

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 508**

51 Int. Cl.:

F25J 1/00 (2006.01)

F25J 1/02 (2006.01)

F25J 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.03.2011 PCT/AU2011/000374**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.10.2011 WO11120097**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2011 E 11761839 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 2561294**

54 Título: **Reequilibrado de un intercambiador de calor principal en un proceso de licuefacción de una corriente en el lado de los tubos**

30 Prioridad:

31.03.2010 AU 2010901399

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

06.03.2020

73 Titular/es:

**LINDE AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Klosterhofstrasse 1
80331 München, DE**

72 Inventor/es:

**HODGES, DEREK WILLIAM;
STEINBAUER, MANFRED;
KERBER, CHRISTIANE y
HAMMERDINGER, MARKUS**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 746 508 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Reequilibrado de un intercambiador de calor principal en un proceso de licuefacción de una corriente en el lado de los tubos

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a un proceso de licuefacción de una corriente en el lado de los tubos para obtener un producto licuado mediante el reequilibrado del perfil de calor de un intercambiador de calor principal. La presente invención se refiere, en particular, aunque no exclusivamente, a un proceso de licuefacción de una alimentación gaseosa, rica en metano, para obtener un producto licuado conocido como "gas natural licuado" o "GNL".

Antecedentes de la invención

- 10 Un proceso de licuefacción típico se describe en la patente US número 6.272.882, en el que una alimentación gaseosa, rica en metano, se suministra a alta presión a un primer lado de tubo de un intercambiador de calor principal en su extremo caliente. La alimentación gaseosa, rica en metano, se enfría, licúa y subenfria contra el refrigerante en evaporación para obtener una corriente licuada. La corriente licuada se retira del intercambiador de calor principal en su extremo frío y se pasa al almacenamiento como producto licuado. El refrigerante evaporado se retira del lado de la carcasa del intercambiador de calor principal en su extremo caliente. El refrigerante evaporado se comprime en al menos un compresor de refrigerante para obtener refrigerante a alta presión. El refrigerante de alta presión se condensa parcialmente y el refrigerante parcialmente condensado se separa en una fracción de refrigerante pesado, líquido, y una fracción de refrigerante ligero, gaseoso. La fracción de refrigerante pesado se subenfria en un segundo lado de tubo del intercambiador de calor principal para obtener una corriente de refrigerante pesado subenfriado. La corriente de refrigerante pesado se introduce a presión reducida en el lado de la carcasa del intercambiador de calor principal en un punto intermedio, permitiendo que la corriente de refrigerante pesado se evapore en el lado de la carcasa del intercambiador de calor principal. Al menos parte de la fracción de refrigerante ligero se enfría, licúa y subenfria en un tercer lado de tubo del intercambiador de calor principal para obtener una corriente de refrigerante ligero, subenfriado. Esta corriente de refrigerante ligero se introduce a presión reducida en el lado de la carcasa del intercambiador de calor principal en su extremo frío, y se permite que la corriente de refrigerante ligero se evapore en el lado de la carcasa.

- A partir de la descripción proporcionada anteriormente, es evidente que el lado de los tubos del intercambiador de calor principal es necesario para gestionar tres corrientes, concretamente: i) una alimentación gaseosa, rica en metano, que entra al extremo caliente del primer lado de los tubos como un gas a alta presión, se condensa a medida que se desplaza a través del primer lado de los tubos, y sale del extremo frío del primer lado de los tubos como una corriente licuada subenfriada; ii) una fracción de refrigerante pesado que entra en el extremo caliente del segundo lado de los tubos como un líquido, se subenfria a medida que se desplaza a través del segundo lado de los tubos y sale del extremo frío del segundo lado de los tubos como una corriente de refrigerante pesado subenfriado; y, iii) al menos una parte de la fracción de refrigerante ligero que entra al extremo caliente del tercer lado de los tubos como un vapor, se enfría, licúa y subenfria a medida que se desplaza a través del tercer lado de los tubos, y sale del extremo frío del tercer lado de los tubos como una corriente de refrigerante ligero subenfriado.

- Al mismo tiempo, se requiere que el lado de la carcasa del intercambiador de calor principal gestione: a) una corriente de refrigerante pesado que entra al lado de la carcasa en una ubicación intermedia (en una ubicación al a que se hace referencia en la técnica como la "parte superior del haz de tubos calientes"), y que se evapora en el interior del lado de la carcasa antes de ser eliminado como un gas desde el lado de la carcasa en su extremo caliente; y, b) una corriente de refrigerante ligero que entra al lado de la carcasa a presión reducida en su extremo frío (en una ubicación a la que se hace referencia en la técnica como la "parte superior del haz de tubos fríos"), y que se evapora en el interior del lado de la carcasa antes de ser eliminado como un gas desde el lado de la carcasa en su extremo caliente.

- De esta manera, con el fin de operar en el tipo de proceso de licuefacción descrito en la patente US 6.272.882, el intercambiador de calor principal debe ser capaz de manipular corrientes tanto monofásicas como bifásicas, todas las cuales se condensan a diferentes temperaturas, con múltiples corrientes del lado de los tubos y del lado de la carcasa alojadas en un intercambiador. El intercambiador de calor principal debe ser capaz también de manipular corrientes que tengan un amplio intervalo de temperaturas y presiones. Por esta razón, el intercambiador de calor principal usado en las plantas de licuefacción en todo el mundo es un intercambiador de calor "enrollado en bobina" o "enrollado en espiral".

- En dichos intercambiadores de calor enrollados en bobina, los tubos para cada una de las corrientes individuales se distribuyen uniformemente en múltiples capas que se enrollan alrededor de un tubo o mandril central para formar un "haz". Cada una de las múltiples capas de tubos puede comprender cientos de tubos dimensionados de manera uniforme con una distribución uniforme de cada uno de los fluidos primero, segundo y tercero en el lado de los tubos en cada capa en proporción a sus relaciones de flujo. La eficiencia del intercambiador de calor principal depende de que la

transferencia de calor entre el lado de la carcasa y el lado de los tubos en cada una de estas múltiples capas esté lo más equilibrada posible, tanto radialmente a través del haz como axialmente a lo largo de la longitud del haz.

5 A medida que los intercambiadores de calor enrollados en espiral se hacen más grandes para realizar tareas mayores, se hace cada vez más difícil distribuir los fluidos en el lado de la carcasa de manera uniforme. Esto es debido en parte al hecho de que, en el lado de la carcasa, la composición de las corrientes de refrigerante pesado y ligero cambia continuamente a lo largo del intercambiador de calor principal a medida que los componentes ligeros del refrigerante se evaporan en primer lugar. Como consecuencia, la transferencia de calor entre el lado de la carcasa y cada uno de entre los lados del tubo primero, segundo y tercero puede hacerse no homogénea a través de las capas en el interior del haz. Esta distribución no homogénea de la temperatura en los fluidos en el lado de la carcasa conduce a una falta de homogeneidad en la temperatura en partes de cada uno de los fluidos en el lado de los tubos en los extremos fríos del haz desde cada capa de tubos en el haz, y para el fluido en el lado de la carcasa que sale en el extremo caliente.

10 Cuando el sistema está en equilibrio, la diferencia de temperatura entre los lados de los tubos y el lado de la carcasa permanece relativamente constante pero pequeña a lo largo de la mayor parte de la longitud del intercambiador de calor principal. Cuando el sistema no está equilibrado, la pequeña diferencia de temperatura entre los lados de los tubos y el lado de la carcasa puede "apretarse" en ubicaciones en las que existe un diferencial de temperatura muy pequeño o nulo. Dicho apretamiento causa una caída en la eficiencia del intercambiador de calor principal. Se experimenta también una caída de eficiencia consecuente en el circuito de compresión de refrigerante mixto asociado que recibe el fluido que sale del extremo caliente del lado de la carcasa del intercambiador de calor principal. Si el intercambiador de calor principal está funcionando correctamente, el fluido que sale del extremo caliente del lado de la carcasa es un gas. Cuando el intercambiador de calor principal no está equilibrado, el fluido que sale del extremo caliente del lado de la carcasa puede comprender una mezcla bifásica de gas y líquido. Cualquier líquido presente representa una pérdida significativa de eficiencia y debe ser también eliminado para evitar potenciales daños en el circuito de compresión de refrigerante aguas abajo.

15 El documento DE 10 2007 059 541 A1 del presente solicitante se refiere a un intercambiador de calor enrollado en bobina para la licuefacción de gas natural. Para compensar las diferencias en la presión gravitacional en el interior de los tubos, se proporcionan uno o más tubos con resistencia al flujo.

20 La publicación "Entwicklungen im Gemischtkreis-Kaskaden-Prozess für LNG Baseload Anlagen" de Wilfried Bach en "Linde - Berichte aus Technik und Wissenschaft", 81, 2002, XP1101509, del presente solicitante, se refiere a un proceso para la licuefacción de gas natural en el que se usan intercambiadores de calor de placas e intercambiadores de calor enrollados en bobina.

25 La presente invención proporciona un proceso y un aparato para mejorar la eficiencia de un intercambiador de calor principal mediante la superación de al menos uno de los problemas identificados anteriormente.

Sumario de la invención

30 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso para la licuefacción de una corriente en el lado de los tubos en un intercambiador de calor principal que tiene un extremo caliente y un extremo frío, comprendiendo el intercambiador de calor principal una pared que define un lado de la carcasa en el interior del cual está dispuesto un haz de tubos enrollados en bobina, comprendiendo el proceso las etapas de:

- 35 a) proporcionar un primer flujo másico de la corriente en el lado de los tubos en forma gaseosa al extremo caliente de un primer subconjunto de tubos individuales, estando dicho primer subconjunto de tubos individuales distribuido de manera radialmente uniforme a través del haz de tubos;
- 40 b) proporcionar un segundo flujo másico de la corriente en el lado de los tubos en forma gaseosa al extremo caliente de un segundo subconjunto de tubos individuales, estando dicho segundo subconjunto de tubos individuales distribuido de manera radialmente uniforme a través del haz de tubos;
- 45 c) evaporar una corriente de refrigerante en el lado de la carcasa para proporcionar enfriamiento al primer flujo másico y al segundo flujo másico, de manera que la corriente en el lado de los tubos se convierte en un líquido;
- d) medir una temperatura de salida del primer flujo másico eliminado como un líquido desde el extremo frío del primer subconjunto de tubos individuales;
- 50 e) medir una temperatura de salida del segundo flujo másico eliminado como un líquido desde el extremo frío del segundo subconjunto de tubos individuales; y,
- f) comparar la temperatura de salida del primer flujo másico medida en la etapa d) con la temperatura de salida del segundo flujo másico medida en la etapa e), estando caracterizado el proceso por que al menos uno de

los flujos másicos primero y segundo se ajusta para igualar la temperatura de salida del primer flujo másico con la temperatura de salida del segundo flujo másico.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un intercambiador de calor principal para la licuefacción de una corriente en el lado de los tubos, teniendo el intercambiador de calor principal un extremo caliente y un extremo frío durante el uso, comprendiendo el intercambiador de calor principal:

una pared que define un lado de la carcasa en el interior del cual hay dispuesto un haz de tubos enrollados en bobina;

unos medios para proporcionar un primer flujo másico de la corriente en el lado de los tubos en forma gaseosa al extremo caliente de un primer subconjunto de tubos individuales, estando dicho primer subconjunto de tubos individuales distribuido de manera radialmente uniforme a través del haz de tubos;

unos medios para proporcionar un segundo flujo másico de la corriente en el lado de los tubos en forma gaseosa al extremo caliente de un segundo subconjunto de tubos individuales, estando dicho segundo subconjunto de tubos individuales distribuido de manera radialmente uniforme a través del haz de tubos;

un distribuidor para proporcionar una corriente de refrigerante al lado de la carcasa para proporcionar enfriamiento al primer flujo másico y al segundo flujo másico mediante evaporación de la corriente de refrigerante, de manera que la corriente en el lado de los tubos se convierta en un líquido;

un primer sensor de temperatura para generar una primera señal indicativa de una temperatura de salida del primer flujo másico eliminado como un líquido desde el extremo frío del primer subconjunto de tubos individuales;

un segundo sensor de temperatura para generar una segunda señal indicativa de una temperatura de salida del segundo flujo másico eliminado como un líquido desde el extremo frío del segundo subconjunto de tubos individuales;

un controlador en comunicación con unos medios de ajuste de flujo másico para ajustar uno o ambos de entre el primer flujo másico y el segundo flujo másico para igualar la temperatura de salida del primer flujo másico con la temperatura de salida del segundo flujo másico.

En una forma, la temperatura de salida del primer flujo másico medida en la etapa d) es más alta que la temperatura del segundo flujo másico medida en la etapa e) y el primer flujo másico es pequeño en comparación con el segundo flujo másico. De manera alternativa, la temperatura de salida del primer flujo másico medida en la etapa d) es menor que la temperatura del segundo flujo másico medida en la etapa e) y el segundo flujo másico es pequeño con relación al primer flujo másico.

En una forma, el al menos uno de entre los flujos másicos primero y segundo se ajusta para igualar la temperatura de salida del primer flujo másico con la temperatura de salida del segundo flujo másico mediante el ajuste de al menos uno de los flujos másicos primero o segundo en el extremo frío del intercambiador de calor principal. De manera alternativa, el al menos uno de entre los flujos másicos primero y segundo se ajusta para igualar la temperatura de salida del primer flujo másico con la temperatura de salida del segundo flujo másico mediante el ajuste de al menos uno de los flujos másicos primero o segundo en el extremo caliente del intercambiador de calor principal.

El primer flujo másico puede ser ajustado reduciendo el número de tubos individuales en el primer subconjunto de tubos individuales, conectando o retirando uno o más tubos individuales en el primer subconjunto de tubos individuales, o restringiendo el primer flujo másico suministrado al primer subconjunto de tubos individuales. De manera análoga, el segundo flujo másico puede ser ajustado reduciendo el número de tubos individuales en el segundo subconjunto de tubos individuales, conectando o retirando uno o más tubos individuales en el segundo subconjunto de tubos individuales, o restringiendo el primer flujo másico suministrado al segundo subconjunto de tubos individuales.

En una forma, el haz de tubos comprende un haz de tubos calientes dispuesto hacia el extremo caliente del haz de tubos, y un haz de tubos fríos dispuesto hacia el extremo frío del haz de tubos, teniendo cada uno de entre el haz de tubos calientes y el haz de tubos fríos un extremo caliente y un extremo frío. A lo largo de la presente memoria descriptiva, la referencia al "haz de tubos", cuando no se especifica lo contrario, se usa para cubrir la situación en la que un intercambiador de calor principal tiene un único haz de tubos, así como la situación en la que el haz de tubos está compuesto por un haz de tubos calientes separado y un haz de tubos fríos separado.

En una forma, la primera corriente en el lado de los tubos puede entrar al extremo caliente del haz de tubos calientes como una alimentación gaseosa, rica en metano, que ha licuada para cuando pasa del extremo caliente del haz de tubos calientes al extremo caliente del haz de tubos fríos. En una forma, la primera corriente en el lado de los tubos entra al extremo caliente del haz de tubos fríos como un líquido y sale del extremo frío del haz de tubos fríos como un

líquido subenfriado. El líquido subenfriado puede ser eliminado desde el extremo frío del haz de tubos fríos del intercambiador de calor principal antes de ser dirigido al almacenamiento.

5 En una forma, la primera corriente en el lado de los tubos intercambia calor con una corriente de refrigerante ligero predominantemente líquido que se evapora progresivamente en el lado de la carcasa del haz de tubos fríos. El refrigerante evaporado eliminado desde el extremo caliente del lado de la carcasa del intercambiador de calor principal puede ser alimentado a los compresores de refrigerante primero y segundo en los que el refrigerante evaporado se comprime para formar una corriente de refrigerante a alta presión. La corriente de refrigerante a alta presión puede ser dirigida a un intercambiador de calor en el que se enfría para producir una corriente de refrigerante parcialmente condensada que, a continuación, es dirigida en un separador para separar una fracción de refrigerante pesado en forma líquida y una fracción de refrigerante ligero en forma gaseosa. La fracción de refrigerante pesado puede convertirse en una segunda corriente en el lado de los tubos que es suministrada en el extremo caliente del haz de tubos calientes como un líquido y que sale en el extremo frío del haz de tubos calientes como una corriente de refrigerante pesado subenfriado en forma líquida. La corriente de refrigerante pesado subenfriado eliminada en el extremo frío del haz de tubos calientes puede expandirse a través de un primer dispositivo de expansión para formar una corriente de refrigerante pesado a presión reducida que, a continuación, es introducida en el lado de la carcasa del intercambiador de calor principal en una ubicación intermedia entre el extremo frío del haz de tubos calientes y el extremo caliente del haz de tubos fríos, y en el que se permite que dicha corriente de refrigerante pesado a presión reducida se evapore en el lado de la carcasa, enfriando de esta manera los fluidos en las corrientes primera, segunda y tercera en el lado de los tubos a medida que pasan a través del haz de tubos calientes.

20 Una parte de la fracción de refrigerante ligero desde el separador puede convertirse en una tercera corriente en el lado de los tubos que se introduce en el extremo caliente del haz de tubos calientes como un gas y sale en el extremo frío del haz de tubos fríos como un líquido subenfriado. La tercera corriente en el lado de los tubos puede enfriarse desde un gas a un líquido a medida que pasa a través del haz de tubos calientes y se enfría desde un líquido a un líquido subenfriado a medida que pasa a través del haz frío. La corriente de refrigerante ligero subenfriado eliminada desde el extremo frío del haz de tubos fríos puede expandirse a través de un segundo dispositivo de expansión para causar una reducción de la presión y producir una corriente de refrigerante ligero de presión reducida. La corriente de refrigerante ligero a presión reducida se introduce en el lado de la carcasa del intercambiador de calor principal en su extremo frío, y en el que se permite que dicha corriente de refrigerante ligero a presión reducida se evapore en el lado de la carcasa, enfriando de esta manera los fluidos en las corrientes primera y tercera en el lado de los tubos a medida que se desplazan a través del haz de tubos fríos, proporcionando también enfriamiento a los fluidos en las corrientes primera, segunda y tercera en el lado de los tubos a medida que se desplazan a través del haz de tubos calientes.

35 En una forma, el controlador del intercambiador de calor principal se comunica con los medios de ajuste de flujo másico para reducir el primer flujo másico en comparación con el segundo flujo másico cuando la primera señal es más alta que la segunda señal. En una forma, el controlador se comunica con los medios de ajuste de flujo másico para reducir el segundo flujo másico con relación al primer flujo másico cuando la primera señal es más baja que la segunda señal. En una forma, los medios de ajuste de flujo másico están configurados para ajustar uno o ambos de entre el primer flujo másico y el segundo flujo másico para igualar la temperatura de salida del primer flujo másico con la temperatura de salida del segundo flujo másico en el extremo frío del intercambiador de calor principal. En una forma, los medios de ajuste de flujo másico están configurados para ajustar uno o ambos de entre el primer flujo másico y el segundo flujo másico para igualar la temperatura de salida del primer flujo másico con la temperatura de salida del segundo flujo másico en el extremo caliente del intercambiador de calor principal. En una forma, los medios de ajuste de flujo másico comprenden unos primeros medios de ajuste de flujo másico para regular el primer flujo másico.

45 En una forma, los primeros medios de ajuste de flujo másico son un tapón insertado en uno o más tubos individuales en el interior del primer subconjunto de tubos individuales para reducir la velocidad del primer flujo másico con relación a la velocidad del segundo flujo másico. En una forma, los primeros medios de ajuste de flujo másico son una válvula que restringe el primer flujo másico a uno o más tubos individuales en el interior del primer subconjunto de tubos individuales.

50 En una forma, los medios de ajuste de flujo másico comprenden unos segundos medios de ajuste de flujo másico para regular el segundo flujo másico. En una forma, los segundos medios de ajuste de flujo másico son un tapón insertado en uno o más de los tubos individuales en el interior del segundo subconjunto de tubos individuales para reducir la velocidad del segundo flujo másico con relación a la velocidad del primer flujo másico. En una forma, los segundos medios de ajuste de flujo másico son una válvula que restringe el segundo flujo másico a uno o más de los tubos individuales en el interior del segundo subconjunto de tubos individuales.

Descripción de los dibujos

Con el fin de facilitar una comprensión más detallada de la naturaleza de la invención, las realizaciones de la presente invención se describirán a continuación detalladamente, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

5 La Figura 1 muestra esquemáticamente la distribución de flujos a los subconjuntos de tubos individuales de un intercambiador de calor principal enrollado en espiral según una realización de la presente invención; y,

La Figura 2 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo de una realización de una planta para la licuefacción de gas natural.

Descripción de las realizaciones de la invención

10 A continuación, se describen realizaciones particulares del proceso y del aparato de la presente invención, con referencia particular a una planta para la licuefacción de un gas de alimentación gaseoso, rico en metano, en forma de gas natural en un intercambiador de calor principal para producir gas natural licuado, solo a modo de ejemplo. La presente invención es aplicable igualmente a un intercambiador de calor principal usado para otras aplicaciones, tales como la producción de etileno u otras plantas para el procesamiento térmico de al menos dos corrientes en el lado de los tubos. La terminología usada en la presente memoria tiene el propósito de describir solo realizaciones particulares, y no pretende limitar el alcance de la presente invención. A menos que se defina lo contrario, todos los términos técnicos y científicos usados en la presente memoria tienen los mismos significados que los entendidos comúnmente por una persona con conocimientos ordinarios en la materia a la que pertenece la presente invención. En los dibujos, debería entenderse que los números de referencia similares hacen referencia a partes similares.

20 Usando un intercambiador de calor principal enrollado en espiral típico de la técnica anterior, los tubos individuales que transportan diferentes corrientes en el lado de los tubos se distribuyen de la manera más uniforme posible a través de múltiples capas del haz de tubos, con el número de tubos asignados a cualquier tipo determinado de corriente en el lado de los tubos asignados de manera sustancialmente proporcional a sus relaciones de flujo. Tal como se ha indicado anteriormente, la eficiencia del intercambiador de calor principal depende de que la transferencia de calor entre el lado de la carcasa y el lado de los tubos en cada una de estas capas múltiples esté lo más equilibrada posible, tanto radialmente a través del haz como axialmente a lo largo de la longitud del haz. Además, el haz de tubos se enrolla en múltiples capas de manera que cada corriente en el lado de los tubos sea introducida al haz de tubos a través de una o más boquillas dispuestas para distribuir el flujo másico de cualquier tipo determinado de corriente en el lado de los tubos de la manera más uniforme posible a cada capa a través de cualquier sección transversal radial determinada del haz de tubos. De manera análoga, el flujo másico de refrigerante ligero que entra al lado de la carcasa en el extremo frío del haz de tubos fríos en el intercambiador de calor principal se distribuye a través del lado de la carcasa usando un primer distribuidor (no mostrado), y el flujo másico del refrigerante pesado que entra al lado de la carcasa en el extremo frío del haz de tubos calientes se distribuye a través del lado de la carcasa usando un segundo distribuidor (no mostrado). Esta disposición de la técnica anterior se recomienda para su uso para mantener un equilibrio térmico uniforme en el intercambiador de calor principal, en todo momento.

35 La presente invención se basa en parte en la constatación de que es difícil corregir cualquier desequilibrio en la temperatura, composición o distribución de velocidad de flujo másico en el lado de la carcasa del intercambiador de calor principal. Aunque cualquier fracción de fase de vapor presente en cada una de las corrientes en el lado de la carcasa es capaz de mezclarse bien, las fracciones de fase líquida presentes en el lado de la carcasa no se mezclan bien. Esto puede resultar en un desequilibrio de temperatura a través del haz de tubos que no puede corregirse realizando ajustes en el lado de la carcasa. En cambio, los solicitantes han descubierto que puede conseguirse una mejora en la eficiencia ajustando el flujo másico de al menos una de las corrientes en el lado de los tubos a subconjuntos de tubos individuales determinados. Con referencia a las Figuras 1 y 2, se describe un proceso o planta (10) para la licuefacción de una primera corriente en el lado de los tubos en un intercambiador (12) de calor principal, teniendo el intercambiador (12) de calor principal una pared (14) que define un lado (16) de carcasa en cuyo interior hay dispuesto un haz (18) de tubos enrollados en bobina que tiene un extremo (20) caliente y un extremo (22) frío, en el que el haz (18) de tubos comprende al menos un primer subconjunto (24) de tubos individuales y un segundo subconjunto (26) de tubos individuales. Tanto el primer subconjunto como el segundo subconjunto de tubos individuales se distribuyen de manera uniforme a través del radio del haz de tubos. Un primer flujo (28) másico de una corriente en el lado de los tubos en forma gaseosa se suministra al extremo (20) caliente del primer subconjunto (24) de tubos individuales con un segundo flujo (30) másico de la misma corriente en el lado de los tubos en forma gaseosa que se suministra al extremo (20) caliente del segundo subconjunto (26) de tubos individuales. Se introduce una corriente (31) de refrigerante simple o mixta en el extremo (22) frío del intercambiador de calor principal y se evapora en el lado (16) de carcasa para proporcionar enfriamiento a los flujos (28 y 30, respectivamente) másico primero y segundo de la corriente en el lado de los tubos. La temperatura de salida del primer flujo (28) másico de la corriente en el lado de los tubos eliminada como un líquido desde el extremo (22) frío del primer subconjunto (24) de tubos individuales se mide usando un primer sensor (32) de temperatura que genera una primera señal (41). La temperatura de salida del segundo flujo (30) másico de la corriente en el lado de los tubos eliminada como un líquido desde el

extremo frío del segundo subconjunto (26) de tubos individuales se mide usando un segundo sensor (34) de temperatura que genera una segunda señal (43). La primera señal (41) es comparada con la segunda señal (43) por un controlador (40) que se comunica con unos medios (45) de ajuste de flujo másico para ajustar uno o ambos de entre el primer flujo (28) másico y el segundo flujo (30) másico con el fin de igualar la temperatura de salida del primer flujo másico con la temperatura de salida del segundo flujo másico. Para un control máximo, los medios (45) de ajuste de flujo másico comprenden unos primeros medios (47) de ajuste de flujo másico para regular el primer flujo (28) másico y unos segundos medios (49) de ajuste de flujo másico para regular el segundo flujo (30) másico.

Aunque, idealmente, la temperatura de salida del primer flujo (28) másico sería en última instancia igual a la temperatura de salida del segundo flujo (30) másico para una eficiencia máxima, el término "igualar" se usa a lo largo de la presente memoria descriptiva y las reivindicaciones adjuntas para hacer referencia a un ajuste incremental de al menos uno de los flujos másicos primero y segundo para conseguir el resultado según el cual la temperatura de salida del primer flujo másico se acerca más a la temperatura de salida del segundo flujo másico.

Cuando el proceso y el aparato de la presente invención se usan para la licuefacción de una alimentación gaseosa, rica en metano, para obtener un gas natural licuado, el flujo másico de la corriente en el lado de los tubos que se ajusta es la primera corriente (62) en el lado de los tubos. Además, pueden ajustarse la segunda corriente (64) en el lado de los tubos o la tercera corriente (66) en el lado de los tubos. La selección de la al menos una corriente en el lado de los tubos a ser sometida a un ajuste del flujo másico para efectuar el reequilibrado del perfil térmico en el intercambiador de calor principal depende de una serie de factores relevantes, predominantemente el tamaño de la diferencia de temperatura medida en el extremo frío para cada subconjunto de tubos individuales. Cabe señalar que, cuando el intercambiador de calor principal está siendo usado para procesar térmicamente más de un tipo diferente de corriente en el lado de los tubos (por ejemplo, una corriente de gas natural como la primera corriente en el lado de los tubos y un refrigerante como la segunda corriente en el lado de los tubos), entonces es posible que la temperatura de salida de una primera corriente en el lado de los tubos pueda ser ligeramente diferente de la temperatura de salida de una segunda corriente en el lado de los tubos. Una característica clave de la presente invención es que el flujo másico de cada tipo diferente de corriente en el lado de los tubos se ajusta en un subconjunto de tubos individuales para garantizar que la temperatura de salida para cada tipo diferente de corriente en el lado de los tubos sea la misma para cada flujo másico de dicha corriente en el lado de los tubos a través del haz de tubos.

A continuación, se hace referencia a la Figura 2 que ilustra esquemáticamente una planta (10) para la licuefacción de un gas de alimentación gaseoso, rico en metano, en forma de gas natural en un intercambiador (12) de calor principal. En esta realización, la pared (14) del intercambiador (12) de calor principal define un lado (16) de carcasa en cuyo interior hay dispuestos dos haces de tubos, que son un haz (50) de tubos calientes que tiene un extremo (52) caliente y un extremo (54) frío y un haz (56) de tubos fríos que tiene un extremo (58) caliente y un extremo (60) frío. El haz (50) de tubos calientes está dispuesto hacia el extremo (20) caliente del intercambiador (12) de calor principal y el haz (56) de tubos fríos está dispuesto hacia el extremo (22) frío del intercambiador (12) de calor principal. En la realización ilustrada en la Figura 2, el haz de tubos está dispuesto para recibir una primera corriente (62) en el lado de los tubos, una segunda corriente (64) en el lado de los tubos y una tercera corriente (66) en el lado de los tubos, tal como se describe más detalladamente a continuación. Sin embargo, la presente invención se aplica igualmente al intercambiador de calor principal que funciona con solo una o dos corrientes en el lado de los tubos siempre que solo un primer flujo másico de cualquier corriente en el lado de los tubos determinada sea dirigido para fluir a través de un primer subconjunto de tubos individuales y un segundo flujo másico de dicha corriente en el lado de los tubos sea dirigida para fluir a través de un segundo subconjunto de tubos individuales, con cada uno de los subconjuntos primero y segundo de tubos individuales distribuido de manera radialmente uniforme a través del haz de tubos enrollado en bobina.

En la realización ilustrada en la Figura 2, la primera corriente (62) en el lado de los tubos entra al haz (50) de tubos calientes a alta presión como una alimentación gaseosa, rica en metano, que ha sido licuada y parcialmente subenfriada para cuando pasa desde el extremo (54) frío del haz (50) de tubos calientes al extremo (58) caliente del haz (56) de tubos fríos. La primera corriente (62) en el lado de los tubos entra al extremo (58) caliente del haz (56) de tubos fríos como un líquido parcialmente subenfriado y sale del extremo (60) frío del haz (56) de tubos fríos como otro líquido subenfriado. A medida que pasa a través del haz (56) de tubos fríos, la primera corriente (62) en el lado de los tubos intercambia calor con una corriente (68) de refrigerante ligero predominantemente líquido que se evapora progresivamente en el lado (16) de carcasa del haz (56) de tubos fríos. La primera corriente (70) en el lado de los tubos, licuada, subenfriada, resultante, se elimina desde el extremo (22) frío del intercambiador (12) de calor principal antes de ser dirigida al almacenamiento (72).

Una corriente (74) de refrigerante mixto evaporado eliminada desde el lado (16) de carcasa en el extremo (20) caliente del intercambiador (12) de calor principal se alimenta a los compresores (76 y 78) de refrigerante primero y segundo en los que la corriente (74) de refrigerante evaporado se comprime para formar una corriente (80) de refrigerante a alta presión. A continuación, la corriente (80) de refrigerante a alta presión es dirigida a uno o más intercambiadores (82) de calor en los que se enfría para producir una corriente (84) de refrigerante mixta parcialmente condensada que, a

continuación, es dirigida en un separador (86) para separar una fracción de refrigerante pesado en forma líquida (88) y una fracción de refrigerante ligero en forma gaseosa (90). La fracción (88) de refrigerante pesado se convierte en la segunda corriente (64) en el lado de los tubos que entra en el extremo (52) caliente del haz (50) de tubos calientes como un líquido y sale en el extremo (54) frío del haz (56) de tubos calientes como una corriente (92) de refrigerante pesado subenfriado. De esta manera, la segunda corriente en el lado de los tubos de refrigerante pesado permanece líquida en todo momento a medida que pasa a través del haz de tubos calientes del intercambiador de calor principal.

La corriente (92) de refrigerante pesado subenfriado eliminada en el extremo (54) frío del haz (50) de tubos calientes se expande a través de un primer dispositivo (94) de expansión, en forma de una válvula Joule-Thompson ("válvula J-T"), para formar una corriente (96) de refrigerante pesado a presión reducida que, a continuación, es introducida en el lado (16) de carcasa del intercambiador (12) de calor principal en una ubicación intermedia entre el extremo (54) frío del haz (50) de tubos calientes y el extremo (58) caliente del haz (56) de tubos fríos. De esta manera, la corriente (96) de refrigerante pesado a presión reducida es una de las corrientes (31) de refrigerante que se permite evaporar en el lado (16) de carcasa, enfriando de esta manera los fluidos en las corrientes (62, 64 y 66, respectivamente) primera, segunda y tercera en el lado de los tubos a medida que pasan a través del haz (50) de tubos calientes.

Parte de la fracción (90) de refrigerante ligero desde el separador (86) se convierte en la tercera corriente (66) en el lado de los tubos que se introduce al extremo (52) caliente del haz (50) de tubos calientes como un gas y sale en el extremo (60) frío del haz (56) de tubos fríos como una corriente (100) de refrigerante ligero líquido subenfriado. Más específicamente, la tercera corriente (66) en el lado de los tubos se enfría desde un gas a un líquido y se subenfía parcialmente a medida que pasa a través del haz (50) de tubos calientes y se enfría adicionalmente a un líquido subenfriado a medida que pasa a través del haz (56) frío. La corriente (100) de refrigerante ligero subenfriado eliminada desde el extremo (22) frío del intercambiador (12) de calor principal se expande a través de un segundo dispositivo (102) de expansión, por ejemplo, una turbina hidráulica, para causar una reducción de la presión y producir una corriente (104) de refrigerante ligero a presión reducida. De esta manera, la corriente (104) de refrigerante ligero a presión reducida es otra de las corrientes (31) de refrigerante introducidas al lado (16) de carcasa del intercambiador (12) de calor principal. En este caso, la corriente (104) de refrigerante ligero a presión reducida comienza a evaporarse en el lado (16) de carcasa para proporcionar enfriamiento al haz (56) de tubos fríos, enfriando de esta manera los fluidos en las corrientes (62 y 66, respectivamente) primera y tercera en el lado de los tubos a medida que se desplazan a través del haz (56) de tubos fríos, y proporcionando también enfriamiento a los fluidos en las corrientes (62, 64 y 66, respectivamente) primera, segunda y tercera en el lado de los tubos a medida que se desplazan a través del haz (50) de tubos calientes.

A modo de ejemplo, la temperatura de salida del primer flujo (28) másico de la primera corriente (62) en el lado de los tubos se mide para un primer subconjunto (24) de tubos individuales en el extremo (60) frío del haz (56) de tubos fríos y se compara con la temperatura de salida del segundo flujo (30) másico de la primera corriente (62) en el lado de los tubos para un segundo subconjunto (26) de tubos individuales en el extremo (60) frío del haz (56) de tubos fríos usando el controlador (40). Si la temperatura de salida del primer flujo (28) másico es mayor que la temperatura de salida del segundo flujo (30) másico, entonces el primer flujo (28) másico se ajusta reduciéndolo con relación al segundo flujo (30) másico para igualar la temperatura de salida del primer flujo másico con la temperatura de salida del segundo flujo másico. Este ajuste de reducción se consigue usando los primeros medios (45) de ajuste de flujo másico para reducir o restringir el primer flujo másico de la primera corriente en el lado de los tubos al primer subconjunto (24) de tubos individuales. Como consecuencia, el segundo flujo (30) másico de la primera corriente en el lado de los tubos al segundo subconjunto (26) de tubos individuales aumenta efectivamente ya que la velocidad de flujo másico de la primera corriente en el lado de los tubos a través del haz de tubos no cambia (debido a que el flujo másico total al extremo caliente del intercambiador de calor principal se controla aguas arriba o aguas abajo del intercambiador de calor principal).

Además, la temperatura de salida de un primer flujo (28) másico de la segunda corriente (64) en el lado de los tubos puede medirse para un primer subconjunto (24) de tubos individuales en el extremo (54) frío del haz (50) de tubos calientes y se compara con la temperatura de salida de un segundo flujo (30) másico de la segunda corriente (64) en el lado de los tubos para un segundo subconjunto (26) de tubos individuales en el extremo (54) frío del haz (50) de tubos calientes. Si la temperatura de salida del primer flujo (28) másico es menor que la temperatura de salida del segundo flujo (30) másico, entonces el primer flujo (28) másico se ajusta aumentándolo con relación al segundo flujo (30) másico para igualar temperatura de salida del primer flujo másico con la temperatura de salida del segundo flujo másico. De esta manera, el flujo másico de la segunda corriente en el lado de los tubos a través del haz de tubos calientes se reequilibra hasta que la temperatura de salida del primer flujo (28) másico se acerca más a la temperatura de salida del segundo flujo (30) másico. El primer flujo (28) másico se ajusta para aumentarlo usando los segundos medios (47) de regulación de flujo másico para reducir o restringir el segundo flujo (30) másico ya que la velocidad de flujo másico global de la segunda corriente en el lado de los tubos a través del haz (56) de tubos calientes no cambia.

La presente invención puede aplicarse para reequilibrar una, dos o las tres de entre las corrientes primera, segunda y tercera en el lado de los tubos en el intercambiador de calor principal de un proceso de licuefacción. El ajuste de los

flujos de masa a un subconjunto de tubos individuales usando uno o ambos de entre los medios (45 y 47, respectivamente) de ajuste de flujo másico primero y segundo puede tener lugar en cualquiera de entre el extremo caliente o el extremo frío de un haz de tubos. Los medios de ajuste primero y segundo pueden adoptar la forma de una válvula.

- 5 En una realización de la presente invención, la restricción del flujo másico de una corriente en el lado de los tubos a un subconjunto determinado de tubos individuales se consigue reduciendo efectivamente el número de tubos individuales en dicho subconjunto conectando uno o más tubos individuales en dicho subconjunto. A modo de ejemplo, los primeros medios (45) de ajuste de flujo másico pueden adoptar la forma de unos medios de restricción de flujo en la forma de un tapón (51) insertado en uno o más tubos individuales en el interior del primer subconjunto (24) de tubos individuales para reducir la velocidad del primer flujo (28) másico con relación a la velocidad del segundo flujo (30) másico. De manera análoga, los segundos medios (47) de ajuste de flujo másico pueden adoptar la forma de un tapón insertado en uno o más de los tubos individuales en el interior del segundo subconjunto (26) de tubos individuales para reducir la velocidad del segundo flujo (30) másico con relación a la velocidad del primer flujo (28) másico. La acción de tapar tubos individuales es análoga a retirarlo del haz.
- 10
- 15 La restricción del flujo másico de una corriente en el lado de los tubos a un subconjunto determinado de tubos individuales puede conseguirse reduciendo el número de tubos individuales en dicho subconjunto retirando físicamente uno o más tubos individuales en dicho subconjunto.

En otra realización, se usa uno o ambos medios (45 y 47, respectivamente) de ajuste de flujo másico primero y segundo para restringir parcialmente el flujo másico de una corriente en el lado de los tubos a través de un subconjunto de tubos individuales, tubo por tubo. A modo de ejemplo, los primeros medios (45) de ajuste de flujo másico pueden adoptar la forma de una válvula que restringe el primer flujo (28) másico a uno o más tubos individuales en el interior del primer subconjunto (24) de tubos individuales. De manera análoga, los segundos medios (47) de ajuste de flujo másico pueden adoptar la forma de una válvula que restringe el segundo flujo (30) másico a uno o más de los tubos individuales en el interior del segundo subconjunto (26) de tubos individuales. La restricción del flujo másico de una corriente en el lado de los tubos a un subconjunto determinado de tubos individuales puede conseguirse reduciendo efectivamente el número de tubos individuales en dicho subconjunto retirando uno o más tubos individuales en dicho subconjunto.

20

25

Se considera rutinaria para una persona con conocimientos en la técnica la determinación del número de tubos individuales en el interior de un subconjunto determinado que deberían ser sometidos a un flujo restringido u obstruido para compensar la diferencia en las temperaturas de salida medidas para diferentes subconjuntos de tubos individuales. El proceso de selección puede ser asistido usando técnicas de modelado bien conocidas en la técnica.

30

En el sumario de la invención, en la descripción y en las reivindicaciones siguientes, excepto cuando el contexto requiera lo contrario debido a un lenguaje expreso o una implicación necesaria, la palabra "comprender" o variaciones tales como "comprende" o "que comprende" se usa en un sentido inclusivo, es decir, para especificar la presencia de las características indicadas, pero no para excluir la presencia o adición de características adicionales en diversas realizaciones de la invención.

35

Ahora que se han descrito detalladamente las realizaciones de la invención, será evidente para las personas con conocimientos en la técnica relevante que pueden realizarse numerosas variaciones y modificaciones sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

40

REIVINDICACIONES

1. Proceso para la licuefacción de una corriente (62) en el lado de los tubos en un intercambiador (12) de calor principal que tiene un extremo (20) caliente y un extremo (22) frío, comprendiendo el intercambiador (12) de calor principal una pared (14) que define un lado (16) de la carcasa en cuyo interior está dispuesto un haz (18) de tubos enrollados en bobina, comprendiendo el proceso las etapas de:
- a) proporcionar un primer flujo (28) másico de la corriente (62) en el lado de los tubos en forma gaseosa al extremo (20) caliente de un primer subconjunto (24) de tubos individuales, estando dicho primer subconjunto (24) de tubos individuales uniformemente distribuidos radialmente a través del haz (18) de tubos;
 - b) proporcionar un segundo flujo (30) másico de la corriente (62) en el lado de los tubos en forma gaseosa al extremo (20) caliente de un segundo subconjunto (26) de tubos individuales, estando dicho segundo subconjunto (26) de tubos individuales uniformemente distribuido radialmente a través del haz (18) de tubos;
 - c) evaporar una corriente (31) de refrigerante en el lado (16) de carcasa para proporcionar enfriamiento al primer flujo (28) másico y al segundo flujo (30) másico de manera que la corriente (62) en el lado de los tubos se convierta en un líquido;
 - d) medir una temperatura de salida del primer flujo (28) másico eliminado como un líquido desde el extremo (22) frío del primer subconjunto (24) de tubos individuales;
 - e) medir una temperatura de salida del segundo flujo (30) másico eliminado como un líquido desde el extremo (22) frío del segundo subconjunto (26) de tubos individuales; y,
 - f) comparar la temperatura de salida del primer flujo (28) másico medida en la etapa d) con la temperatura de salida del segundo flujo (30) másico medida en la etapa e), en el que al menos uno de los flujos (28, 30) másicos primero y segundo se ajusta para igualar la temperatura de salida del primer flujo (28) másico con la temperatura de salida del segundo flujo (30) másico.
2. Proceso según la reivindicación 1, en el que la temperatura de salida del primer flujo (28) másico medida en la etapa d) es mayor que la temperatura del segundo flujo (30) másico medida en la etapa e) y el primer flujo (28) másico se reduce en comparación con el segundo flujo (30) másico, o en el que la temperatura de salida del primer flujo (28) másico medida en la etapa d) es menor que la temperatura del segundo flujo (30) másico medida en la etapa e) y el segundo flujo (30) másico se reduce con relación al primer flujo (28) másico.
3. Proceso según la reivindicación 1 o 2, en el que el al menos uno de los flujos (28, 30) másicos primero y segundo se ajusta para igualar la temperatura de salida del primer flujo (28) másico con la temperatura de salida del segundo flujo (30) másico mediante el ajuste de al menos uno de los flujos (28, 30) másicos primero y segundo en el extremo (22) frío o en el extremo caliente del intercambiador (12) de calor principal.
4. Proceso según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer flujo (28) másico se ajusta reduciendo el número de tubos individuales en el primer subconjunto (24) de tubos individuales, conectando o retirando uno o más tubos individuales en el primer subconjunto (24) de tubos individuales o restringiendo el primer flujo (28) másico suministrado al primer subconjunto (24) de tubos individuales.
5. Proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el segundo flujo (30) másico se ajusta reduciendo el número de tubos individuales en el segundo subconjunto (26) de tubos individuales, conectando o retirando uno o más tubos individuales en el segundo subconjunto (26) de tubos individuales, o restringiendo el primer flujo (28) másico suministrado al segundo subconjunto (26) de tubos individuales.
6. Proceso según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el haz de tubos comprende un haz (50) de tubos calientes dispuesto hacia el extremo (20) caliente del haz (18) de tubos, y un haz (56) de tubos fríos dispuesto hacia el extremo (22) frío del haz de tubos, teniendo cada uno de entre el haz (50) de tubos calientes y el haz (56) de tubos fríos un extremo (52, 58) caliente y un extremo (54, 60) frío.
7. Proceso según la reivindicación 6, en el que
- la corriente en el lado de los tubos es una primera corriente (62) en el lado de los tubos que entra en el extremo (58) caliente del haz (56) de tubos fríos como un líquido y sale del extremo (60) frío del haz (56) de tubos fríos como un líquido subenfriado; y

- el líquido subenfriado se retira desde el extremo (60) frío del haz (56) de tubos fríos del intercambiador (12) de calor principal antes de ser dirigido al almacenamiento (72).

8. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, en el que la corriente en el lado de los tubos es una primera corriente (62) en el lado de los tubos que intercambia calor con una corriente (68) de refrigerante ligero predominantemente líquido que se evapora progresivamente en el lado (16) de carcasa del haz (56) de tubos fríos.

9. Proceso según la reivindicación 8, en el que

- el refrigerante (74) evaporado retirado desde el extremo caliente del lado (16) de carcasa del intercambiador (12) de calor principal se alimenta a los compresores (76, 78) de refrigerante primero y segundo en los que el refrigerante (74) evaporado se comprime para formar una corriente (80) de refrigerante a alta presión;

- la corriente (80) de refrigerante a alta presión es dirigida a un intercambiador (82) de calor en el que se enfría para producir una corriente (84) de refrigerante parcialmente condensada que, a continuación, es dirigida a un separador (86) para separar una fracción (88) de refrigerante pesado en forma líquida y una fracción (90) de refrigerante ligero en forma gaseosa;

- la fracción (88) de refrigerante pesado se convierte en una segunda corriente (64) en el lado de los tubos que se suministra en el extremo (52) caliente del haz (50) de tubos calientes como un líquido y sale en el extremo (54) frío del haz (50) de tubos calientes como una corriente (92) de refrigerante pesado subenfriado en forma líquida;

- la corriente (92) de refrigerante pesado subenfriado retirada en el extremo (54) frío del haz (50) de tubos calientes se expande a través de un primer dispositivo (94) de expansión para formar una corriente (96) de refrigerante pesado a presión reducida que, a continuación, se introduce al lado (16) de carcasa del intercambiador (12) de calor principal en una ubicación intermedia entre el extremo 54 frío del haz (50) de tubos calientes y el extremo (58) caliente del haz (56) de tubos fríos, y en el que dicha corriente (96) de refrigerante pesado a presión reducida se deja evaporar en el lado (16) de carcasa, enfriando de esta manera los fluidos en las corrientes (62, 64, 66) primera, segunda y tercera en el lado de los tubos a medida que pasan a través del haz (50) de tubos calientes;

- parte de la fracción (90) de refrigerante ligero desde el separador (86) se convierte en una tercera corriente 66 en el lado de los tubos que se introduce al extremo (52) caliente del haz (50) de tubos calientes como un gas y sale en el extremo frío del haz (56) de tubos fríos como un líquido (100) subenfriado;

- la tercera corriente (66) en el lado de los tubos se enfría desde un gas a un líquido a medida que pasa a través del haz (50) de tubos calientes y se enfría desde un líquido a un líquido subenfriado a medida que pasa a través del haz (56) frío;

- la corriente (100) de refrigerante ligero subenfriado retirada desde el extremo (22) frío del haz (56) de tubos fríos se expande a través de un segundo dispositivo (102) de expansión para causar una reducción de la presión y producir una corriente (104) de refrigerante ligero a presión reducida;

- la corriente (104) de refrigerante ligero a presión reducida se introduce en el lado (16) de carcasa del intercambiador (12) de calor principal en su extremo frío, y en el que dicha corriente (104) de refrigerante ligero a presión reducida se deja evaporar en el lado (16) de carcasa, enfriando de esta manera los fluidos en las corrientes (62,66) primera y tercera en el lado de los tubos a medida que se desplazan a través del haz (56) de tubos fríos, proporcionando además enfriamiento a los fluidos en las corrientes (62,64,66) primera, segunda y tercera en el lado de los tubos a medida que se desplazan a través del haz (50) de tubos calientes.

10. Intercambiador (12) de calor principal para la licuefacción de una corriente en el lado de los tubos, teniendo el intercambiador (12) de calor principal un extremo (20) caliente y un extremo (22) frío durante el uso, comprendiendo el intercambiador (12) de calor principal:

una pared (14) que define un lado (16) de carcasa en cuyo interior está dispuesto un haz (18) de tubos enrollados en bobina;

unos medios para proporcionar un primer flujo (28) másico de la corriente (62) en el lado de los tubos en forma gaseosa al extremo (20) caliente de un primer subconjunto (24) de tubos individuales, estando dicho primer subconjunto (24) de tubos individuales distribuido de manera radialmente uniforme a través del haz (18) de tubos;

unos medios para proporcionar un segundo flujo (30) másico de la corriente en el lado de los tubos en forma gaseosa al extremo (20) caliente de un segundo subconjunto (26) de tubos individuales, estando dicho segundo subconjunto (26) de tubos individuales distribuido de manera radialmente uniforme a través del haz (18) de tubos;

5 un distribuidor para proporcionar una corriente (31) de refrigerante al lado (16) de carcasa para proporcionar enfriamiento al primer flujo (28) másico y al segundo flujo (30) másico mediante evaporación de la corriente (31) de refrigerante de manera que la corriente (62) en el lado de los tubos se convierta en un líquido;

10 un primer sensor (32) de temperatura para generar una primera señal 41 indicativa de una temperatura de salida del primer flujo (28) másico retirado como un líquido desde el extremo (22) frío del primer subconjunto (24) de tubos individuales;

un segundo sensor (34) de temperatura para generar una segunda señal 43 indicativa de una temperatura de salida del segundo flujo (30) másico retirado como un líquido desde el extremo (22) frío del segundo subconjunto (26) de tubos individuales;

15 un controlador (40) en comunicación con unos medios (45) de ajuste de flujo másico para ajustar uno o ambos de entre el primer flujo (28) másico y el segundo flujo (30) másico para igualar la temperatura de salida del primer flujo (28) másico con la temperatura de salida del segundo flujo (30) másico.

20 11. Intercambiador (12) de calor principal según la reivindicación 10, en el que el controlador (40) se comunica con los medios (45) de ajuste de flujo másico para reducir el primer flujo (28) másico en comparación con el segundo flujo (30) másico cuando la primera señal (41) es mayor que la segunda señal (42), o en el que el controlador (40) se comunica con los medios (45) de ajuste de flujo másico para reducir el segundo flujo (30) másico con relación al primer flujo (28) másico cuando la primera señal (41) es menor que la segunda señal (42).

25 12. Intercambiador (12) de calor principal según la reivindicación 10 u 11, en el que los medios (45) de ajuste del flujo másico están configurados para ajustar uno o ambos de entre el primer flujo (28) másico y el segundo flujo (30) másico para igualar la temperatura de salida del primer flujo másico con la temperatura de salida del segundo flujo (30) másico en el extremo (22) frío del intercambiador (12) de calor principal o en el extremo (20) caliente del intercambiador (12) de calor principal.

13. Intercambiador (12) de calor principal según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que los medios (45) de ajuste de flujo másico comprenden unos primeros medios (47) de ajuste de flujo másico para regular el primer flujo (28) másico.

30 14. Intercambiador (12) de calor principal según la reivindicación 13, en el que los primeros medios (47) de ajuste del flujo másico es un tapón (51) insertado en uno o más tubos individuales en el interior del primer subconjunto (24) de tubos individuales para reducir la velocidad del primer flujo (28) másico con relación a la velocidad del segundo flujo (30) másico, o en el que los primeros medios (47) de ajuste de flujo másico son una válvula que restringe el primer flujo (28) másico a uno o más tubos individuales en el interior del primer subconjunto de tubos individuales.

15. Intercambiador (12) de calor principal según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que los medios (45) de ajuste de flujo másico comprenden unos segundos medios (47) de ajuste de flujo másico para regular el segundo flujo (30) másico.

40 16. Intercambiador (12) de calor principal según la reivindicación 15, en el que los segundos medios (47) de ajuste de flujo másico son un tapón (51) insertado en uno o más de los tubos individuales en el interior del segundo subconjunto (26) de tubos individuales para reducir la velocidad del segundo flujo (30) másico con relación a la velocidad del primer flujo (28) másico, o en el que los segundos medios (47) de ajuste de flujo másico son una válvula que restringe el segundo flujo (30) másico a uno o más de los tubos individuales en el interior del segundo subconjunto (26) de tubos individuales.

45 17. Proceso según la reivindicación 6, en el que la corriente en el lado de los tubos es una primera corriente (62) en el lado de los tubos que entra al extremo (52) caliente del haz (50) de tubos calientes como una alimentación gaseosa, rica en metano, que ha sido al menos parcialmente licuada para cuando pasa desde el extremo (52) caliente del haz (50) de tubos calientes al extremo (58) caliente del haz (56) de tubos fríos.

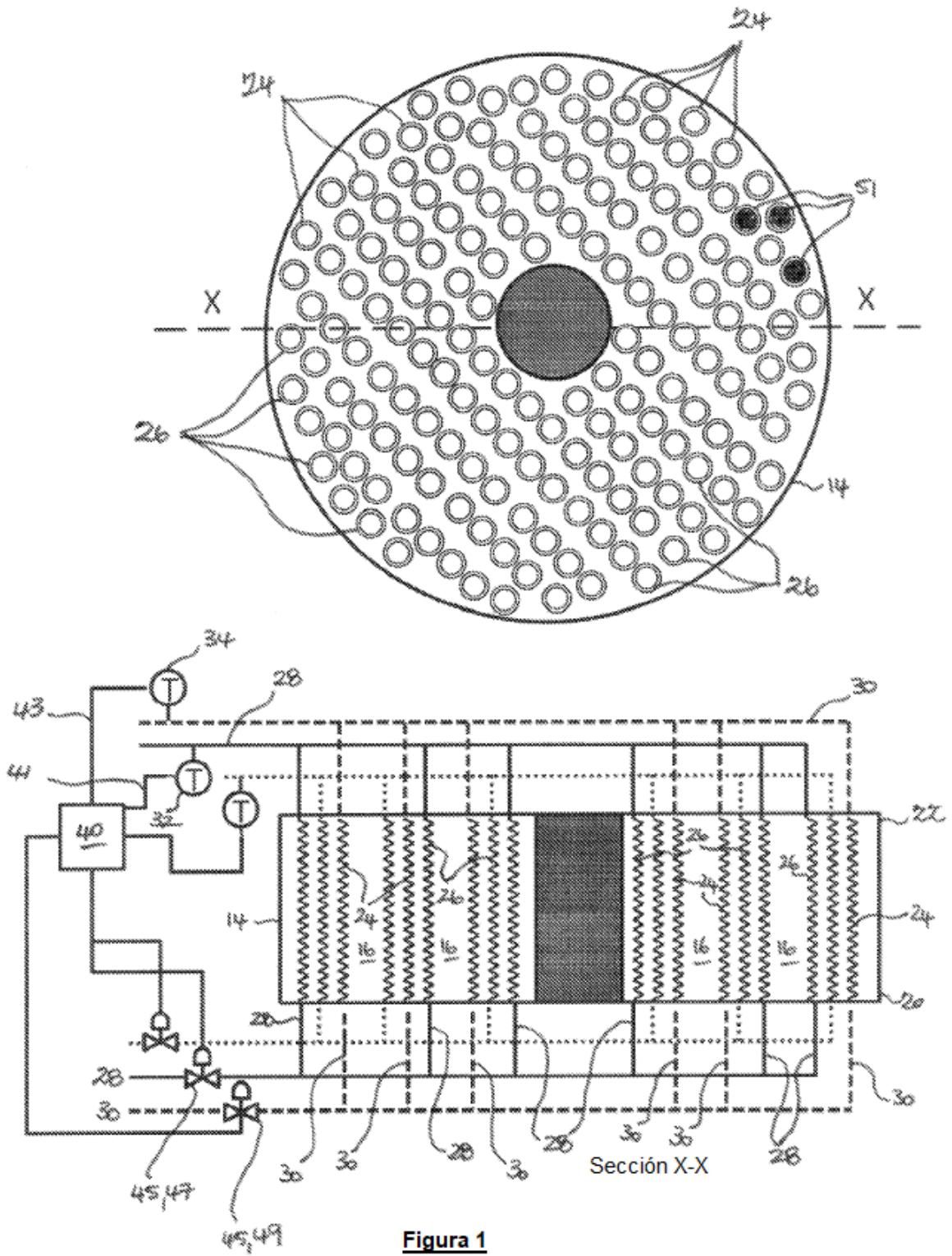


Figura 1

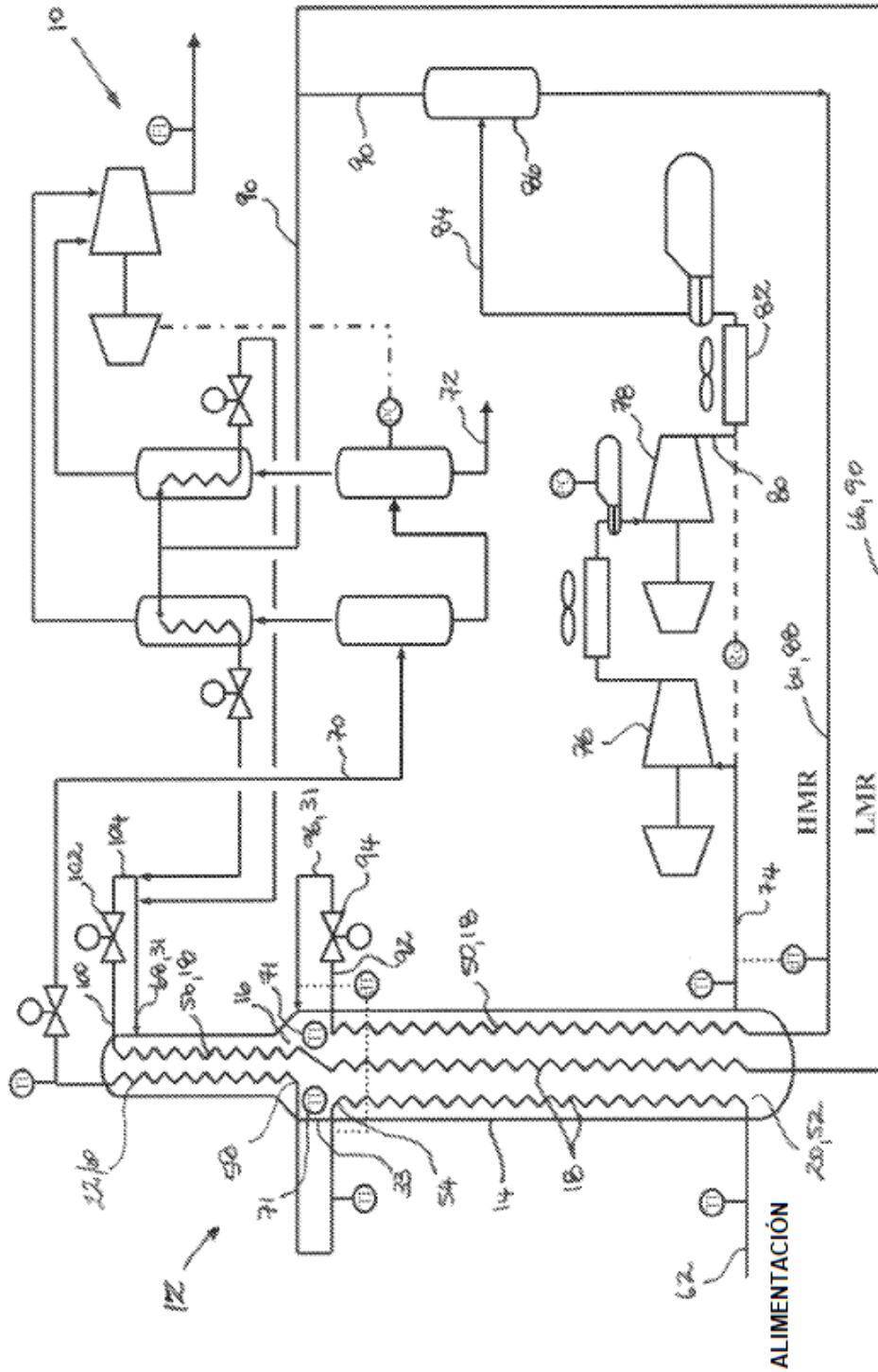


Figura 2