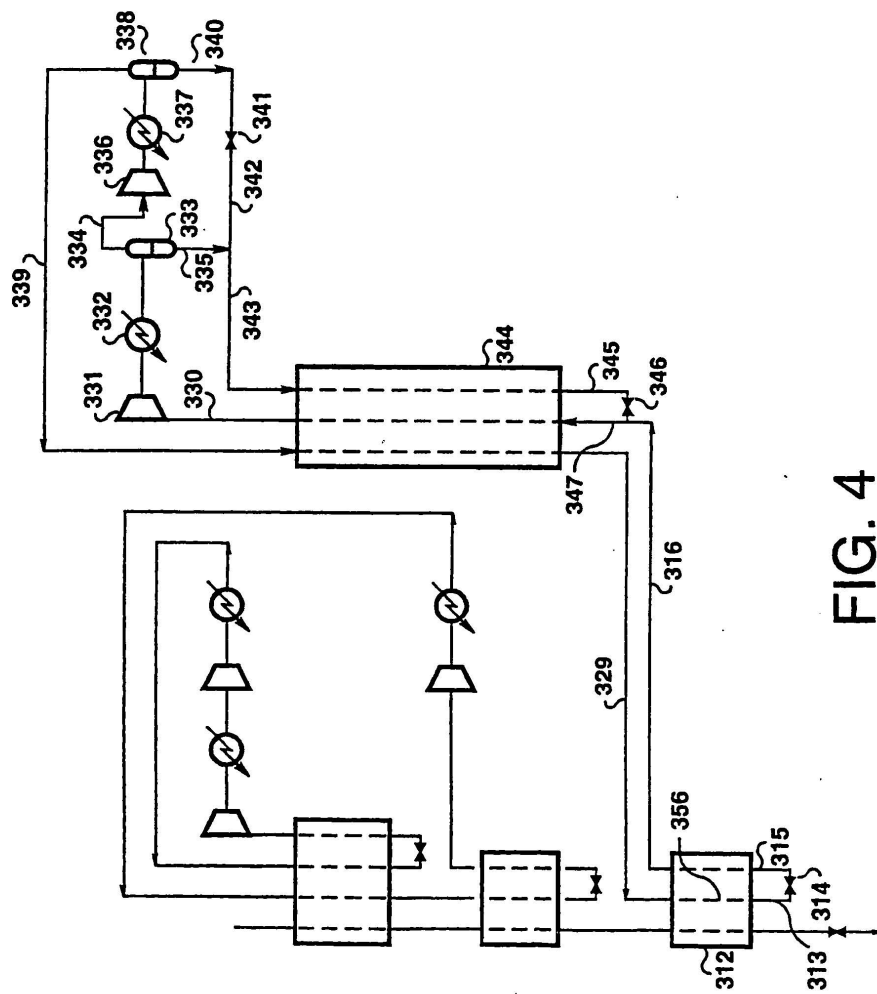


FIG. 3



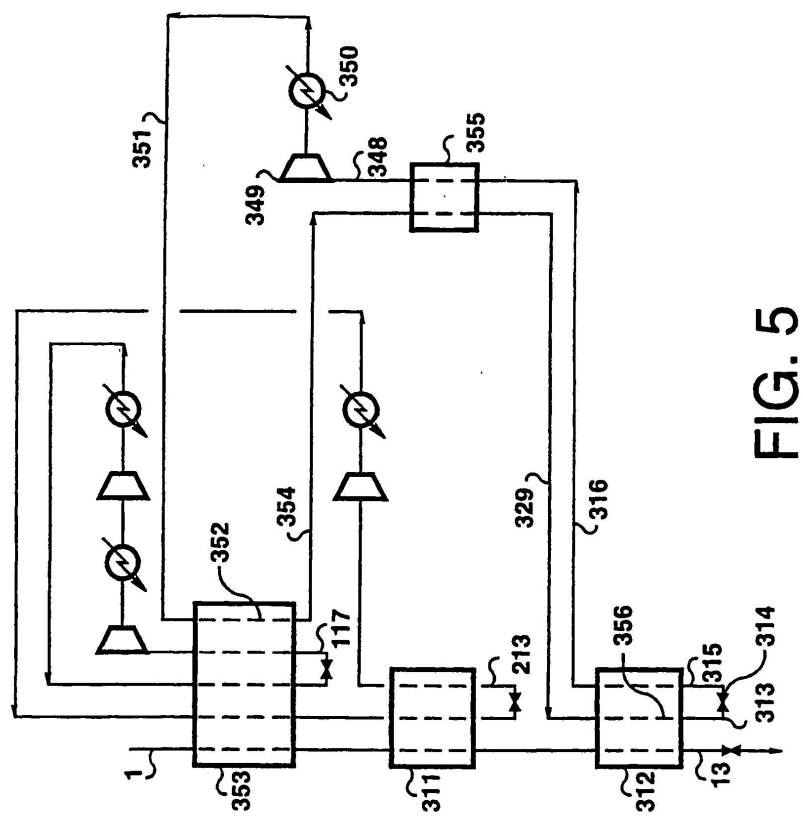


Fig. 5