

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 474 942**

51 Int. Cl.:

C08F 10/00 (2006.01)

C08F 2/14 (2006.01)

C08F 2/00 (2006.01)

F01K 25/10 (2006.01)

F22B 1/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2008 E 08775105 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.04.2014 EP 2167547**

54 Título: **Procedimiento para optimizar la eficiencia energética en un proceso de polimerización**

30 Prioridad:

16.07.2007 EP 07112523

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

10.07.2014

73 Titular/es:

**TOTAL RESEARCH & TECHNOLOGY FELUY
(100.0%)
Zone Industrielle C
7181 Seneffe, BE**

72 Inventor/es:

VAN DER SCHRICK, BERNARD

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 474 942 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

Procedimiento para optimizar la eficiencia energética en un proceso de polimerización

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere, en general, a la polimerización de olefinas. La presente también se refiere a un procedimiento para la recuperación de energía en un proceso de polimerización. Más particularmente, la presente invención se refiere a la recuperación eficiente de energía del calor producido por el sistema de refrigeración del reactor.

Antecedentes de la invención

10 Las poliolefinas, tales como polietileno y polipropileno, pueden prepararse por polimerización en forma de partículas, tales como polimerización en suspensión o polimerización en fase gaseosa.

15 Las polimerizaciones de olefinas se llevan a cabo con frecuencia usando un monómero, un diluyente y un catalizador y comonómeros y opcionalmente hidrógeno en un reactor. La polimerización se realiza generalmente bajo condiciones de suspensión, en las que el producto se compone por lo general de partículas sólidas y está en suspensión en un diluyente. El contenido de suspensión del reactor se hace circular continuamente con una bomba para mantener una suspensión eficiente de las partículas sólidas del polímero en el diluyente líquido. El producto se descarga por medio de patas de sedimentación, que funcionan en un principio de lotes para recuperar el producto. La sedimentación en las patas se utiliza para aumentar la concentración de sólidos de la suspensión finalmente recuperado como suspensión del producto. El producto se descarga además a un tanque de expansión, a través de líneas de expansión, donde la mayor parte del diluyente y los monómeros sin reaccionar son evaporados y reciclados. Alternativamente, la suspensión de producto se puede alimentar a un segundo reactor de bucle conectado en serie al primer reactor de bucle, donde se puede producir una segunda fracción del polímero. Normalmente, cuando dos reactores en serie se emplean de esta manera, el producto de polímero resultante, el cual comprende una primera fracción de polímero producida en el primer reactor y una segunda fracción de polímero producida en el segundo reactor, tiene una distribución de peso molecular bimodal.

20 La polimerización de la suspensión en una zona de reacción en bucle ha demostrado ser un éxito comercial. La técnica de polimerización de la suspensión ha disfrutado de un éxito internacional con miles de millones de kilogramos de poliolefinas siendo producidas anualmente de esta forma.

25 Una variedad de equipos y operaciones dentro de un procedimiento de fabricación de poliolefina puede consumir energía. Unos consumidores notables de la electricidad dentro de una planta de poliolefina, por ejemplo, pueden incluir las bombas que hacen circular la mezcla de reacción líquida en los reactores de polimerización (por ejemplo, reactores de suspensión de bucle), las bombas que hacen circular el medio de refrigeración (por ejemplo, agua tratada) a través de la polimerización camisas de reactores, los compresores que presurizan y devuelven diluyente reciclado (y/o monómero) al reactor de polimerización, los sopladores utilizados para transportar pelusa y gránulos, y los extrusores que convierten la pelusa de poliolefina en gránulos de poliolefina. Importantes usuarios de vapor en una planta típica de poliolefina pueden incluir calentadores de líquido que evaporan líquido en el efluente del reactor de polimerización, y columnas de fraccionamiento que procesan diluyente y/o monómero recuperados. Consumidores relativamente grandes de gas combustible pueden incluir procedimientos de activación (que puede utilizar un calor alto) del catalizador de polimerización, y las operaciones que mantienen el contenido de combustible adecuado en el cabezal de la antorcha de la planta (en la alimentación a la antorcha). En general, se requiere una energía considerable para polimerizar el monómero y comonómero a pelusa de poliolefina, para procesar efluente reciclado del reactor, y para convertir la pelusa de poliolefina en gránulos.

30 Por lo tanto, la producción de poliolefina es un procedimiento de alto consumo energético, que consume electricidad, vapor, gas combustible, y así sucesivamente. Tal consumo de energía generalmente contribuye al coste significativo de la producción de poliolefinas, así como a los productos intermedios construidos de poliolefinas distribuidos al cliente.

35 El documento WO 2006/026493 describe un procedimiento de fabricación para la producción de poliolefinas configurado para consumir menos de alrededor de 445 kilovatios-hora de electricidad por tonelada métrica de poliolefina producida.

40 El documento GB 2 095 688 divulga un procedimiento de preparación de una sustancia polimérica o un producto líquido que contiene una sustancia polimérica, que comprende al menos dos etapas unitarias de polimerización de monómeros en las cuales el calor frío se utiliza para al menos otra etapa de unidad que requiere enfriamiento por debajo de temperatura ambiente normal.

45 Sin embargo, todavía existe la necesidad de mejorar la eficiencia energética de los procedimientos de producción de poliolefinas.

55

Sumario de la invención

Los inventores han encontrado, sorprendentemente, que la eficiencia energética en la producción de poliolefina puede aumentarse. La presente invención permite la recuperación de la energía térmica producida en un sitio de polimerización, en particular, con el sistema de refrigeración del reactor de polimerización, y el uso de esta energía térmica para la producción de vapor y/o electricidad y/o energía mecánica que se recicla de nuevo al sitio de polimerización. Dicho vapor se puede utilizar en calentadores de líquido que se encienden en el efluente del reactor de polimerización, y columnas de fraccionamiento que procesan el diluyente y/o monómero recuperados. La recuperación de una parte del calor de polimerización es un paso más en la dirección para reducir al mínimo el consumo de energía de la producción de poliolefinas.

5 La presente invención proporciona un procedimiento

de refrigeración de una reacción de polimerización para la producción de poliolefina que comprende las etapas de:

(a) poner en contacto térmicamente dicha reacción de polimerización con agua tal que el agua elimine la energía térmica a partir de dicha reacción,

15 (b) poner en contacto térmicamente dicha agua con un fluido de trabajo recuperando de esta manera dicha energía térmica a partir de dicha agua en dicho fluido de trabajo,

en el que la etapa (b) comprende:

20 (b1) evaporar dicho fluido de trabajo en un gas a través de la absorción de energía térmica, presurizar dicho fluido de trabajo gaseoso, la liberación de la entalpía de dicho fluido operante presurizado mediante la condensación de dicho fluido de trabajo, y la reducción de la presión de dicho fluido de trabajo condensado térmicamente antes de poner en contacto dicho fluido de trabajo con dicha agua, o en el que la etapa (b) comprende:

25 (b2) evaporar dicho fluido de trabajo en un gas a través de la absorción de energía térmica, por lo que dicho fluido de trabajo se convierte en un vapor saturado sobrecalentado, expandir dicho vapor sobrecalentado para generar entalpía, y condensar dicho vapor y refrigerar dicho vapor para convertirlo en un líquido saturado, y presurizar dicho fluido de trabajo condensado antes de reciclarlo al poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicha agua,

y (c) poner en contacto térmicamente el agua obtenida en la etapa (b) con la reacción de polimerización enfriando de ese modo dicha reacción,

30 en el que el fluido de trabajo es convertido en fase proporcionando de este modo energía en forma de calor y/o electricidad y/o energía mecánica de nuevo al procedimiento de producción de poliolefina, y en el que el fluido de trabajo se selecciona del grupo que comprende n-pentano, isopentano, n-butano, isobutano, propano, isopropano, y mezclas de los mismos.

35 La presente invención también se refiere a un procedimiento de optimización de energía del consumo de energía en un proceso de polimerización para la producción de poliolefinas que comprende la etapa de: recuperar al menos una parte de la energía térmica producida por dicha reacción de polimerización en un fluido de trabajo, en el que dicho fluido de trabajo es convertido en fase proporcionando de este modo energía en forma de calor y/o electricidad y/o energía mecánica de nuevo al procedimiento de producción de poliolefina, preferentemente utilizando dicho calor para producir vapor, en el que una parte de la energía térmica del agua se recupera usando un ciclo de calor de compresión que comprende:

40 poner en contacto térmicamente dicha agua con dicho fluido de trabajo evaporando así dicho fluido de trabajo en un gas a través de la absorción de energía térmica,

presurizar dicho fluido de trabajo gaseoso, y

liberar la entalpía de dicho fluido de trabajo presurizado por condensación de dicho fluido de trabajo, y

45 reducir la presión de dicho fluido de trabajo condensado antes de poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicha agua, y en el que el fluido de trabajo se selecciona del grupo que comprende n-pentano, isopentano, n-butano, isobutano, propano, isopropano, y mezclas de los mismos.

50 La presente invención también se refiere a un procedimiento de optimización de energía del consumo de energía en un proceso de polimerización para la producción de poliolefinas que comprende la etapa de: recuperar al menos una parte de la energía térmica producida por dicha reacción de polimerización en un fluido de trabajo, en el que dicho fluido de trabajo es de convertido en fase proporcionando de este modo energía en forma de calor y/o electricidad y/o energía mecánica de nuevo al procedimiento de producción de poliolefina, utilizando preferentemente dicho calor para producir vapor, en el que una parte de la energía térmica del agua se recupera utilizando un ciclo de potencia, preferentemente un ciclo de Rankine orgánico que comprende:

poner en contacto térmicamente dicha agua con dicho fluido de trabajo, con lo que dicho fluido de trabajo se convierte en un vapor saturado sobrecalentado,

expandir dicho vapor sobrecalentado para generar entalpía,

condensar dicho vapor y enfriar dicho vapor para convertirlo en un líquido saturado, y

- 5 presurizar dicho fluido de trabajo condensado antes de reciclarlo para poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicha agua, y en el que el fluido de trabajo se selecciona del grupo que comprende n-pentano, isopentano, n-butano, isobutano, propano, isopropano, y mezclas de los mismos.

La presente invención permite reducir el consumo de energía en un procedimiento de producción de poliolefinas. La presente invención mejora la eficiencia de la planta y permite recuperar los recursos de energía desperdiciada.

- 10 La presente invención se describirá más en detalle a continuación. La descripción sólo se da a modo de ejemplo y no limita la invención. Los números de referencia se refieren a las figuras en la presente memoria anexadas.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 representa esquemáticamente un reactor de polimerización junto con una bomba de calor de compresión de acuerdo con una realización de la presente invención.

- 15 La figura 2 representa una unidad de recompresión esquemática utilizada de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 3 representa esquemáticamente una bomba de calor de compresión acoplada con una unidad de producción de vapor de acuerdo con una realización de la presente invención.

- 20 La figura 4 representa esquemáticamente un reactor de polimerización junto con un ciclo de Rankine orgánico dedicado a la producción de electricidad de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción detallada

La invención proporciona un sistema para la valoración de energía en un proceso de polimerización de olefinas, caracterizado porque un fluido de trabajo es convertido en fase durante el procedimiento de recuperación de calor. La presente invención también se refiere a un proceso de polimerización para producir polímeros de olefinas en un reactor, que comprende las etapas de:

- 25 - introducir en dicho reactor uno o más reactivos de olefina, catalizadores de polimerización y diluyentes y, mientras circulan dichos reactivos, catalizadores y diluyentes,
- polimerizar dicho uno o más reactivos de olefina para producir una suspensión de polímero que comprende esencialmente diluyente líquido y partículas de polímero de olefina sólidas,
- 30 - controlar la temperatura del reactor utilizando un fluido de refrigeración, y
- recuperar al menos una parte de la energía térmica procedente de dicho fluido de refrigeración por un fluido de trabajo en contacto térmico con dicho fluido de enfriamiento, en el que dicho fluido de trabajo se convierte en fase proporcionando de este modo energía en forma de calor y/o electricidad y/o energía mecánica de nuevo al procedimiento de producción de poliolefina.

- 35 Dicho fluido de enfriamiento (también conocido como fluido de enfriamiento de la reacción) es agua. De acuerdo con la presente invención, un fluido de trabajo se utiliza para recuperar la energía térmica del agua de refrigeración de reacción.

Como se usa en la presente memoria, el término "fluido de trabajo" se refiere al medio en evolución dentro de un ciclo termodinámico.

- 40 Dicho fluido de trabajo se selecciona del grupo que comprende n-pentano, isopentano, n-butano, isobutano, propano, isopropano, y mezclas de los mismos.

De acuerdo con una realización de la presente invención, dicha etapa de recuperación de energía térmica en dicho procedimiento comprende: poner en contacto térmicamente un fluido de refrigeración de reacción con dicho fluido de trabajo evaporando con ello dicho fluido de trabajo en un gas a través de la absorción de energía térmica, presurizar dicho fluido de trabajo gaseoso, y liberar la entalpía de dicho fluido de operación presurizado mediante la condensación de dicho fluido de trabajo, y reducir la presión de dicho fluido de trabajo condensado antes de poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicho fluido de enfriamiento.

- 45 De acuerdo con una primera realización particular, al menos una parte de dicha energía térmica a partir de dicho fluido de enfriamiento se recupera utilizando un ciclo de calor de compresión. Preferentemente, se utiliza una bomba

de calor de compresión.

El término "entalpía" tal como se utiliza en la presente memoria se refiere al calor liberado o adsorbido por dicho fluido de trabajo.

5 De acuerdo con una realización particular, la energía térmica a partir de dicho fluido de enfriamiento se recupera en un fluido de trabajo que es de convertido en fase para producir calor y al menos una fracción del calor se usa para producir vapor, preferentemente vapor a baja presión. En una realización, si se desea una alta presión, dicho vapor a baja presión puede ser comprimido para obtener vapor de alta presión, y un aumento de la temperatura. Este sistema permite la recuperación del condensado de vapor y la conversión de dicho condensado en vapor. Preferentemente el condensado de vapor proporcionado a partir de la unidad de polimerización se pone en contacto térmicamente con dicho fluido de trabajo, liberando dicho fluido de trabajo el calor absorbido desde el fluido de refrigeración al condensado de vapor.

15 De acuerdo con una realización preferida, se proporciona la transferencia de energía entre el fluido de refrigeración y la unidad de producción de vapor a través de dicho fluido de trabajo (también referido como fluido refrigerante) que fluye en un circuito cerrado: vapores de fluido de trabajo sobrecalentado con la energía térmica del fluido de refrigeración son comprimidos y condensados aún más. Los gases comprimidos son enfriados y después pasan al estado líquido durante la condensación. La entalpía liberada durante el enfriamiento se utiliza para producir vapor de agua (fluido de transferencia de calor). El fluido de trabajo se condensa, dando el calor al fluido de transferencia de calor (preferentemente agua) que se evapora (vapor). El fluido de transferencia de calor es preferentemente un condensado proporcionado a partir del vapor a baja presión utilizada en la unidad de polimerización. El condensado al entrar en contacto con el fluido de trabajo se transforma en vapor a baja presión por transferencia de calor a partir de dicho fluido de trabajo. El fluido de trabajo después de la condensación está saturando y se licua. El fluido de trabajo licuado se expande: el fluido de trabajo que entra en contacto con el agua de refrigeración es una mezcla de líquido y vapor. La evaporación del fluido de trabajo se lleva a cabo cuando dicho fluido de trabajo toma desde el agua de refrigeración del reactor, el calor que ha absorbido en su circuito de utilización. El agua de refrigeración del reactor se enfría y entrega la energía que contiene, por evaporación del fluido de trabajo hasta que es sobrecalentado. Preferentemente, el fluido de trabajo utilizado en el presente procedimiento es n-pentano.

De acuerdo con una segunda realización particular, al menos una parte de dicha energía térmica a partir de dicho fluido de enfriamiento se recupera utilizando un ciclo de potencia.

30 Ciclos de potencia son bien conocidos en la técnica. Un ciclo de potencia es un ciclo que toma el calor y lo utiliza para hacer el trabajo en el entorno. Hay numerosos ciclos de potencia que son bien conocidos en la técnica. Ejemplos de ciclos de potencia adecuados incluyen, pero no se limitan a, un ciclo orgánico de Rankine (ORC).

35 Otros ejemplos de los ciclos de potencia que se pueden utilizar se divulgan en "A Review of Organic Rankine Cycles (ORCs) for the Recovery of Low-Grade Waste Heat" Energy, vol. 22, N° 7, pp 661-667, 1997, Elsevier Science Ltd, Gran Bretaña y en "Absorption Power Cycles", Energy, vol. 21, N° 1, pp 21-27, 1996, Elsevier Science Ltd, Gran Bretaña.

40 De acuerdo con una realización de la presente invención, dicha etapa de recuperación de energía térmica en dicho procedimiento comprende: poner en contacto térmicamente dicho fluido de refrigeración con dicho fluido de trabajo, por lo que dicho fluido de trabajo se convierte en un vapor saturado sobrecalentado, expandir dicho vapor sobrecalentado para generar entalpía, condensar dicho de vapor y refrigerar dicho vapor para convertirse en un líquido saturado, y presurizar dicho fluido de trabajo condensado antes de reciclarlo al poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicho fluido de enfriamiento.

45 En una realización, la entalpía generada se utiliza preferentemente para producir vapor a partir del condensado de vapor recuperado de la unidad de polimerización. En otra realización, la entalpía generada se utiliza preferentemente para alimentar una turbina para la producción de electricidad. De acuerdo con una tercera realización particular, al menos una parte de dicha energía térmica a partir de dicho fluido de enfriamiento se recupera usando un ciclo de refrigeración por absorción. Un refrigerador de absorción típico utiliza al menos dos sustancias: amoníaco y agua como fluidos de trabajo.

50 Las combinaciones de fluidos de trabajo también pueden ser utilizadas, así como combinaciones de fluidos de trabajo y lubricantes. La energía térmica recuperada por dicho fluido de trabajo puede ser reciclada de nuevo al proceso de polimerización.

La presente invención es aplicable a cualquier procedimiento que produce un efluente que comprende una suspensión de sólidos de polímero en partículas suspendidas en un medio líquido que comprende un diluyente y monómero sin reaccionar. Tales procedimientos de reacción incluyen aquellos que han llegado a ser conocidos en la técnica como polimerizaciones en forma de partículas.

55 La presente invención es particularmente adecuada para el proceso de polimerización para la fabricación de polímeros de olefinas en partículas que consisten en la polimerización catalítica de olefinas, tales como olefinas C₂ a C₈ en un diluyente que contiene el monómero a polimerizar, siendo la suspensión de polimerización circulada en un

reactor de bucle al que se alimenta el material de partida y del que se retira el polímero formado. Ejemplos de monómeros adecuados incluyen, pero no se limitan a los que tienen de 2 a 8 átomos de carbono por molécula, tales como etileno, propileno, butileno, penteno, butadieno, isopreno, y 1-hexeno.

5 La reacción de polimerización se puede llevar a cabo a una temperatura de 50 a 120°C, preferentemente a la temperatura de 70 a 115°C, más preferentemente a temperatura de 80 a 110°C, y a una presión de desde 20 hasta 100 bar, preferentemente a presión de 30 a 50 bar, más preferentemente a una presión de 37 a 45 bar.

10 En una realización preferida, la presente invención es particularmente adecuada para la polimerización de etileno en diluyente de isobutano. La polimerización de etileno adecuada incluye, pero no se limita a la homopolimerización de etileno, la copolimerización de etileno y un comonómero mayor de 1-olefina tal como 1-buteno, 1-penteno, 1-hexeno, 1-octeno o 1-deceno. En una realización de la presente invención, dicho comonómero es 1-hexeno. En otra realización, la presente invención se describe en términos de la polimerización de etileno para la fabricación de polietileno bimodal (PE). "PE bimodal" se refiere a PE que se fabrica usando dos reactores, que están conectados entre sí en serie.

15 El etileno se polimeriza en un diluyente líquido en presencia de un catalizador, opcionalmente un cocatalizador, opcionalmente un comonómero, opcionalmente hidrógeno y opcionalmente otros aditivos, produciendo de este modo una suspensión de polimerización.

20 Como se usa en la presente memoria, el término "suspensión de polimerización" o "suspensión de polímero" o "suspensión" significa sustancialmente una composición de múltiples fases que incluye al menos sólidos de polímero y una fase líquida y permite que la tercera fase (gas) sea al menos localmente presente en el procedimiento, siendo la fase líquida la fase continua. Los sólidos incluyen un catalizador y una olefina polimerizada, tal como polietileno. Los líquidos incluyen un diluyente inerte, tal como isobutano, monómero disuelto tal como el etileno, comonómero, agentes de control de peso molecular, como el hidrógeno, agentes antiestáticos, agentes antiincrustantes, eliminadores, y otros aditivos de procedimiento.

25 Diluyentes adecuados son bien conocidos en la técnica e incluyen, pero no se limitan a diluyentes de hidrocarburos tales como hidrocarburos alifáticos, disolventes de hidrocarburos cicloalifáticos y aromáticos, o versiones halogenadas de tales disolventes. Los disolventes preferidos son C₁₂ o inferior, de cadena lineal o de cadena ramificada, hidrocarburos saturados, C₅ a C₉ alicíclico saturado o hidrocarburos aromáticos. Los ejemplos no limitantes ilustrativos de disolventes son butano, isobutano, pentano, hexano, heptano, ciclopentano, ciclohexano, cicloheptano, ciclopentano de metilo, metil ciclohexano, isooctano, benceno, tolueno, y xileno. En una realización preferida de la presente invención, dicho diluyente es isobutano. Sin embargo, debe quedar claro a partir de la presente invención que otros diluyentes pueden así ser aplicados de acuerdo con la presente invención.

30 Los catalizadores adecuados son bien conocidos en la técnica. Según la presente invención, el término "catalizador" se define en la presente memoria como una sustancia que provoca un cambio en la velocidad de una reacción de copolimerización sin que ella misma se consuma en la reacción. Ejemplos de catalizadores adecuados incluyen, pero no se limitan a óxido de cromo, tales como los soportados sobre sílice o aluminio, catalizadores organometálicos incluyendo los conocidos en la técnica como catalizadores de "Ziegler" o "Ziegler-Natta", y catalizadores de metaloceno. El término "co-catalizador" tal como se utiliza en la presente memoria se refiere a materiales que pueden ser utilizados en conjunción con un catalizador con el fin de mejorar la actividad del catalizador durante la reacción de polimerización.

40 De acuerdo con otra realización, el procedimiento de acuerdo con la presente invención también se puede aplicar en un reactor de doble bucle de polimerización que consiste en dos reactores de bucle llenos de líquido, que comprende un primero y un segundo reactor conectados en serie por una o más patas de sedimentación del primer reactor conectados para la descarga de suspensión desde el primer reactor a dicho segundo reactor.

45 La invención también proporciona un sistema para la refrigeración de una reacción de polimerización de olefinas, caracterizado por el hecho de que se utiliza un ciclo de bomba de calor de compresión, un ciclo de refrigeración por absorción o un ciclo de Rankine orgánico para eliminar la energía térmica a partir de dicha reacción de polimerización y la conversión de fase de un fluido de trabajo se utiliza en el procedimiento de eliminación de calor.

50 En particular, la presente invención proporciona un procedimiento para la refrigeración de una reacción de polimerización que comprende las etapas de: eliminar la energía térmica a partir de dicha reacción de polimerización en un fluido de trabajo, y utilizar al menos una fracción de la energía térmica recuperada en dicho fluido de trabajo para proporcionar calor y/o electricidad y/o energía mecánica de nuevo al procedimiento de producción de poliolefina. En una realización dicho fluido de trabajo está en contacto térmico con un fluido de enfriamiento de reacción de la que se elimina la energía térmica a partir de dicha reacción de polimerización. Pueden utilizarse una bomba de calor de compresión, una unidad de refrigeración por absorción o un ciclo de Rankine orgánico como se describe anteriormente para dicho procedimiento.

55 En una realización dicho calor puede ser utilizado para producir vapor, preferentemente vapor a baja presión. En otra realización, dicha energía se puede utilizar para producir electricidad y/o energía mecánica.

5 En una realización, dicho procedimiento comprende evaporar dicho fluido de trabajo en un gas a través de la absorción de energía térmica, presurizar dicho fluido de trabajo gaseoso, liberar la entalpía de dicho fluido operante presurizado mediante la condensación de dicho fluido de trabajo, y reducir la presión de dicho fluido de trabajo condensado antes de poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicho fluido de enfriamiento. La entalpía es absorbida preferentemente por un fluido de transferencia de calor, preferentemente agua, que de este modo convierte en vapor.

10 En otra realización, dicho procedimiento comprende evaporar dicho fluido de trabajo en un gas a través de la absorción de energía térmica, por lo que dicho fluido de trabajo se convierte en un vapor saturado sobrecalentado, expandir dicho vapor sobrecalentado para generar entalpía, y condensar dicho vapor y enfriar dicho vapor para convertirse en un líquido saturado, y presurizar dicho fluido de trabajo condensado antes de reciclarlo para poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicho fluido de enfriamiento.

15 La presente invención también proporciona un procedimiento que aumenta la eficiencia energética de los procedimientos de producción de poliolefinas. Tal eficiencia energética se incrementa mediante la transformación de energía térmica desperdiciada de la reacción de polimerización en energía usando un fluido de trabajo, en el que la energía térmica producida por dicha reacción de polimerización se recupera en dicho fluido de trabajo y dicho fluido de trabajo es además convertido en fase proporcionando de este modo energía en forma de calor y/o electricidad y/o energía mecánica de nuevo al procedimiento de producción de poliolefina. Puede utilizarse una bomba de calor de compresión, una unidad de refrigeración por absorción o un ciclo de Rankine orgánico como se describe anteriormente para dicho procedimiento.

20 En una realización, dicho procedimiento comprende la etapa de: recuperar al menos una parte de la energía térmica producida por dicha reacción de polimerización en un fluido de trabajo, en el que dicho fluido de trabajo se convierte en fase proporcionando de este modo energía en forma de calor en vapor condensado recuperado de una unidad de polimerización produciendo de ese modo vapor.

25 En una realización, la porción de la energía térmica procedente de dicho fluido de enfriamiento se recupera utilizando un ciclo de calor de compresión que comprende poner en contacto térmicamente un fluido de refrigeración de la reacción con el fluido de trabajo evaporando así dicho fluido de trabajo en un gas a través de la absorción de energía térmica, presurizar dicho fluido de trabajo gaseoso, liberar de la entalpía de dicho fluido de trabajo presurizado por condensación de dicho fluido de trabajo, y reducir la presión de dicho fluido de trabajo condensado antes de ponerlo en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicho fluido de enfriamiento.

30 En otra realización, la porción de la energía térmica procedente de dicho fluido de enfriamiento se recupera utilizando un ciclo de potencia, que comprende preferentemente un ciclo de Rankine orgánico: poner en contacto térmicamente un fluido de refrigeración de la reacción con dicho fluido de trabajo, con lo que dicho fluido de trabajo se convierte en un vapor saturado sobrecalentado, expandir dicho vapor sobrecalentado para generar entalpía, condensar dicho vapor y enfriar dicho vapor para convertirse en un líquido saturado, y presurizar dicho fluido de trabajo condensado antes de reciclarlo al poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicho fluido de enfriamiento.

35 La presente invención también proporciona la unidad de producción de poliolefina, que comprende: medios para la alimentación de monómero, un comonómero, diluyente, un catalizador de polimerización y opcionalmente hidrógeno a al menos un reactor de polimerización; un sistema de reactor que comprende al menos un reactor de polimerización que define una trayectoria de flujo para una suspensión de polímero, una o más líneas para la descarga de dicho polímero de suspensión de dicho reactor de polimerización, en el que dicho al menos un reactor de polimerización está acoplado con una unidad de recuperación de calor seleccionada de un bomba de calor de compresión, una unidad de refrigeración por absorción, o un ciclo de Rankine orgánico.

En una realización, dicha unidad de recuperación de calor está acoplada a una unidad de producción de vapor.

45 En otra realización, dicha unidad de recuperación de calor está acoplada a una unidad de producción de electricidad.

En una realización preferida, dicha unidad de producción de poliolefina, comprende:

medios para alimentar monómero, un comonómero, diluyente y opcionalmente hidrógeno a al menos un reactor de polimerización;

medios para alimentar un catalizador de polimerización en dicho al menos un reactor de polimerización,

50 un sistema de reactor que comprende al menos un reactor de polimerización que define una trayectoria de flujo para una suspensión de polímero, constando dicha suspensión esencialmente de al menos un monómero, un comonómero, un catalizador de polimerización, diluyente líquido y partículas de copolímero de olefina sólidas,

una o más líneas para la descarga de dicha suspensión de polímero de dicho reactor de polimerización,

un sistema de recuperación de diluyente/monómero configurado para separar una mayoría del diluyente líquido de la suspensión descargada desde dicho al menos un reactor de polimerización;

5 un sistema de fraccionamiento configurado para procesar una parte del diluyente líquido descargado desde el sistema de recuperación de diluyente/monómero y para proporcionar diluyente líquido recuperado sustancialmente libre de monómero de olefina; y

un sistema de extrusión/descarga que tiene un extrusor/granulador configurado para extrudir y peletizar las partículas de poliolefina recuperados de la suspensión en el sistema de recuperación de diluyente/monómero,

10 en el que dicho al menos un reactor de polimerización está acoplado con una unidad de recuperación de calor seleccionada de una bomba de calor de compresión, una unidad de refrigeración por absorción o un ciclo de potencia configurado para recuperar la energía térmica. En una realización, dicha unidad de recuperación de calor está acoplada a una unidad de producción de vapor. La unidad de recuperación de calor típicamente incluye un condensador y un evaporador dispuesto en un circuito. La unidad de refrigeración de absorción comprende típicamente uno o más circuitos de refrigeración, que comprenden
15 cada uno un generador, un condensador y un evaporador, en asociación con una válvula de expansión.

La bomba de calor de compresión comprende típicamente uno o más circuitos de refrigeración, que comprende cada uno un condensador y un evaporador, en asociación con un compresor y una válvula de expansión. En una realización, dicha bomba de calor de compresión está acoplada además a una unidad de producción de vapor, en el que una línea de condensado de vapor está configurada para estar en contacto térmico con un fluido de trabajo en dicho condensador, convirtiendo de este modo dicho condensado en vapor. En una realización, un compresor está acoplado además a dicha bomba de calor de compresión. Por ejemplo, en un procedimiento de recuperación de energía térmica en vapor a baja presión, si se desea una alta presión, puede utilizarse un segundo compresor. El vapor se genera primero a baja presión usando una bomba de calor de compresión, y la presión deseada se alcanza a continuación mediante la compresión del vapor con dicho segundo compresor.

25 La figura 1 representa un solo reactor de bucle 1 que está conectado operativamente a una bomba de calor de compresión 101, de acuerdo con una realización de la invención. El reactor de bucle único 1 comprende unas tuberías interconectadas 7. Se entenderá que aunque el reactor de bucle 1 se ilustra con dos tuberías verticales 7, dicho reactor de bucle 1 puede estar equipado con más tuberías, tales como cuatro o más tuberías, por ejemplo seis tuberías verticales, por ejemplo entre 4 y 20 tuberías verticales. Las secciones verticales de los segmentos de tubería 7 están equipadas con camisas de calor 9. El calor de polimerización se extrae por medio de agua de refrigeración que circula en estas camisas 9 del reactor 1.

Reactivos tales como diluyente, monómero, comonómeros opcionales y aditivos de reacción pueden ser introducidos en el reactor 1 por la línea 3. El catalizador, opcionalmente en combinación con un cocatalizador o agente de activación, puede ser inyectado en el reactor.

35 La suspensión de polimerización se hace circular direccionalmente en todo el reactor de bucle 1, como se ilustra por las flechas 6 mediante una o más bombas, tales como la bomba de flujo axial 2. La bomba puede ser alimentada por un motor eléctrico 5. Tal como se utiliza en la presente memoria, el término "bomba" incluye cualquier dispositivo de compresión de conducción, elevando la presión de un fluido, por medio, por ejemplo, de un pistón o un conjunto de impulsores giratorios 4.

40 El reactor 1 puede estar provisto además de una o más patas de sedimentación (no mostradas) para la descarga de la suspensión de polímero en una zona de recuperación de producto 8.

Las patas de sedimentación pueden estar provistas de válvulas de expulsión o descarga de productos. Las válvulas de descarga pueden ser cualquier tipo de válvula, que puede permitir la descarga continua o periódica de la suspensión de polímero, cuando está totalmente abierta. Una válvula de ángulo o válvulas de bola pueden ser utilizadas adecuadamente. Por ejemplo, la válvula puede tener una estructura tal que la materia sólida se evita que se acumule o se precipite en la porción de cuerpo principal de la válvula. Sin embargo, el tipo y la estructura de la válvula de descarga se pueden seleccionar por los expertos en la técnica según sea necesario. Una parte o la totalidad de la pata se descarga en cada apertura de la válvula de descarga. La suspensión de polímero sedimentado en las patas de sedimentación se puede retirar por medio de una o más líneas de recuperación de producto, por ejemplo, en la zona de recuperación de producto 8.

La suspensión de polímero sedimentado puede descargarse continua o periódicamente desde el reactor de bucle 1 en dicha zona de recuperación de producto 8. Como se usa en la presente memoria, "zona de recuperación de producto" incluye pero no se limita a las líneas de evaporación climatizadas con calefacción o no, tanque de expansión, ciclones, filtros y los sistemas de recuperación de vapores asociados y de recuperación de sólidos o líneas de transferencia a otro reactor o dicho otro reactor cuando varios reactores están conectados en serie.

55 Cuando no hay ningún reactor presente aguas abajo de dichas patas de sedimentación, la suspensión extraída puede ser despresurizada y transferida a través de, por ejemplo, líneas de evaporación calentadas o no calentadas

a un depósito de evaporación rápida, donde se separan el polímero y el monómero sin reaccionar y/o el comonomero y el diluyente. La desgasificación del polímero puede completarse además en una columna de purga.

5 Cuando al menos un reactor está presente aguas abajo de dichas patas de sedimentación, la suspensión extraída se transfiere a través de líneas de transferencia conectadas a dichas patas de sedimentación al siguiente reactor. La transferencia se hace posible inyectando la suspensión en el reactor aguas abajo en un punto donde la presión es más baja que la presión en la salida de las patas de sedimentación.

La presente invención abarca reactores de bucle individuales o más conectados térmicamente a unas unidades de recuperación de calor de acuerdo con la presente invención, que pueden utilizarse en paralelo o en serie.

10 Las secciones verticales de los segmentos de tubería 7 están equipadas con camisas de calor 9. El calor de polimerización se extrae por medio de agua de refrigeración que circula en estas camisas 9. El agua de refrigeración 120 circula desde el conducto 12 en la camisa 9 de una tubería vertical 7 y circula 10 a través de la siguiente camisa 9 del reactor a través de la interconexión de la tubería 11. El agua de refrigeración 130 sale de la camisa del reactor a través del tubo 13. El agua de refrigeración 130 se hace circular también en una unidad de intercambio de calor en contacto térmico con el evaporador 15 de una bomba de calor de compresión 101, en el que la energía térmica del
15 agua de refrigeración se retira a través de un fluido de trabajo y el agua 120 enfriada se devuelve al reactor a través de las líneas 12. La bomba de calor de compresión 101 incluye, típicamente, un condensador 19 y un evaporador 15 dispuesto en un circuito. La transferencia de energía se proporciona a través de un fluido de trabajo que fluye en un circuito cerrado. Un compresor 17 extrae los vapores sobrecalentados 16 del fluido de trabajo que sale del evaporador 15 y los comprime 18 para descargarlos en el condensador 19. Los gases comprimidos 18 se enfrían y
20 luego pasan al estado líquido en el condensador 19. Este es un intercambiador de calor del tipo de superficie con la circulación del fluido de trabajo para ser condensado en un lado y el fluido de transferencia de calor a ser vaporizado (agua condensada), por el otro. Dicho condensador 19 condensa el fluido de trabajo extrayendo el calor del fluido de transferencia de calor 23 que se evapora 26. El fluido de trabajo 20 que sale del condensador 19 está saturando. El fluido de trabajo licuado 20 se expande 22 mediante una válvula de expansión 21: El fluido de trabajo expandido 22
25 que entra en el evaporador 15 es una mezcla de líquido y vapor. La evaporación se realiza a la temperatura de vaporización correspondiente a la presión de evaporación del fluido de trabajo. El fluido de trabajo se toma desde el agua de refrigeración 130 del reactor 1, el calor que dicha agua de refrigeración se ha absorbido, mientras se enfría dicho reactor 1. El agua de refrigeración del reactor en el evaporador 15 se enfría 120 y proporciona la energía que contiene, por evaporación del fluido de trabajo hasta que se sobrecalienta 16. El fluido de trabajo supercalentado 16 se recicla de nuevo al condensador 19 como un fluido de trabajo comprimido 18 por el compresor 17.

30 En una realización que se ilustra en la figura 2, el vapor generado en el intercambiador 19 puede ser comprimido adicionalmente por un compresor 47. Esta etapa de compresión de vapor requiere muy poca energía, pero el aumento de la temperatura inducida por la compresión aumenta mucho el potencial de la utilización de vapor 44. El condensador 19 es donde se produce el intercambio de calor entre el fluido de trabajo de n-pentano y el condensado (vapor 40) a evaporar. La corriente 41 obtenida puede contener una fracción de agua líquida, en caso de que el líquido y el vapor puedan separarse por medio de un dispositivo de evaporación 46 opcional antes de enviar el vapor 42 al compresor 47. El líquido se recupera en el vapor 43 y el compresor de salida de vapor comprimido 47 en el vapor 44.

40 En una realización que se ilustra en la figura 3, una unidad de producción de vapor está acoplada además a la bomba de calor de compresión 101. En el condensador 19 la circulación del fluido de trabajo a condensar se realiza en un lado y el fluido de transferencia de calor (aquí un condensado de vapor) 23 a vaporizar pasa al otro lado. El condensador 19 condensa el fluido de trabajo que transfiere su calor al condensado de vapor 23 que se evapora 26 en vapor. Dicho vapor de agua 26 se transporta a continuación, para su uso en la unidad/proceso de polimerización 50. El vapor de agua una vez utilizado 51 se recupera en un recipiente 52 como condensado de vapor 23 en el que se recicla en vapor utilizando la bomba de calor de compresión acoplada a dicho reactor de polimerización. Preferentemente, dicho vapor es vapor a baja presión y dicho condensado es condensado de vapor a baja presión. El fluido de trabajo licuado 20 se expande 22 en la válvula de expansión 21. El fluido de trabajo expandido 22 entra en el evaporador 15 en el que se vaporiza 16 por la transferencia de energía del calor del agua de refrigeración 130 que viene del reactor, enfriándose así 120 dicha agua de refrigeración. El fluido de trabajo sobrecalentado 16 se
50 comprime 18 entonces mediante el compresor 17 y después se condensa 20 en el condensador 19, en el que la entalpía absorbida se libera convirtiendo el condensado de vapor 23 en vapor 26.

55 En una realización que se ilustra en la figura 4, un solo reactor de bucle 100 está conectado operativamente a una unidad de producción de electricidad 60. El reactor de bucle único 100 comprende unas tuberías interconectadas 7. Las secciones verticales de los segmentos de tubería 7 están equipadas con camisas de calor 9. El calor de polimerización se extrae por medio de agua de refrigeración que circula en estas camisas 9 del reactor 1. Los reactivos pueden ser introducidos en el reactor 1 por la línea 3. La suspensión de polimerización se hace circular direccionalmente 6 en todo el reactor de bucle 1 mediante una bomba 2 que comprende un conjunto de propulsores giratorios 4 accionados por un motor 5. El reactor 1 puede estar provisto además de una o más patas de sedimentación (no mostradas) para la descarga de la suspensión de polímero a una zona de recuperación de
60 producto 8.

Las tuberías 7 están equipadas con camisas de calor 9. El calor de polimerización se extrae por medio de agua de refrigeración 120 que circula en estas camisas 9. El agua de refrigeración 120 circula desde la tubería 12 a la camisa 9 de una tubería vertical 7 y circula 10 a través de la siguiente camisa 9 del reactor a través de la interconexión de la tubería 11. El agua de refrigeración 130 sale de la camisa del reactor a través de la tubería 13. En esta realización, el reactor de polimerización 100 está acoplado a la unidad de producción de electricidad 60. Esta unidad de electricidad 60 se basa en el principio de ciclo de Rankine orgánico. En el intercambiador de calor 61, el fluido de trabajo 68 se vaporiza con la ayuda de la energía llevada por el agua de refrigeración 130 del reactor 100. El refrigerante del reactor 130 es entonces enfriado 120, y enviado de vuelta al reactor 100 para la refrigeración del reactor. El fluido de trabajo 62 entonces se vaporiza en una turbina 63, suministrando en este equipo energía mecánica 70, que se convierte en energía eléctrica en el generador 69. La electricidad generada puede ser transmitida para su uso en la unidad/proceso de polimerización (no mostrado). Alternativamente, la turbina 63 puede estar acoplada directamente a una máquina rotativa de la unidad de polimerización (no mostrada), para el uso directo de la potencia mecánica suministrada. El condensador 65 condensa el fluido de trabajo 64, que transfiere su calor al agua de refrigeración. El fluido de trabajo 66, ahora en estado líquido, se bombea también mediante la bomba 67 al evaporador 61.

Aunque la invención ha sido descrita en términos de la realización actualmente preferida, son posibles variaciones y modificaciones razonables por los expertos en la técnica, y tales variaciones están dentro del alcance de la invención descrita y de las reivindicaciones adjuntas.

La presente invención se puede ilustrar adicionalmente mediante los siguientes ejemplos de realizaciones preferidas de la misma, aunque se entiende que estos ejemplos se incluyen meramente con fines de ilustración y no tienen la intención de limitar el alcance de la invención, a menos que se indique específicamente lo contrario.

Ejemplos

Ejemplo 1

Este ejemplo describe el uso de bombas de calor de compresión en una unidad de PE (polietileno) para la recuperación de la energía perdida en el procedimiento y el uso de esta energía para la producción de vapor a baja presión en otra realización de la presente invención.

La recuperación del calor del agua de refrigeración se estudió usando bombas de calor de compresión como unidades de refrigeración.

El contenido de energía del agua de refrigeración es grande en exceso. El presente ejemplo ilustra el uso del agua de refrigeración de una reacción en bucle como fuente fría (alrededor de 75°C) en una bomba de calor de compresión, en el que la energía térmica del agua se utiliza para generar vapor de baja presión (alrededor de 125°C). Se utilizó un ciclo con n-pentano como fluido térmico. La eficiencia energética se determinó a partir de la relación de la cantidad de calor producida a la energía eléctrica consumida. Esta relación es el coeficiente de rendimiento (COP). El coeficiente de rendimiento (COP) depende de: la temperatura de la fuente de calor y del sistema de distribución de calor, en el consumo de energía auxiliar (bombas), en la eficiencia nominal de la bomba y en el dimensionamiento de cada bomba de calor, en lo que respecta a las condiciones de demanda y de funcionamiento.

Se simuló el ciclo cerrado de una bomba de calor mecánica con un software de ingeniería de procedimientos, con 1 t/h de n-pentano como fluido de transferencia de calor. Una bomba de calor de compresión 101 esquemática utilizada en este ejemplo se ilustra en la figura 1. El fluido de trabajo a una presión P28 y a una temperatura T28 se comprime a una presión P29 y a una temperatura T29 mediante un compresor 17. El fluido a presión se condensa a continuación en un condensador 19 y sale de dicho condensador 19 a una temperatura T30 y a una presión P30 (= P29). El fluido de trabajo condensado se expande a continuación a una presión P30 y a una temperatura T30 utilizando una válvula de expansión 35 y se vaporiza además a una temperatura T30 (T28) y a una presión P32 en un evaporador 21 usando la energía térmica del agua de refrigeración (agua de refrigeración que llega desde línea 13 que está en contacto térmico con el evaporador 15, retirándose la energía térmica del agua de refrigeración a través de dicho fluido de trabajo y se enfría el agua que se devuelve al reactor a través de las líneas 12). El fluido de trabajo se comprime aún más usando el compresor 17, y así sucesivamente. Los resultados del experimento se muestran en la Tabla 1, en la que IT (baja temperatura) corresponde a la temperatura T28, T31 y T32 del fluido de trabajo de n-pentano (temperaturas en fase 28, 31 y 32 en la figura 1), en el que hT (alta temperatura) corresponde a la temperatura T29 y T30 del fluido de trabajo de n-pentano (temperaturas en fase 29 y 30 en la figura 1), en el que IP (baja presión) corresponde a la presión P28, P31 y P32 del n-pentano y hP (alta presión) corresponde con la presión P29 y P30.

55

Tabla 1

IP (bar)	hP (bar)	hP/IP	IT (°C)	hT (°C)	hT-IT	Qevap (kW)	W (kW)	Qrec (kW)	COP = Qrec/W
3	11,1	3,7	72,4	130,2	57,8	42,74	16,31	62,42	3,83
3	12	4,0	72,4	134,3	61,9	42,54	17,06	59,6	3,49
2,452	12,261	5,0	65	135,4	70,4	38,16	19,43	57,59	2,96

5 La relación hP/IP es la relación de compresión del compresor 17. Qevap es la entrada de calor (mediante la refrigeración del agua) al evaporador 15, Qrec es el calor suministrado por la bomba de calor al condensado a vaporizar, y W el trabajo realizado por el compresor 17 (operación isentrópica, con un rendimiento isoentrópico $\eta = 72\%$). El COP es entonces igual a $Qrec/W$. La Tabla 1 muestra claramente las variables que determinan principalmente el COP. Una de estas variables es la relación de compresión del COP para varios valores de la presión inicial.

El n-pentano se evapora en un intercambiador de calor utilizando el flujo de agua de refrigeración del reactor (que está a aproximadamente 80°C). El agua de refrigeración es adecuadamente enfriada en el evaporador 15 a 75°C.

10 La energía recuperada se puede utilizar para evaporar el agua de condensación (inicialmente a aproximadamente 70°C) a una presión utilizable estimada inicialmente en aproximadamente 2,3 bar (125°C).

También se ensayó el uso de otros fluidos tales como isobutano y n-butano. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Fluido de trabajo = isobutano								
IP (bar)	hP (bar)	Ph/Pb	IT (°C)	hT (°C)	Qevap (kW)	W (kW)	Qrec (kW)	COP = Qrec / W
9,706	29,117	3	65	122,9	24,1	15,24	39,34	2,58
9,706	31,058	3,2	65	127,5	18,94	16,24	35,18	2,17
Fluido de trabajo = n-butano								
IP (bar)	hP (bar)	Ph/Pb	IT (°C)	hT (°C)	Qevap (kW)	W (kW)	Qrec (kW)	COP = Qrec / W
7,192	25,171	3,5	65	126,9	32,42	18,13	50,55	2,79
7,192	28,767	4	65	134,8	23,17	19,95	43,12	2,16

15 La recuperación del calor del agua de refrigeración de un reactor de bucle utilizando una bomba de calor de compresión de acuerdo con una realización de la presente invención puede permitir la producción de una gran cantidad de vapor a baja presión. El vapor a baja presión producido a continuación se puede utilizar para el calentamiento de etileno y para el reciclaje de los monómeros. El superávit de vapor de baja presión puede comprimirse mediante una MVR (recompresión mecánica de vapor), lo que permitiría producir vapor de alta presión, por ejemplo, a 190°C.

Ejemplo 2

25 Este ejemplo describe el uso de bombas de calor de compresión en una unidad de PE (polietileno) para la recuperación de la energía perdida en el procedimiento y el uso de la energía recuperada de la producción de vapor a baja presión en otra realización de la presente invención.

30 El sistema de refrigeración de un reactor también puede utilizarse para producir vapor de agua a una temperatura más baja (alrededor de 100-110°C) usando una bomba de calor de compresión en la que el vapor producido se vuelve a comprimir a aproximadamente 2,5 bar usando un compresor. La figura 2 representa una bomba de calor de compresión esquemática con recompresión utilizada en este ejemplo. El condensador 19 es donde se produce el intercambio de calor entre el fluido de trabajo de n-pentano y el condensado (corriente 40) a evaporar. La corriente 41 obtenida puede contener una fracción de agua líquida, en caso de que el líquido y el vapor se puedan separar por medio de un dispositivo de vaporización 46 opcional antes de enviar el vapor 42 al compresor 47 con un rendimiento isoentrópico $\eta = 72\%$. El líquido se recupera en la corriente 43 y en el compresor de salida 47 de vapor comprimido en la corriente 44.

35 La cantidad de agua que puede vaporizarse depende de la cantidad de Qrec de calor y la temperatura Th. Como ejemplo, el calor necesario para vaporizar 1 t/h de vapor de agua se considera que $Qrec = 699$ kW. El experimento se realizó en base a la recompresión de 1 t/h de vapor.

Para comparar los COPs totales sin ninguna influencia de la cantidad de agua vaporizada (en el valor de los trabajos

efectuados en el compresor), se dan los resultados de la Tabla 3 con la cantidad de n-pentano necesario para producir 650 kW en el condensador, y las simulaciones de acuerdo con la figura anterior se hicieron con una entrada de calor de $Q_{rec} = 650 \text{ kW}$ y de 1 t/h de vaporizado de agua condensado.

5 Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3, en la que los valores P_i y T_i corresponden a la presión y a la temperatura después de la vaporización del agua, pero antes de la recompresión. T_f corresponde a la temperatura del vapor que se vuelve a comprimir. El valor T_i puede seleccionarse para estar alrededor de 100-120°C, por lo que CP puede ser bastante alto si T_i es de aproximadamente 100°C ($COP > 5$) o puede ser de valor medio ($3 < COP < 5$) si T_i es de aproximadamente 110-120°C.

10

Tabla 3

P_f (bar)	T_f (°C)	W_{recomp} (kW)	COP_{global}
1,02	128,9	16,69	6,93
1,4	129,4	11,46	5,46
1,8	131,9	8,36	4,61
1,35	127,9	11,2	4,65
2	131,3	5,97	3,65

Una bomba de calor, de acuerdo con el ejemplo 1, fue elegida con un T_i de cerca de 100°C y un buen COP (> 5). A continuación, el segundo compresor 47 aumenta la temperatura, y el COP global disminuyó debido al consumo de este compresor. El COP global, para una temperatura final dada, es mayor que en una etapa.

15 **Ejemplo 3**

Este ejemplo describe el uso de un ciclo orgánico de Rankine en una unidad de PE (polietileno) para la recuperación de la energía perdida en el procedimiento y el uso de la energía recuperada de la producción de energía eléctrica en otra realización de la presente invención.

20 El ejemplo se realizó en el agua de refrigeración de un reactor de bucle en el que la energía térmica acumulada por el agua era un entorno de aproximadamente 7,5 MW con una temperatura de salida de aproximadamente de 80 a 85°C. Los experimentos se llevaron a cabo mediante pruebas de tres fluidos de trabajo n-propano, isobutano y amoníaco usando las condiciones que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Simulación	Fluidos	Evaporador		Condensador		Turbina	
		T entrada (°C)	T salida (°C)	T entrada (°C)	T salida (°C)	P entrada (bara)	P salida (bara)
1	NH ₃	40	72,5	39	39	35	15
2	NH ₃	38	76	36,5	36,5	38	14
3	NH ₃	19,4	72,5	18	18	35	8
4	Isobutano	39	79	51,4	38	13	5
5	Isobutano	21	79	40	20	13	3
6	Propano	37	77,4	34,3	34,3	30	12
7	Propano	21	78	18,3	18,3	30	8

25 Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.

30

Tabla 5

Simulación	Flujo de fluido y potencia (para Q evaporador = 7,5 MW)				Flujo de fluido y potencia (para Q evaporador = 3 MW)				Eficiencia
	flujo (t/h)	W bomba (kW)	W turbina (kW)	Cond (kW)	flujo (t/h)	W bomba (kW)	W turbina (kW)	Cond (kW)	η (%)
1	23,4	38	504	7031	9,4	15	202	2812	6,2
2	23	45	583	6961	9,2	18	233	2785	7,2
4	73,4	52	556	6995	29,4	21	222	2798	6,7
6	80,5	137	608	7029	32,2	55	243	2812	6,3

La eficiencia fue definida por: $\eta = (W \text{ turbina} - W \text{ bomba}) / Q \text{ evaporador}$.

La eficiencia medida fue de entre el 6 y el 10%.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de refrigeración de una reacción de polimerización para la producción de poliolefina, que comprende las etapas de:

5 (a) poner en contacto térmicamente dicha reacción de polimerización con agua, de manera que el agua elimine la energía térmica de dicha reacción,

(b) poner en contacto térmicamente dicha agua con un fluido de trabajo, recuperando de esta manera dicha energía térmica a partir de dicha agua en dicho fluido de trabajo,

en el que la etapa (b) comprende:

10 (b1) evaporar dicho fluido de trabajo en un gas a través de la absorción de energía térmica, presurizar dicho fluido de trabajo gaseoso, liberando la entalpía de dicho fluido operante presurizado mediante la condensación de dicho fluido de trabajo, y reduciendo la presión de dicho fluido de trabajo condensado térmicamente antes de poner en contacto dicho fluido de trabajo con dicha agua,

15 o en el que la etapa (b) comprende:

(b2) evaporar dicho fluido de trabajo en un gas a través de la absorción de energía térmica, con lo que dicho fluido de trabajo se convierte en un vapor saturado sobrecalentado, expandiendo dicho vapor sobrecalentado para generar entalpía, y condensar dicho vapor y refrigerar dicho vapor para dar un líquido saturado, y presurizar dicho fluido de trabajo condensado antes de reciclarlo para poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicha agua,

20 y (c) poner en contacto térmicamente el agua obtenida en la etapa (b) con la reacción de polimerización refrigerando de ese modo dicha reacción,

en el que el fluido de trabajo se convierte en fase proporcionando de este modo energía en forma de calor y/o electricidad y/o energía mecánica de retorno al procedimiento de producción de poliolefina, y en el que el fluido de trabajo es seleccionado del grupo que comprende n-pentano, isopentano, n-butano, isobutano, propano, isopropano, y mezclas de los mismos.

25 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el fluido de trabajo se selecciona de isobutano, n-pentano, o propano.

30 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho calor se utiliza para producir vapor, preferentemente vapor a baja presión.

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que, cuando la etapa (b) comprende (b1), dicho vapor es presurizado adicionalmente para aumentar la temperatura.

5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que, cuando la etapa (b) comprende (b1), una porción de la energía térmica a partir de dicha agua se recupera utilizando un ciclo de calor de compresión.

35 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha energía se utiliza para producir electricidad y/o energía mecánica.

7. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 6, en el que, cuando la etapa (b) comprende (b2), una porción de la energía térmica a partir de dicha agua se recupera en un ciclo de potencia, preferentemente un ciclo de Rankine orgánico.

40 8. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la reacción de polimerización se realiza en un reactor y comprende las etapas de

- introducir en dicho reactor uno o más reactivos de olefina, catalizadores de polimerización y diluyentes, y mientras circulan dicho reactivos, catalizadores y diluyentes,

45 - polimerizar dichos uno o más reactivos de olefina para producir una suspensión de polímero que comprende esencialmente diluyente líquido y partículas de polímero de olefina sólidas,

- controlar la temperatura del reactor utilizando el agua y recuperando al menos una porción de la energía térmica a partir de dicha agua mediante el fluido de trabajo en contacto térmico con dicha agua,

- dejar que dicha suspensión de polímero sedimente, y

- descargar la suspensión de polímero sedimentado fuera de dicho reactor.

9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, en el que al menos el 10% de la energía térmica del agua se recupera, preferentemente se recupera al menos el 20%, al menos el 30%, al menos el 40% o al menos el 50% de la energía térmica del agua.

5 10. Procedimiento de optimización de energía del consumo de energía en un proceso de polimerización para la producción de poliolefinas que comprende la etapa de: recuperar al menos una porción de la energía térmica producida por dicha reacción de polimerización en un fluido de trabajo, en el que dicho fluido de trabajo se convierte en fase proporcionando de este modo energía en forma de calor y/o electricidad y/o energía mecánica de nuevo al procedimiento de producción de poliolefina, utilizándose preferentemente dicho calor para producir vapor, en el que una porción de la energía térmica del agua que se utiliza como fluido de refrigeración se recupera mediante un ciclo de calor de compresión, que comprende:

poner en contacto térmicamente dicha agua con dicho fluido de trabajo, evaporando así dicho fluido de trabajo en un gas a través de la absorción de energía térmica,

presurizar dicho fluido de trabajo gaseoso, y

liberar la entalpía de dicho fluido de trabajo presurizado por condensación de dicho fluido de trabajo, y

15 reducir la presión de dicho fluido de trabajo condensado antes de poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicha agua, y en el que el fluido de trabajo se selecciona del grupo que comprende n-pentano, isopentano, n-butano, isobutano, propano, isopropano, y mezclas de los mismos.

20 11. Procedimiento de optimización de energía del consumo de energía en un proceso de polimerización para la producción de poliolefinas que comprende la etapa de: recuperar al menos una porción de la energía térmica producida por dicha reacción de polimerización en un fluido de trabajo, en el que dicho fluido de trabajo se convierte en fase proporcionando de este modo energía en forma de calor y/o electricidad y/o energía mecánica de nuevo al procedimiento de producción de poliolefina, utilizándose preferentemente dicho calor para producir vapor, en el que una porción de la energía térmica del agua, que se utiliza como un fluido de refrigeración, se recupera utilizando un ciclo de potencia, que comprende preferentemente un ciclo de Rankine orgánico:

25 poner en contacto térmicamente dicha agua con dicho fluido de trabajo, con lo que dicho fluido de trabajo se convierte en un vapor saturado sobrecalentado,

expandir dicho vapor sobrecalentado para generar entalpía,

condensar dicho vapor y refrigerar dicho vapor para convertirse en un líquido saturado, y

30 presurizar dicho fluido de trabajo condensado antes de reciclarlo para poner en contacto térmicamente dicho fluido de trabajo con dicha agua, y en el que el fluido de trabajo se selecciona del grupo que comprende n-pentano, isopentano, n-butano, isobutano, propano, isopropano, y mezclas de los mismos.

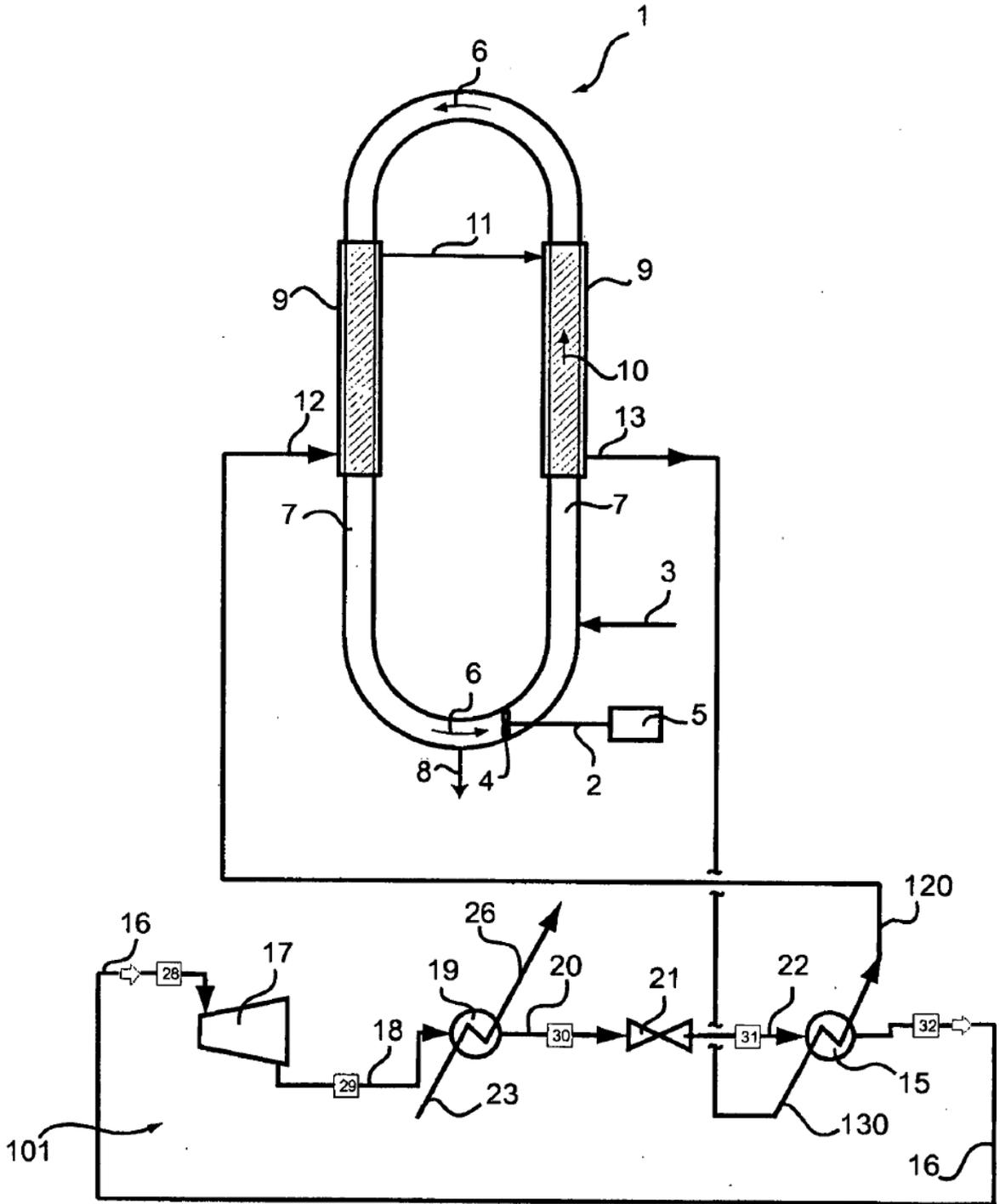


FIG. 1

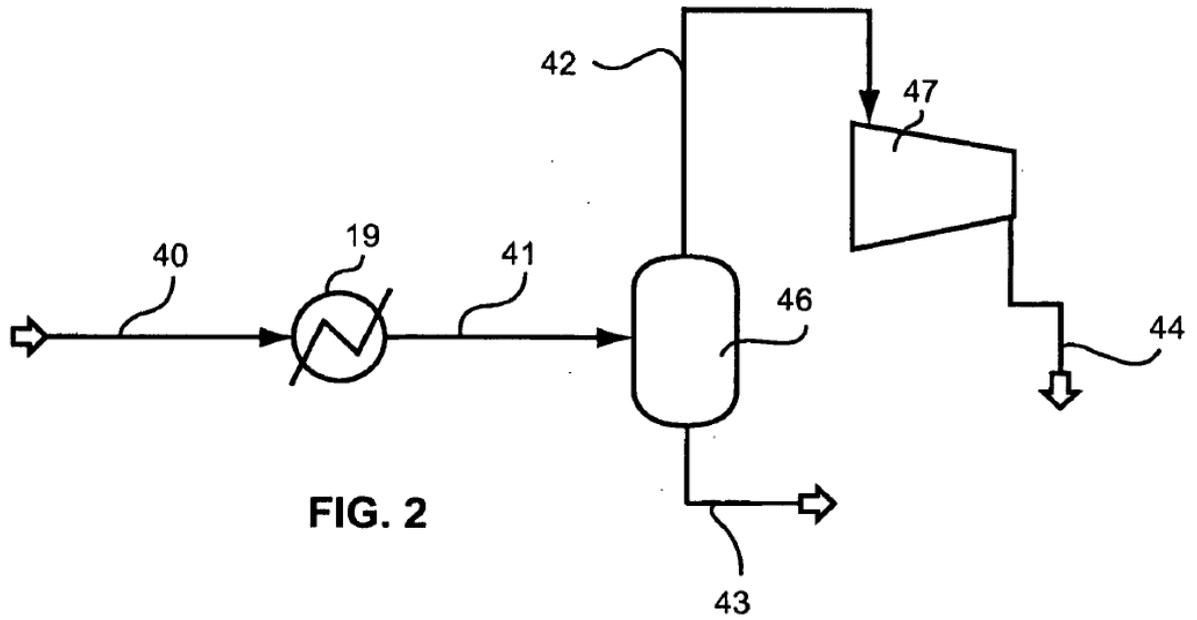


FIG. 2

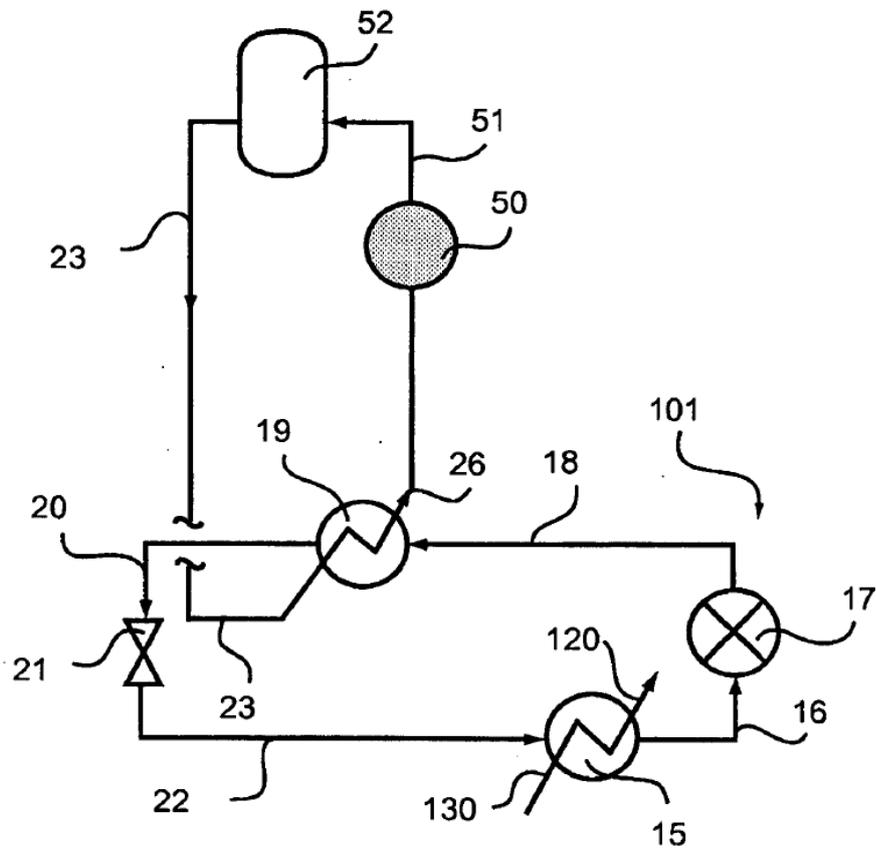


FIG. 3

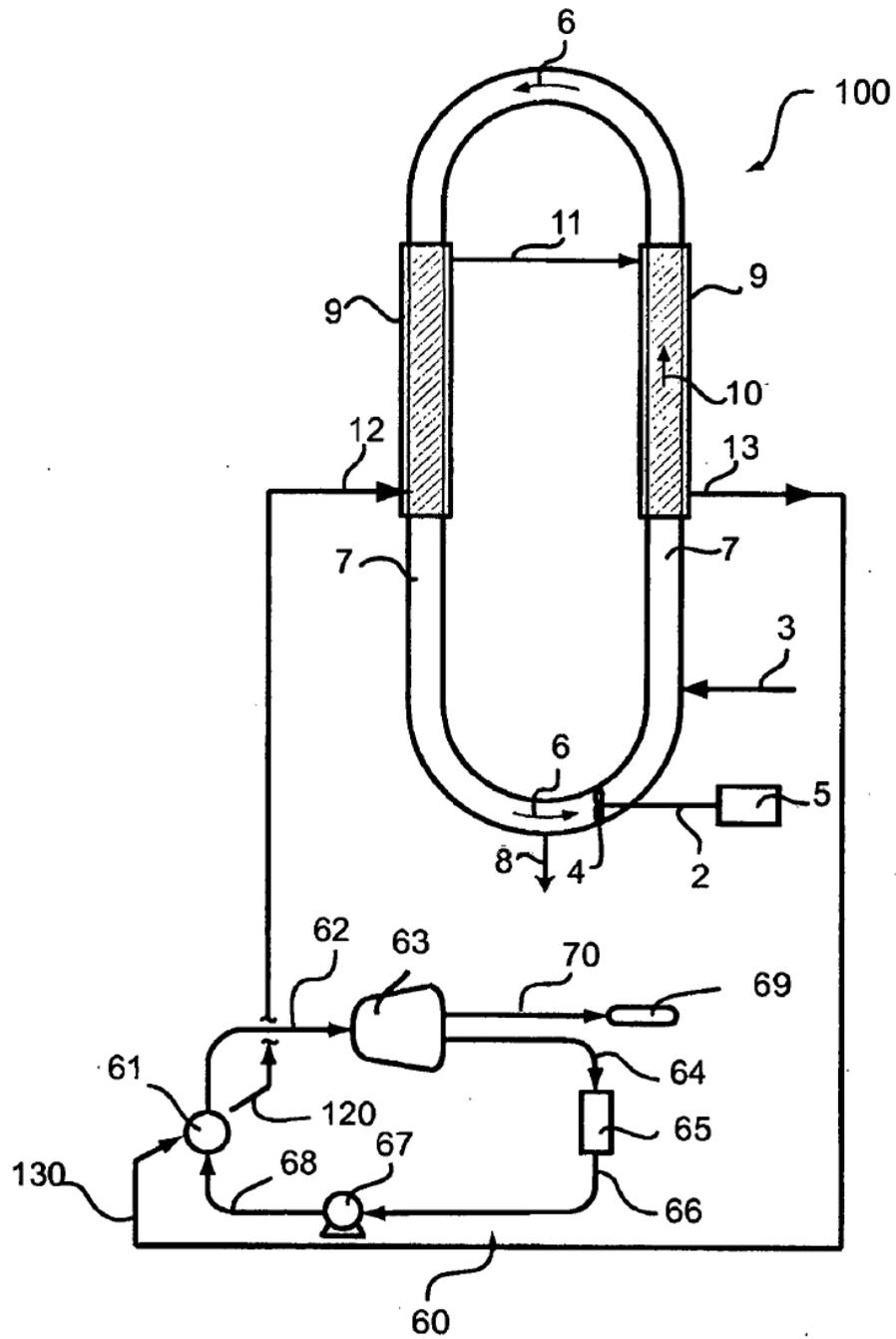


FIG. 4