

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 738**

51 Int. Cl.:

F28D 7/10 (2006.01)
F25J 1/00 (2006.01)
F28D 7/16 (2006.01)
F25J 5/00 (2006.01)
F28F 9/00 (2006.01)
F28F 27/02 (2006.01)
F28D 7/00 (2006.01)
F28D 7/02 (2006.01)
F25J 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.03.2011 PCT/AU2011/000373**
87 Fecha y número de publicación internacional: **06.10.2011 WO11120096**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2011 E 11761838 (9)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2019 EP 2603760**

54 Título: **Un intercambiador de calor principal y un proceso para enfriar una corriente del lado de los tubos**

30 Prioridad:

31.03.2010 AU 2010901347

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.03.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HO, SIEW-MUNG PATRICIA;
HODGES, DEREK WILLIAM;
STEINBAUER, MANFRED;
KERBER, CHRISTIANE y
HAMMERDINGER, MARKUS**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 745 738 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

Un intercambiador de calor principal y un proceso para enfriar una corriente del lado de los tubos

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a un proceso para enfriar una corriente del lado de los tubos en un intercambiador de calor principal. La presente invención se refiere además a un intercambiador de calor principal para procesar térmicamente una corriente del lado de los tubos. La presente invención se refiere particular, aunque no exclusivamente, a un proceso y a un intercambiador de calor principal para licuar una alimentación gaseosa rica en metano para obtener un producto licuado conocido como "gas natural licuado" o "GNL".

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 Un proceso de licuefacción típico se describe en la patente de los EE.UU. Nº 6.272.882 en el que la alimentación gaseosa rica en metano se suministra a presión elevada a un primer lado de los tubos de un intercambiador de calor principal en su extremo caliente. La alimentación gaseosa, rica en metano, se enfría, licúa y sub-enfría contra la evaporación del refrigerante para obtener una corriente licuada. La corriente licuada es eliminada del intercambiador de calor principal en su extremo frío y se pasa al almacenar como producto licuado. El refrigerante evaporado se elimina del
15 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 a alta presión se condensa parcialmente y el refrigerante parcialmente condensado se separa en una fracción pesada de refrigerante líquido y una fracción ligera de refrigerante gaseoso. La fracción pesada de refrigerante se sub-enfría en un segundo lado de los tubos del intercambiador de calor principal para obtener una corriente de refrigerante pesado sub-enfriado. 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 ligera de refrigerante se enfría, licúa y sub-enfría en un tercer lado de los tubos del intercambiador de calor principal para obtener una corriente de refrigerante ligero sub-enfriado. Esta corriente ligera de refrigerante se introduce a presión reducida en el lado de la carcasa del intercambiador de calor principal en su extremo frío, y la corriente de refrigerante ligero se deja evaporar en el lado de la carcasa.

Es evidente a partir de la descripción proporcionada anteriormente que el lado de los tubos del intercambiador de calor principal es necesario para manejar tres corrientes, a saber: i) una alimentación gaseosa, rica en metano que entra en el extremo caliente del primer lado de los tubos como un gas a una presión elevada, se condensa a medida que se desplaza a través del primer lado de los tubos, y deja el extremo frío del primer lado de los tubos como una corriente licuada sub-enfriada; ii) una fracción pesada de refrigerante que entra en el extremo caliente del segundo lado de los tubos como líquido, se sub-enfría a medida que se desplaza a través del segundo lado de los tubos y deja el extremo frío del segundo lado de los tubos como una corriente de refrigerante pesado sub-enfriado; y, iii) al menos una parte de la fracción ligera de refrigerante que entra en el extremo caliente del tercer lado de los tubos como un vapor, se enfría, licúa y sub-enfría a medida que se desplaza a través del tercer lado de los tubos y deja el extremo frío del tercer lado de los tubos como una corriente de refrigerante ligero sub-enfriado.

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

Por lo tanto, para operar en el tipo de proceso de licuefacción descrito en la patente de los EE.UU. Nº 6.272.882, el intercambiador de calor principal debe ser capaz de manejar 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 dicho intercambiador. El intercambiador de calor principal también debe ser capaz de manejar corrientes que tengan un amplio rango de temperaturas y presiones. Por esta razón, el intercambiador de calor principal utilizado en las plantas de licuefacción de todo el mundo es un intercambiador de calor de "enrollado en hélice" o "enrollado en espiral".

En tales intercambiadores de calor enrollados en hélice, los tubos para cada una de las corrientes individuales se distribuyen uniformemente en múltiples capas que se enrollan alrededor de un tubo central o mandril para formar un "haz". Cada una de la pluralidad de capas de tubos puede comprender centenares de tubos de tamaño uniforme con una distribución uniforme de cada uno de los fluidos laterales del primer, segundo y tercer tubo 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 capas múltiples esté lo más equilibrada posible, tanto radialmente a través del haz como axialmente a lo largo de la longitud del haz.

A medida que los intercambiadores de calor enrollados en espiral se hacen más grandes para realizar mayores tareas, se hace cada vez más difícil distribuir los fluidos laterales de la carcasa de manera uniforme. Esto se debe en parte al

5 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 ya que los componentes ligeros hierven primero. Como consecuencia, la transferencia de calor entre el lado de la carcasa y cada uno de los lados del primer, segundo y tercer tubos puede resultar desigual a través de las capas dentro del haz. Esta distribución desigual de la temperatura en los fluidos del lado de la carcasa conduce a una desigualdad en la temperatura en porciones de cada uno de los fluidos del lado de los tubos en los extremos fríos del haz desde cada capa de tubos en el haz, y para el fluido del 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 se estrecha a lo largo de la mayor parte de la longitud del intercambiador de calor principal. Cuando el sistema está desequilibrado, el diferencial de temperatura próximo entre los lados de los tubos y el lado de la carcasa puede resultar "comprimido" en ubicaciones donde existe un diferencial de temperatura muy pequeño o inexistente. Tal compresión provoca una caída en la eficiencia del intercambiador de calor principal. También se experimenta una caída consecuente de la eficiencia 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 está fuera de equilibrio, el fluido que sale del extremo caliente del lado de la carcasa puede comprender una mezcla de dos fases de gas y líquido. Cualquier líquido presente representa una pérdida significativa de eficiencia y también debe eliminarse para evitar daños potenciales en el circuito de compresión del refrigerante de aguas abajo.

20 El documento US 4.313.491 A se refiere a un intercambiador de calor en el que los tubos están enrollados en espiral alrededor de un cilindro interno para formar varias series de bobinas. Los extremos superior e inferior de los tubos se extienden a través de láminas circulares de tubo que se colocan en un extremo superior e inferior del intercambiador de calor. Se hace pasar un primer líquido, por ejemplo, agua a calentar, a través del espacio en espiral entre las bobinas en una dirección hacia arriba, mientras que un segundo líquido caliente o templado, tal como agua, se hace pasar a través de los tubos en una dirección hacia abajo.

El documento US 6.189.605 B1 se dirige a un dispositivo de enfriamiento para gas de síntesis. En un recipiente se coloca un tubo central. Alrededor del tubo central, dos paquetes de tuberías discurren helicoidalmente alrededor entre un primer conducto anular y un segundo conducto anular. Dentro de las tuberías, un refrigerante tal como agua y vapor fluye en contracorriente al flujo de gas que se impulsa a través del recipiente alrededor del tubo central y de las tuberías.

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

RESUMEN DE LA INVENCION

35 Según un primer aspecto de la presente invención, se ha proporcionado un proceso para enfriar una corriente del lado de los tubos en un intercambiador de calor principal que tiene un extremo caliente y un extremo frío, teniendo el intercambiador de calor principal una pared que define un lado de la carcasa dentro de la cual un haz de tubos enrollado en hélice está dispuesto alrededor de un mandril central, comprendiendo el proceso las operaciones de:

a) suministrar un primer flujo másico de una corriente del lado de los tubos al extremo caliente de una primera zona de tubos individuales en el haz de tubos a través de una primera boquilla;

40 b) suministrar un segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos al extremo caliente de una segunda zona de tubos individuales en el haz de tubos a través de una segunda boquilla, estando la segunda zona desplazada desde la primera zona a lo largo de un radio que se extiende desde el mandril central hasta la pared del intercambiador de calor principal;

c) suministrar una corriente de refrigerante en el lado de la carcasa para enfriar los flujos másicos primero y segundo para formar una corriente de refrigerante evaporado;

45 d) eliminar la corriente de refrigerante evaporado desde el extremo caliente del intercambiador de calor principal; y,

e) ajustar el primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos con respecto al segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos para maximizar la temperatura de la corriente de refrigerante evaporado eliminada en la etapa d).

50 En una forma, la etapa e) comprende igualar la temperatura del primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos en una primera ubicación axial con respecto a la longitud del mandril con la temperatura del segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos en dicha primera ubicación axial ajustando el flujo másico suministrado a una o ambas boquillas primera y segunda.

En una forma, un primer sensor de temperatura genera una primera señal indicativa de la temperatura del primer flujo másico y un segundo sensor de temperatura genera una segunda señal indicativa de la temperatura del segundo flujo másico y la etapa e) comprende utilizar un controlador para ajustar el primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos en relación con el segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos para igualar la primera señal con la segunda señal. En una forma, la primera ubicación axial está en el extremo frío del intercambiador de calor principal o adyacente al mismo. En una forma, la primera zona es una zona interna del haz de tubos y la segunda zona es una zona externa del haz de tubos. En una forma, en la que el flujo másico a través de la primera boquilla se ajusta de manera controlable usando una primera válvula y el flujo másico a través de la segunda boquilla se ajusta de manera controlable usando una segunda válvula. En una forma, una o ambas válvulas primera y segunda son externas al intercambiador de calor principal. En una forma, una o ambas válvulas primera y segunda es una válvula de caída de baja presión abierta a prueba de fallos. En una forma, una o ambas válvulas primera y segunda están ubicadas en uno o ambos extremos caliente y frío de la corriente del lado de los tubos.

En una forma, la primera boquilla suministra el fluido del tubo a la primera zona a través de una primera lámina de tubo y la segunda boquilla suministra el fluido del lado de los tubos a la segunda zona a través de una segunda lámina de tubo. En una forma, el haz de tubos comprende un haz de tubos calientes dispuesto hacia el extremo caliente del intercambiador de calor principal, y un haz de tubos frío dispuesto hacia el extremo frío del intercambiador de calor principal, teniendo cada uno de los haces de tubos calientes y del haz de tubos fríos un extremo caliente y un extremo frío y la primera ubicación está en el extremo frío del haz de tubos calientes o adyacente al mismo. En una forma, la corriente del lado de los tubos es una primera corriente del lado de los tubos que entra en el extremo caliente del haz de tubos calientes como un líquido y sale del extremo frío del haz de tubos fríos como un líquido sub-enfriado.

En una forma, la primera corriente del lado de los tubos entra en el extremo caliente del haz de tubos calientes como una alimentación gaseosa rica en metano que es licuada en el momento que pasa del extremo caliente del haz de tubos calientes al extremo caliente del haz de tubos fríos. En una forma, la primera corriente del lado de los tubos entra en el extremo caliente del haz de tubos fríos como un líquido y sale del extremo frío del haz de tubos fríos como un líquido sub-enfriado. En una forma, en la que el líquido sub-enfriado es eliminado desde el extremo frío del haz de tubos fríos del intercambiador de calor principal antes de ser dirigido al almacenamiento. En una forma, la primera corriente del lado de tubo 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. En una forma, el refrigerante evaporado eliminado desde el extremo caliente del lado de la carcasa del intercambiador de calor principal se alimenta 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. En una forma, la corriente de refrigerante a alta presión se dirige a un intercambiador de calor en el que se enfría para producir una corriente de refrigerante parcialmente condensada que luego se dirige en un separador para separar una fracción de refrigerante pesada en forma líquida y una fracción de refrigerante ligera en forma gaseosa.

En una forma, la fracción pesada de refrigerante resulta una segunda corriente del lado de los tubos que se suministra en el extremo caliente del haz de tubos calientes como un líquido y sale en el extremo frío del haz de tubos calientes como una corriente de refrigerante pesado sub-enfriado en forma líquida. En una forma, la corriente de refrigerante pesado sub-enfriado eliminada en el extremo frío del haz de tubos calientes se expande a través de un primer dispositivo de expansión para formar una corriente de refrigerante pesado a presión reducida que luego se introduce 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 dicha corriente de refrigerante pesado a presión reducida se deja evaporar en el lado de la carcasa, enfriando así los fluidos en la primera, segunda y tercera corrientes del lado de los tubos a medida que pasan a través del paquete de tubos calientes. En una forma, parte de la fracción ligera de refrigerante del separador resulta una tercera corriente del 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 sub-enfriado. En una forma, la tercera corriente del lado de los tubos se enfría 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 sub-enfriado a medida que pasa a través del haz de tubos fríos.

En una forma, la corriente de refrigerante ligero sub-enfriado eliminada desde el extremo frío del haz de tubos fríos se expande a través de un segundo dispositivo de expansión para provocar una reducción de la presión y producir una corriente de refrigerante ligero a presión reducida. En una forma, 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 donde dicha corriente de refrigerante ligero a presión reducida se deja evaporar en el lado de la carcasa, enfriando así los fluidos en la primera y tercera corrientes laterales de tubo a medida que se desplazan a través del haz de tubos fríos, además de proporcionar enfriamiento a los fluidos en la primera, segunda y tercera corrientes laterales de tubo a medida que se desplazan a través del haz de tubos calientes.

Según un aspecto de la presente invención, se ha proporcionado un intercambiador de calor principal para licuar una corriente del lado de los tubos, teniendo el intercambiador de calor principal un extremo caliente y un extremo frío en uso, comprendiendo el intercambiador de calor principal:

una pared que define un lado de la carcasa dentro del cual está dispuesto un haz de tubos enrollados en hélice;

una primera boquilla para suministrar un primer flujo másico de una corriente del lado de los tubos al extremo caliente de una primera zona de tubos individuales en el haz de tubos a través de una primera boquilla;

5 una segunda boquilla para suministrar un segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos al extremo caliente de una segunda zona de tubos individuales en el haz de tubos a través de una segunda boquilla, siendo la segunda zona desplazada desde la primera zona a lo largo de un radio que se extiende desde el mandril central a la pared del intercambiador de calor principal;

un distribuidor para suministrar una corriente de refrigerante en el lado de la carcasa para enfriar los flujos másicos primero y segundo para formar una corriente de refrigerante evaporado;

10 medios para eliminar la corriente de refrigerante evaporado desde el extremo caliente del intercambiador de calor principal; y

un controlador para ajustar el primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos suministrado por la primera boquilla en relación con el segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos suministrado por la segunda boquilla para maximizar la temperatura de la corriente de refrigerante evaporado medida por un sensor de temperatura.

15 En una forma, el controlador ajusta el flujo másico suministrado a una o ambas boquillas primera y segunda para igualar la temperatura del primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos en una primera ubicación axial con respecto a la longitud del mandril con la temperatura del segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos en dicha primera ubicación axial. En una forma, un primer sensor de temperatura genera una primera señal indicativa de la temperatura del primer flujo másico y un segundo sensor de temperatura genera una segunda señal indicativa de la temperatura del segundo flujo másico y el controlador ajusta el primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos en relación con el
20 segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos para igualar la primera señal con la segunda señal. En una forma, la primera ubicación axial está en el extremo frío del intercambiador de calor principal, o adyacente al mismo. En una forma, la primera zona es una zona interna del haz de tubos y la segunda zona es una zona externa del haz de tubos. En una forma, el flujo másico a través de la primera boquilla se ajusta de manera controlable usando una primera válvula y el flujo másico a través de la segunda boquilla se ajusta de manera controlable usando una segunda válvula. En una forma, una o ambas válvulas primera y segunda son externas al intercambiador de calor principal. En una forma, una o ambas válvulas primera y segunda es una válvula de caída de baja presión abierta a prueba de fallos. En una forma, una o ambas válvulas primera y segunda se ubican en uno o ambos extremos caliente y frío de la corriente del lado de los tubos. En una forma, la primera boquilla suministra el fluido del tubo a la primera zona a través de una primera lámina de tubo y la segunda boquilla suministra el fluido del lado de los tubos a la segunda zona a través de una segunda lámina de tubo. En una forma, el haz de tubos comprende un haz de tubos calientes dispuesto hacia el extremo caliente del intercambiador de calor principal, y un haz de tubos frío dispuesto hacia el extremo frío del intercambiador de calor principal, teniendo cada uno del haz de tubos calientes y del haz de tubos fríos un extremo caliente y un extremo frío y la primera ubicación está en el extremo frío del haz de tubos calientes, o adyacente al mismo.

35 De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso para enfriar una corriente del lado de los tubos en un intercambiador de calor principal sustancialmente como se describe en este documento con referencia a las Figs. 2 y 3 y como se ilustra en ellas.

De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso de intercambiador de calor principal para licuar una corriente del lado de los tubos sustancialmente como se describe en este documento con referencia a las Figs. 2 y 3 y como se ilustra en ellas.

40 DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para facilitar una comprensión más detallada de la naturaleza de la invención, se describirán ahora en detalle realizaciones de la presente invención, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La fig. 1 muestra esquemáticamente la distribución de flujos a cada capa de un intercambiador de calor principal enrollado en espiral de la técnica anterior;

45 La fig. 2 muestra esquemáticamente un esquema de flujo de una planta para licuar gas natural; y,

La fig. 3 muestra esquemáticamente la distribución de flujos a cada capa del intercambiador de calor principal de una realización de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES DE LA INVENCION

50 A continuación se describen realizaciones particulares del proceso y aparato de la presente invención, con referencia particular a una planta para licuar un gas de alimentación gaseoso, rico en metano en forma de gas natural en un intercambiador de calor principal a gas natural licuado producido, a modo de ejemplo solamente. La presente invención es igualmente aplicable a un intercambiador de calor principal utilizado para otras aplicaciones, tales como la producción de etileno u otro proceso que requiera dos corrientes laterales de tubo en lugar de las tres corrientes laterales de tubo

5 descritas en detalle a continuación. La terminología utilizada en el presente documento tiene el propósito de describir realizaciones particulares solamente, y no pretende limitar el alcance de la presente invención. A menos que se defina lo contrario, todos los términos técnicos y científicos utilizados en este documento tienen los mismos significados que los entendidos comúnmente por un experto en la técnica a la que pertenece esta invención. En los dibujos, debe entenderse que los números de referencia similares se refieren a partes similares.

10 Utilizando un intercambiador de calor principal enrollado en espiral típico de la técnica anterior como el ilustrado esquemáticamente en la FIG. 1, el haz de tubos se enrolla en espiral por lo que cada corriente del lado de los tubos es introducida en el haz de tubos a través de una o más boquillas de control de flujo dispuestas para distribuir uniformemente el flujo másico de cualquier tipo dado de corriente del lado de los tubos a una pluralidad de tubos individuales dispuestos al azar aún uniformemente en todo el radio del haz de tubos cuando se ve en sección transversal. Más específicamente, cada boquilla hace que el flujo másico de cada corriente del lado de los tubos se distribuya uniformemente entre cada capa de tubos individuales dentro del haz de tubos. Cuando el haz de tubos se enrolla para tener una pluralidad de capas de tubos individuales, el flujo másico de cualquier corriente del lado de los tubos dado desde cualquier boquilla se divide uniformemente a través de cada una de la pluralidad de capas. El resultado neto es que cada boquilla distribuye una cantidad uniforme de su flujo másico a través de cualquier sección transversal tomada a través del haz de tubos, axial y radialmente. De manera análoga, el flujo másico de refrigerante ligero que entra en el lado de la carcasa en el extremo frío de un haz de tubos fríos en el intercambiador de calor principal se distribuye a través del lado de la carcasa utilizando un primer distribuidor (no mostrado), y el flujo másico del refrigerante pesado que entra en el lado de la carcasa en el extremo frío de un haz de tubos calientes se distribuye a través del lado de la carcasa utilizando un segundo distribuidor (no mostrado). Se recomienda utilizar esta disposición de la técnica anterior para mantener en todo momento un equilibrio de calor tan uniforme como sea posible a través del intercambiador de calor principal.

15 La presente invención se basa en parte en la constatación de que es difícil solucionar cualquier desequilibrio en la temperatura, composición o distribución del caudal másico de las corrientes de refrigerante ligero y pesado a presión reducida en el lado de la carcasa del intercambiador de calor principal. Mientras que la fase de vapor presente es capaz de mezclarse en la dirección radial en algún grado, la fase líquida presente en el lado de la carcasa no tiene una magnitud significativa con el resultado de que no se puede corregir cualquier desequilibrio en la temperatura a través del haz de tubos haciendo ajustes en el lado de la carcasa. En cambio, los solicitantes se han dado cuenta de que se puede lograr una mejora en la eficiencia ajustando el flujo másico de al menos una de las corrientes laterales de tubo para compensar cualquier desequilibrio en el lado de la carcasa. La presente invención se basa además en parte en la comprensión de que este método tradicional de construcción de un intercambiador de calor enrollado en espiral no proporciona ningún mecanismo para abordar los problemas que surgen en el caso de un desequilibrio de enfriamiento en el lado de la carcasa del intercambiador de calor principal.

20 Utilizando el proceso de la presente invención, el haz de tubos se enrolla de tal manera que cualquier boquilla suministra una corriente del lado de los tubos en solo una zona del haz de tubos, comprendiendo cada zona una pluralidad de capas de tubos individuales, de modo que el flujo másico de esa corriente del lado de los tubos a cada zona dentro del haz de tubos se puede controlar por separado. Al proporcionar este nivel de control, el flujo másico de cada corriente del lado de los tubos a cada zona del haz se puede ajustar para compensar una distribución desigual de enfriamiento en el lado de la carcasa, donde y cuando esto ocurra. Ventajosamente, la masa ajustable que fluye a través de cada boquilla separada (y, por lo tanto, de cada zona separada) también se puede utilizar para corregir problemas de desequilibrio de transferencia de calor que podrían surgir debido a cambios en la composición del gas de alimentación a lo largo del tiempo, o de un cambio en la alineación vertical de la tubería principal intercambiador de calor, como puede ocurrir en un recipiente. En otras palabras, la temperatura de la corriente de refrigerante evaporado eliminado del lado de la carcasa en el extremo caliente del intercambiador de calor principal se maximiza ajustando por separado el flujo másico de la corriente del lado de los tubos en cada zona del haz de tubos como se describe con mayor detalle más adelante. Otra forma de lograr la máxima eficiencia es garantizar que la temperatura de salida de las corrientes laterales de tubo para cada zona sea tan uniforme como sea posible. El objetivo general es hacer coincidir el trabajo del lado de los tubos con el trabajo del lado de la carcasa, incluso cuando el trabajo del lado de la carcasa está desequilibrado.

25 Las figs. 2 y 3 ilustran una realización de un proceso o planta (10) para enfriar una corriente del lado de los tubos en un intercambiador (12) de calor principal según la presente invención. El intercambiador (12) de calor principal tiene una pared (14) que define un lado (16) de la carcasa dentro del cual está dispuesto un haz (18) de tubos enrollados alrededor de un mandril central (19), teniendo el intercambiador (12) de calor principal un extremo caliente (20) y un extremo frío (22). Un primer flujo másico (28) de una corriente del lado de los tubos se suministra al extremo caliente (20) de una primera zona (24) a través de una primera boquilla (25). Se suministra un segundo flujo másico (30) de una corriente del lado de los tubos al extremo caliente (20) de una segunda zona (26) a través de una segunda boquilla (27). La segunda zona (26) está desplazada de la primera zona (24) un radio que se extiende desde el mandril central (19) hasta la pared (14) del intercambiador (12) de calor principal. En la realización ilustrada en la fig. 3, el haz (18) de tubos incluye además una tercera zona intermedia (35) opcional dispuesta entre la primera zona (24) y la segunda zona (26), siendo alimentada dicha tercera zona (35) con un tercer flujo másico (37) de la corriente del lado de los tubos por la tercera boquilla (39). Debe entenderse que puede usarse cualquier número de zonas siempre que el suministro a cada zona esté controlado por boquillas separadas. Debe entenderse además que dentro de cada zona, los tubos individuales permanecen distribuidos uniformemente y pueden estar dispuestos en una pluralidad de capas.

Con referencia a las figs. 2 y 3, se introduce una corriente (31) de refrigerante simple o mixta en el extremo frío (22) del intercambiador de calor principal y se evapora en el lado (16) de la carcasa para proporcionar enfriamiento a los flujos másicos primero y segundo (28 y 30, respectivamente) de la corriente del lado de los tubos. Una corriente (74) de refrigerante evaporado es eliminada desde el extremo caliente (20) del intercambiador (12) de calor principal. El primer

5 flujo másico (28) que fluye solo a través de la primera zona (24) se ajusta por separado con respecto al segundo flujo másico (30) que fluye solo a través de la segunda zona (26) para maximizar la temperatura de la corriente (74) de refrigerante evaporado eliminado desde el extremo caliente (20) del intercambiador (12) de calor principal.

En una realización de la presente invención, la temperatura de la corriente (74) de refrigerante evaporado eliminada desde el extremo caliente (20) del intercambiador (12) de calor principal se maximiza igualando la temperatura del primer

10 flujo másico (28) medida en una primera ubicación axial (33) con respecto a la longitud del mandril (19) con la temperatura del segundo flujo másico (30) medido en dicha primera ubicación axial (33). El flujo másico suministrado por una o ambas boquillas primera y segunda (25 y 27, respectivamente) se ajusta de esta manera para garantizar que la temperatura de dicha corriente del lado de los tubos en la primera zona (24) coincida con la temperatura de dicha corriente del lado de los tubos en la segunda zona (26) en cualquier ubicación axial a lo largo de la longitud del haz (18)

15 de tubos. Si bien, a modo de ejemplo, sería ideal que la temperatura de salida del primer flujo másico (28) sea igual a la temperatura de salida del segundo flujo másico (30) en el extremo frío (22) para obtener la máxima eficiencia, el término "ecualizar" se utiliza en toda esta memoria y en las reivindicaciones adjuntas para referirse al ajuste incremental de al menos uno de los flujos másicos primero y segundo (28 y 30, respectivamente) para lograr el resultado de que la temperatura de salida del primer flujo másico (28) se acerca más a la temperatura de salida del segundo flujo másico (30)

20 en el extremo frío (22).

En la realización ilustrada en la fig. 3, la temperatura del primer flujo másico (28) se mide usando un primer sensor (32) de temperatura y la temperatura del segundo flujo másico (30) se mide usando un segundo sensor (34) de temperatura. Con referencia a la fig. 2, la temperatura de la corriente (74) de refrigerante evaporado eliminada desde el extremo

25 Para los fines de automatización de una realización del proceso, se compara una primera señal (35) indicativa de la temperatura medida por el primer sensor (32) de temperatura con una segunda señal (41) indicativa de la temperatura medida por el segundo sensor (34) de temperatura utilizando un controlador (40). El controlador (40) se usa para ajustar por separado el flujo másico suministrado a la primera zona (24) por la primera boquilla (25) en relación con el flujo másico suministrado a la segunda zona (26) a través de la segunda boquilla (27) de modo que se igualen las señales primera y segunda (35 y 41). Alternativa o adicionalmente, se proporciona una tercera señal (77) indicativa de la temperatura medida por el tercer sensor (75) de temperatura al controlador (40). El controlador (40) se usa entonces para ajustar el flujo másico suministrado a la primera zona (24) por la primera boquilla (25) en relación con el flujo másico suministrado a la segunda zona (26) a través de la segunda boquilla (27) de modo que maximice la temperatura de la corriente (74) de refrigerante evaporado. Cuando el haz (18) de tubos incluye además una tercera zona intermedia (35)

30 opcional, el controlador (40) puede recibir una cuarta señal indicativa de la temperatura en la tercera zona intermedia de manera análoga para permitir el ajuste del tercer flujo másico (37) suministrado a través de la tercera boquilla (39).

Debe entenderse que el flujo másico total en el intercambiador (12) de calor principal se controla o bien aguas arriba o bien aguas abajo del intercambiador (12) de calor principal. En consecuencia, un ajuste realizado por el controlador (40) a cualquiera de las boquillas (25, 27 o 39) cambiará el flujo másico relativo a través de las otras boquillas (25, 27 o 39)

40 mientras el flujo másico total a través del intercambiador de calor principal permanece constante.

En la realización ilustrada en la fig. 3, cada boquilla está provista de una válvula de flujo, por ejemplo, una válvula de mariposa de baja presión, ubicada bien en la entrada o bien en la salida de la corriente del lado de los tubos (ya sea aguas arriba o aguas abajo del extremo frío del haz de tubos) para facilitar el ajuste del flujo másico a través de esa boquilla. Por lo tanto, el flujo másico a través de la primera boquilla (25) se ajusta de manera controlable utilizando una

45 primera válvula (45) mientras que el flujo másico a través de la segunda boquilla (27) se ajusta de manera controlable utilizando una segunda válvula (47). Ventajosamente, cuando una o ambas válvulas primera y segunda (45 y 47, respectivamente) son externas al intercambiador de calor principal, el ajuste del caudal másico a través de las boquillas primera y segunda (25 y 27, respectivamente) puede ocurrir sin tener que desconectar el intercambiador de calor principal, evitando así la pérdida disruptiva de producción asociada con las paradas.

Ahora se hace referencia a la fig. 2 que ilustra esquemáticamente una planta (10) para licuar 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 la carcasa dentro del cual están dispuestos dos haces de tubos, que son un haz (50) de tubos calientes que tiene un extremo caliente (52) y un extremo frío (54) y un haz (56) de tubos fríos que tiene un extremo caliente (58) y un extremo frío (60). El haz (50) de tubos calientes está

50 dispuesto hacia el extremo caliente (20) del intercambiador (12) de calor principal y el haz (56) de tubos fríos está dispuesto hacia el extremo frío (22) del intercambiador (12) de calor principal. En la realización ilustrada en la fig. 2, el haz de tubos está dispuesto para recibir una primera corriente lateral (62) de tubo, una segunda corriente lateral (64) de tubo y una tercera corriente lateral (66) de tubo como se describe con mayor detalle a continuación. Sin embargo, la presente invención se aplica igualmente al intercambiador de calor principal que funciona con solo una o dos corrientes laterales de tubo siempre que un primer flujo másico de cualquier corriente del lado de los tubos dada se dirija a fluir a

través de un primer subconjunto de tubos individuales y un segundo flujo másico de dicha corriente del lado de los tubos se dirija a fluir a través de un segundo subconjunto de tubos individuales, con cada uno de los subconjuntos primero y segundo de tubos individuales desplazados radialmente a través del haz de tubos enrollado en hélice.

5 En la realización ilustrada en la fig. 2, la primera corriente lateral (62) de tubo entra en el haz (50) de tubos calientes a presión elevada como una alimentación gaseosa rica en metano que se ha licuado y parcialmente sub-enfriado cuando pasa desde el extremo frío (54) del haz (50) de tubos calientes al extremo caliente (58) del haz (56) de tubos fríos. La primera corriente lateral (62) de tubo entra en el extremo caliente (58) del haz (56) de tubos fríos como un líquido parcialmente sub-enfriado y sale del extremo frío (60) del haz (56) de tubos fríos como otro líquido sub-enfriado. A medida que pasa a través del haz (56) de tubos fríos, la primera corriente lateral (62) de tubo intercambia calor con una corriente (68) de refrigerante ligero predominantemente líquido que se evapora progresivamente en el lado (16) de la carcasa del haz (56) de tubos fríos. La primera corriente lateral (70) de tubo licuada sub-enfriada resultante es eliminada desde el extremo frío (22) del intercambiador (12) de calor principal antes de ser dirigida al almacenamiento (72).

10 Una corriente (74) de refrigerante mixto evaporado eliminada desde el lado (16) de la carcasa en el extremo caliente (20) del intercambiador (12) de calor principal se alimenta a los compresores de refrigerante primero y segundo (76 y 78) en los que la corriente (74) de refrigerante evaporado es comprimida para formar una corriente (80) de refrigerante a alta presión. La corriente (80) de refrigerante a alta presión se dirige luego a uno o más intercambiadores (82) de calor en los que se enfría para producir una corriente (84) de refrigerante mixta parcialmente condensada que luego se dirige en un separador (86) para separar una fracción pesada (88) de refrigerante en forma líquida y una fracción ligera (90) de refrigerante en forma gaseosa. La fracción pesada (88) de refrigerante se convierte en la segunda corriente lateral (64) de tubo que entra en el extremo caliente (52) del haz (50) de tubos calientes como un líquido y sale en el extremo frío (54) del haz (50) de tubos calientes como una corriente (92) de refrigerante pesado sub-enfriado. De esta manera, la segunda corriente del 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.

15 La corriente (92) de refrigerante pesado sub-enfriado eliminada en el extremo frío (54) del haz (50) de tubos calientes se expande a través de un primer dispositivo de expansión (94), por ejemplo, una válvula Joule-Thompson ("válvula J-T") , para formar una corriente (96) de refrigerante pesado a presión reducida que luego se introduce en el lado (16) de la carcasa del intercambiador (12) de calor principal en una ubicación intermedia entre el extremo frío (54) del haz (50) de tubos calientes y el extremo caliente (58) del haz (56) de tubos fríos. La corriente (96) de refrigerante pesado a presión reducida es, por lo tanto, una de las corrientes (31) de refrigerante que se deja evaporar en el lado (16) de la carcasa, enfriando así los fluidos en las primera, segunda y tercera corrientes laterales (62, 64 y 66, respectivamente) de tubo a medida que pasan a través del haz (50) de tubos calientes.

20 Parte de la fracción ligera (90) de refrigerante procedente del separador (86) se convierte en la tercera corriente lateral (66) de tubo que se introduce en el extremo caliente (52) del haz (50) de tubos calientes como un gas y sale en el extremo frío (60) del haz (56) de tubos fríos como una corriente (100) de refrigerante ligero líquido sub-enfriado. Más específicamente, la tercera corriente lateral (66) de tubo se enfría desde un gas a un líquido y se sub-enfría parcialmente a medida que pasa a través del haz (50) de tubos calientes y se enfría aún más a un líquido sub-enfriado a medida que pasa a través del haz (56) de tubos fríos. La corriente (100) de refrigerante ligero sub-enfriado eliminada desde el extremo frío (22) del intercambiador (12) de calor principal se expande a través de un segundo dispositivo (102) de expansión, por ejemplo una válvula JT 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 es, por lo tanto, otra de las corrientes (31) de refrigerante introducidas en el lado (16) de la 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 la carcasa para proporcionar enfriamiento al haz (56) de tubos fríos, enfriando así los fluidos en las primera y tercera corrientes laterales (62 y 66, respectivamente) de tubo a medida que se desplazan a través del haz (56) de tubos fríos así como también proporcionan enfriamiento a los fluidos en las primera, segunda y tercera corrientes laterales (62, 64 y 66, respectivamente) de tubo a medida que se desplazan a través del haz (50) de tubos calientes.

25 Cuando el proceso y aparato de la presente invención se utilizan para licuar una alimentación gaseosa rica en metano para obtener un gas natural licuado, la corriente del lado de los tubos puede ser una o más de: la primera corriente del lado de los tubos; la segunda corriente del lado de los tubos; o, la tercera corriente del lado de los tubos. La selección de qué corriente o corrientes laterales de tubo requieren un nuevo equilibrado dependerá de la magnitud de los diferenciales de temperatura medidos para diferentes zonas a través del extremo frío del haz de tubos en las salidas de la corriente del lado de los tubos.

30 A modo de ejemplo, la temperatura de una primera corriente del lado de los tubos que sale de una primera zona en el extremo frío del haz de tubos se puede comparar con la temperatura de la primera corriente del lado de los tubos que sale de una segunda zona del extremo frío del haz de tubos. En este ejemplo, el flujo másico de la primera corriente del lado de los tubos al extremo caliente del haz de tubos se reequilibra hasta que la temperatura de la primera corriente del lado de los tubos que sale de la primera zona en el extremo frío del haz de tubos se acerca a la temperatura de la primera corriente del lado de los tubos que sale de la segunda zona en el extremo frío del haz de tubos. Si la temperatura de la primera corriente del lado de los tubos que sale de la primera zona en el extremo frío del haz de tubos es más alta que la temperatura de la primera corriente del lado de los tubos que sale de la segunda zona en el extremo frío del haz

de tubos, la etapa de reequilibrar el flujo másico se logra restringiendo el flujo de la primera corriente del lado de los tubos a la primera zona en el extremo caliente del haz de tubos. De esta manera, el flujo másico de la primera corriente del lado de los tubos hacia la segunda zona en el extremo caliente del haz de tubos aumenta esencialmente ya que el caudal másico global de la primera corriente del lado de los tubos hacia el extremo caliente del haz de tubos no cambia.

5 Análogamente, a modo de ejemplo adicional, la temperatura de la segunda corriente del lado de los tubos que sale de una primera zona en el extremo frío del haz de tubos calientes puede compararse con la temperatura de la segunda corriente del lado de los tubos que sale de una segunda zona en el extremo frío del haz de tubos calientes. En este ejemplo, el flujo másico de la segunda corriente del lado de tubo hacia el extremo caliente del haz de tubos calientes se reequilibra hasta que la temperatura de la segunda corriente del lado de tubo que sale de la primera zona en el extremo frío del haz de tubos calientes se aproxima más a igualar la temperatura de la segunda corriente del lado de los tubos que sale de la segunda zona en el extremo frío del haz de tubos calientes. Si la temperatura de la segunda corriente del lado de los tubos que sale de la primera zona en el extremo frío del haz de tubos calientes es inferior a la temperatura de la segunda corriente del lado de los tubos que sale de la segunda zona en el extremo frío del haz de tubos calientes, la etapa de reequilibrado del flujo másico se logra restringiendo el flujo de la segunda corriente del lado de los tubos a la segunda zona en el extremo caliente del haz de tubos calientes. De esta manera, el flujo másico de la segunda corriente del lado de los tubos hacia la primera zona en el extremo caliente del haz de tubos calientes se incrementa esencialmente ya que el caudal másico global de la segunda corriente del lado de los tubos hacia el extremo caliente del haz de tubos calientes no cambia.

20 La restricción del flujo másico de una corriente del lado de los tubos a cualquier zona dada dentro del haz puede lograrse ajustando los flujos másicos a través de la boquilla o válvula responsable de dirigir el flujo másico de esa corriente lateral a dicha zona. Se considera una cuestión de rutina para una persona experta en la técnica determinar el grado al que el flujo a través de una boquilla necesita ser ajustado para cualquier zona dada del haz de tubos para compensar la diferencia de temperatura de dicha corriente del lado de los tubos que sale del extremo frío del haz de tubos para dicha zona. Esto se puede lograr utilizando técnicas de modelado bien conocidas en la técnica.

25 Ahora que las realizaciones de la invención se han descrito en detalle, será evidente para los expertos en la técnica relevante que se pueden realizar numerosas variaciones y modificaciones sin apartarse de los conceptos básicos de la invención. Por ejemplo, se puede usar una pluralidad de sensores (71) de temperatura del lado de la carcasa para proporcionar una pluralidad correspondiente de señales indicativas de la temperatura de cada zona dentro del haz de tubos. Esta pluralidad de señales puede alimentarse al controlador (40) para facilitar el ajuste controlado del flujo másico de una corriente del lado de los tubos a dichas zonas. Se considera que todas estas modificaciones y variaciones están dentro del alcance de la presente invención, cuya naturaleza ha de ser determinada a partir de la descripción anterior y las reivindicaciones adjuntas.

35 Cualesquiera patentes citadas en esta memoria se incorporan aquí como referencia. Se comprenderá claramente que, aunque se hace referencia a varias publicaciones de la técnica anterior en el presente documento, esta referencia no constituye una admisión de que ninguno de estos documentos forme parte del conocimiento general común en la técnica, en Australia o en cualquier otro país. En el resumen de la invención, la descripción y las reivindicaciones que siguen, excepto cuando el contexto requiera lo contrario debido a un lenguaje expreso o implicación necesaria, la palabra "comprender" o variaciones como "comprende" o "que comprende" se usa en un sentido inclusivo, es decir, para especificar la presencia de las características indicadas pero no para impedir la presencia o adición de características adicionales en diversas realizaciones de la invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un proceso para enfriar una corriente del 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 dentro del cual está dispuesto un haz de tubos enrollados alrededor de un mandril central, comprendiendo el proceso las etapas de:
- a) Suministrar un primer flujo másico de una corriente del lado de los tubos al extremo caliente de una primera zona de tubos individuales en el haz de tubos a través de una primera boquilla;
- 10 b) Suministrar un segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos al extremo caliente de una segunda zona de tubos individuales en el haz de tubos a través de una segunda boquilla, estando la segunda zona desplazada desde la primera zona a lo largo de un radio que se extiende desde el mandril central hasta la pared del intercambiador de calor principal;
- c) Suministrar una corriente de refrigerante en el lado de la carcasa para enfriar los flujos másicos primero y segundo para formar una corriente de refrigerante evaporado;
- d) Eliminar la corriente de refrigerante evaporado del extremo caliente del intercambiador de calor principal; y,
- 15 e) Ajustar el primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos con respecto al segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos para maximizar la temperatura de la corriente de refrigerante evaporado eliminada en la etapa d).
2. El proceso de la reivindicación 1, en el que la etapa e) comprende igualar la temperatura del primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos en una primera ubicación axial con respecto a la longitud del mandril con la temperatura del segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos en dicha primera ubicación axial ajustando el flujo másico suministrado a una o ambas boquillas primera y segunda.
- 20 3. El proceso de la reivindicación 1 o 2 en el que un primer sensor de temperatura genera una primera señal indicativa de la temperatura del primer flujo másico y un segundo sensor de temperatura genera una segunda señal indicativa de la temperatura del segundo flujo másico y la etapa e) comprende usar un controlador para ajustar el primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos con respecto al segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos para igualar la primera señal con la segunda señal.
- 25 4. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que la primera ubicación axial está en el extremo frío del intercambiador de calor principal o es adyacente al mismo.
5. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que la primera zona es una zona interna del haz de tubos y la segunda zona es una zona externa del haz de tubos.
- 30 6. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el flujo másico a través de la primera boquilla se ajusta de manera controlable usando una primera válvula y el flujo másico a través de la segunda boquilla se ajusta de manera controlable usando una segunda válvula.
7. El proceso de la reivindicación 6, en el que una o ambas válvulas primera y segunda son externas al intercambiador de calor principal, y en particular una válvula de caída de baja presión abierta segura contra fallos.
- 35 8. El proceso de la reivindicación 6 o 7, en donde una o ambas válvulas primera y segunda están ubicadas en uno o ambos extremos caliente y frío de la corriente del lado de los tubos.
9. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el haz de tubos comprende un haz de tubos calientes dispuesto hacia el extremo caliente del intercambiador de calor principal, y un haz de tubos frío dispuesto hacia el extremo frío del intercambiador de calor principal, teniendo cada uno de los haces de tubos calientes y el haz de tubos fríos un extremo caliente y un extremo frío y la primera ubicación está en el extremo frío del haz de tubos calientes o adyacente al mismo.
- 40 10. El proceso de la reivindicación 9, en el que la corriente del lado de los tubos es una primera corriente del lado de los tubos que entra al extremo caliente del haz de tubos calientes como un líquido y sale del extremo frío del haz de tubos fríos como un líquido sub-enfriado.
- 45 11. El proceso de la reivindicación 10, que comprende las siguientes etapas:
- la primera corriente del lado de los tubos entra en el extremo caliente del haz de tubos calientes como una alimentación gaseosa rica en metano que se ha licuada en el momento en que pasa desde el extremo caliente del haz de tubos calientes al extremo caliente del haz de tubos fríos;
 - la primera corriente del lado de los tubos entra en el extremo caliente del haz de tubos fríos como un líquido y sale del extremo frío del haz de tubos fríos como un líquido sub-enfriado.
- 50

12. Un intercambiador de calor principal para licuar una corriente del lado de los tubos, teniendo el intercambiador de calor principal un extremo caliente y un extremo frío en uso, comprendiendo el intercambiador de calor principal:
- una pared que define un lado de la carcasa dentro de la cual está dispuesto un haz de tubos enrollado en hélice;
 - 5 una primera boquilla para suministrar un primer flujo másico de una corriente del lado de los tubos al extremo caliente de una primera zona de tubos individuales en el haz de tubos a través de una primera boquilla;
 - una segunda boquilla para suministrar un segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos al extremo caliente de una segunda zona de tubos individuales en el haz de tubos a través de una segunda boquilla, estando la segunda zona desplazada desde la primera zona a lo largo de un radio que se extiende desde el mandril central a la pared del intercambiador de calor principal;
 - 10 un distribuidor para suministrar una corriente de refrigerante en el lado de la carcasa para enfriar los flujos másicos primero y segundo para formar una corriente de refrigerante evaporado;
 - medios para eliminar la corriente de refrigerante evaporado desde el extremo caliente del intercambiador de calor principal; y,
 - 15 un controlador para ajustar el primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos suministrado por la primera boquilla en relación con el segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos suministrado por la segunda boquilla para maximizar la temperatura de la corriente de refrigerante evaporado medida por una temperatura sensor.
13. El intercambiador de calor principal de la reivindicación 12, en el que el controlador ajusta el flujo másico suministrado a una o ambas boquillas primera y segunda para igualar la temperatura del primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos en una primera ubicación axial con respecto a la longitud del mandril con la temperatura del segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos en dicha primera ubicación axial.
- 20 14. El intercambiador de calor principal de la reivindicación 12 o 13, en el que un primer sensor de temperatura genera una primera señal indicativa de la temperatura del primer flujo másico y un segundo sensor de temperatura genera una segunda señal indicativa de la temperatura del segundo flujo másico y el controlador ajusta el primer flujo másico de la corriente del lado de los tubos con relación al segundo flujo másico de la corriente del lado de los tubos para igualar la primera señal con la segunda señal.
- 25 15. El intercambiador de calor principal de las reivindicaciones 12 a 14, en el que la primera ubicación axial está en el extremo frío del intercambiador de calor principal, o adyacente al mismo, y/o
- en el que la primera zona es una zona interna del haz de tubos y la segunda zona es una zona externa del haz de tubos.
- 30 16. El intercambiador de calor principal según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, en el que el flujo másico a través de la primera boquilla se ajusta de manera controlable usando una primera válvula y el flujo másico a través de la segunda boquilla se ajusta de manera controlable usando una segunda válvula.
- 35 17. El intercambiador de calor principal de la reivindicación 16, en el que una o ambas válvulas primera y segunda son externas al intercambiador de calor principal, y en particular una válvula de caída de baja presión abierta a prueba de fallos.
18. El intercambiador de calor principal de las reivindicaciones 16 o 17, en el que una o ambas de la primera y segunda válvulas están situadas en uno o ambos del extremo caliente y del extremo frío de la corriente del lado de los tubos.
- 40 19. El intercambiador de calor principal según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18, en el que el haz de tubos comprende un haz de tubos calientes dispuesto hacia el extremo caliente del intercambiador de calor principal, y un haz de tubos frío dispuesto hacia el extremo frío del intercambiador de calor principal, teniendo cada uno del haz de tubos calientes y del haz de tubos fríos tiene un extremo caliente y un extremo frío y la primera ubicación está en el extremo frío del haz de tubos calientes o adyacente al mismo.

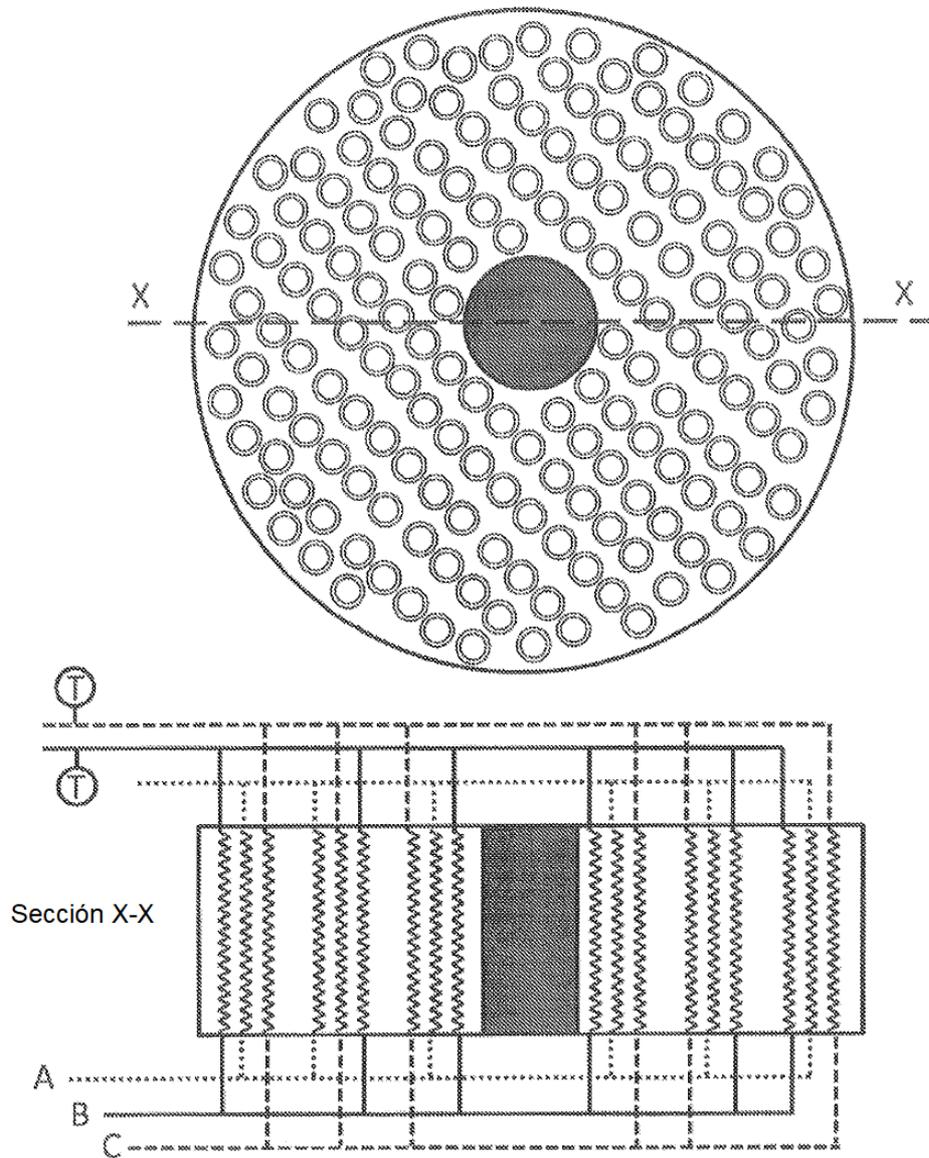


Figura 1: Técnica Anterior

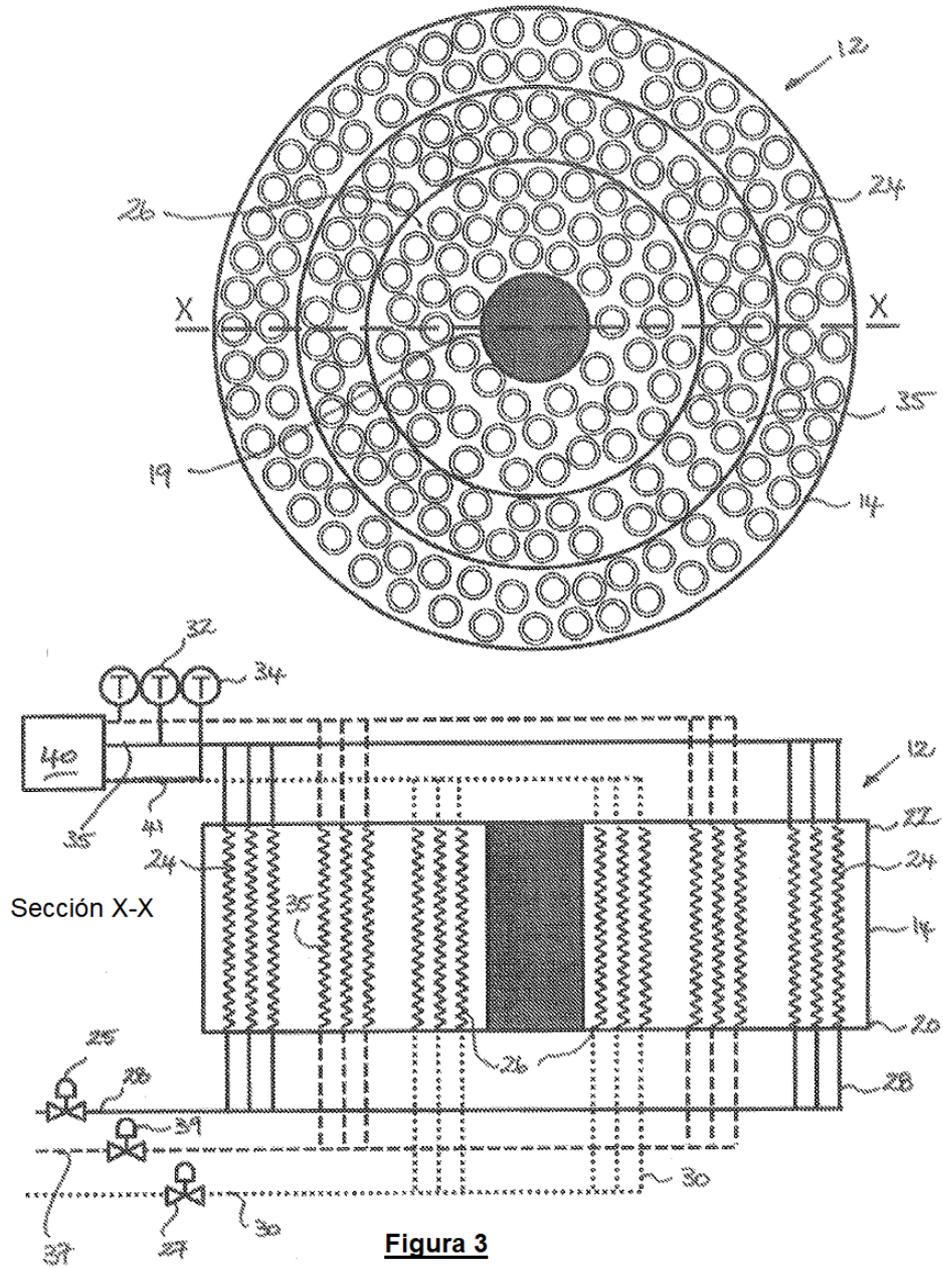


Figura 3