



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 976 304**

⑮ Int. Cl.:

**F01K 25/00** (2006.01)  
**F01K 7/32** (2006.01)  
**C09K 5/04** (2006.01)  
**F25B 21/02** (2006.01)

⑫

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.10.2015** PCT/US2015/054874

⑰ Fecha y número de publicación internacional: **06.05.2016** WO16069242

⑯ Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2015** E 15794364 (8)

⑯ Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2024** EP 3212901

---

④ Título: **Uso de (2E)-1,1,1,4,5,5,5-heptafluoro-4-(trifluorometil)pent-2-eno en ciclos de potencia**

⑩ Prioridad:

**30.10.2014 US 201462072662 P**

⑬ Titular/es:

**THE CHEMOURS COMPANY FC, LLC (100.0%)**  
1007 Market Street, D7028  
Wilmington, DE 19801, US

⑮ Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.07.2024**

⑭ Inventor/es:

**KONTOMARIS, KONSTANTINOS y**  
**LOUSENBERG, ROBERT D.**

⑭ Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 976 304 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

Uso de (2E)-1,1,1,4,5,5-heptafluoro-4-(trifluorometil)pent-2-eno en ciclos de potencia

### 5 Antecedentes

- Se necesitan fluidos de trabajo con bajo potencial de calentamiento global para ciclos de potencia tales como los ciclos de Rankine orgánicos. Dichos materiales deben tener un bajo impacto ambiental, medido por el potencial de calentamiento global bajo y el potencial de destrucción del ozono bajo.
- 10 El documento US 2010/154419 A1 divulga un ciclo de potencia de absorción en donde un absorbente y un fluido de trabajo que consiste en 1,1,1,4,5,5-heptafluoro-4-(trifluorometil)pent-2-eno se calientan en un intercambiador de calor.
- El documento US 2007/108403 A1 divulga el uso de 1,1,1,4,5,5-heptafluoro-4-(trifluorometil)pent-2-eno como fluido de transferencia de calor en sistemas de refrigeración y bombas de calor.
- 15 El documento US 2013/104548 A1 divulga un método para convertir calor de una fuente de calor en energía mecánica usando una composición de fluido de trabajo que comprende HFC-245eb y opcionalmente Z-HFO-1336mzz.

### Sumario

- 20 La presente invención implica un fluido de trabajo que consiste en (2E)-1,1,1,4,5,5-heptafluoro-4-(trifluorometil)pent-2-eno (en lo sucesivo en el presente documento "HFO-153-10mzzy").
- De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método según la reivindicación 1 para convertir calor de una fuente de calor en energía mecánica. El método comprende calentar un fluido de trabajo utilizando el calor suministrado por la fuente de calor; y expandir el fluido de trabajo calentado para reducir la presión del fluido de trabajo y generar energía mecánica a medida que se reduce la presión del fluido de trabajo. El método se caracteriza por utilizar un fluido de trabajo que consiste en HFO-153-10mzzy.
- 25
- 30 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un aparato de ciclo de potencia que contiene un fluido de trabajo para convertir calor en energía mecánica según la reivindicación 7. El aparato se caracteriza por contener un fluido de trabajo que consiste en HFO-153-10mzzy.

### Breve descripción de los dibujos

- 35 La figura 1 es un diagrama de bloques de una fuente de calor y un sistema de ciclo de potencia (por ejemplo, un sistema de ciclo de Rankine orgánico) en intercambio de calor directo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.
- 40 La figura 2 es un diagrama de bloques de una fuente de calor y un sistema de ciclo de potencia (por ejemplo, un sistema de ciclo de Rankine orgánico) que utiliza una configuración de circuito secundario para proporcionar calor desde una fuente de calor a un intercambiador de calor para convertirlo en energía mecánica de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

### 45 Descripción detallada

- 45 Antes de abordar los detalles de las realizaciones que se describen a continuación, se definen o aclaran algunos términos.
- 50 El potencial de calentamiento global ("global warming potential", GWP) es un índice para calcular la contribución relativa al calentamiento global debido a la emisión atmosférica de un kilogramo de un gas de efecto invernadero concreto en comparación con la emisión de un kilogramo de dióxido de carbono. El GWP se puede calcular para diferentes horizontes de tiempo que muestran el efecto del tiempo de vida atmosférico para un gas determinado. El GWP para el horizonte de tiempo de 100 años es comúnmente el valor referenciado.
- 55 La potencia neta de salida del ciclo es la tasa de generación de trabajo mecánico en un expansor (por ejemplo, una turbina) menos la tasa de trabajo mecánico consumido por un compresor (por ejemplo, una bomba de líquido).
- 60 La capacidad volumétrica para la generación de energía es la potencia neta de salida del ciclo por unidad de volumen de fluido de trabajo (medido en las condiciones en la salida del expansor) que circula a través del ciclo de potencia (por ejemplo, ciclo de Rankine orgánico).
- 65 La eficiencia del ciclo (también conocida como eficiencia térmica) es la potencia neta de salida del ciclo dividida por la tasa a la que el fluido de trabajo recibe calor durante la etapa de calentamiento de un ciclo de potencia (por ejemplo, ciclo de Rankine orgánico).
- 65 El subenfriamiento es la reducción de la temperatura de un líquido por debajo del punto de saturación de ese líquido

para una presión determinada. El punto de saturación es la temperatura a la que una composición de vapor se condensa totalmente en un líquido (también conocido como punto de burbuja). Pero el subenfriamiento continúa enfriando el líquido a una temperatura más baja a la presión dada. La cantidad de subenfriamiento es la cantidad de enfriamiento por debajo de la temperatura de saturación (en grados) o cuánto por debajo de su temperatura de saturación se enfriá una composición líquida.

5 El término "sobrecalentamiento" es un término que define hasta qué punto se calienta una composición de vapor por encima de la temperatura de saturación del vapor de la composición de vapor. La temperatura de saturación del vapor es la temperatura a la que, si se enfriá una composición de vapor, se forma la primera gota de líquido, también conocida 10 como el "punto de rocío".

15 Tal como se usa en el presente documento, los términos y expresiones "comprende", "que comprende", "incluye", "que incluye", "tiene", "que tiene" o cualquier otra variación de los mismos, tienen por objeto cubrir una inclusión no exclusiva. Por ejemplo, una composición, proceso, método, artículo o aparato que comprende una lista de elementos 20 no se limita necesariamente solo a aquellos elementos, sino que puede incluir otros elementos no enumerados expresamente o inherentes a tal composición, proceso, método, artículo o aparato.

25 La expresión de transición "que consiste en" excluye cualquier elemento, etapa o ingrediente no especificado. Si está en la reivindicación, restringirá la inclusión en la reivindicación de materiales distintos a los citados, excepto para las impurezas comúnmente asociadas a los mismos. Cuando la expresión "consiste en" aparece en una cláusula del cuerpo de una reivindicación, en lugar de seguir inmediatamente al preámbulo, limita solo el elemento expuesto en dicha cláusula; otros elementos no se excluyen de la reivindicación en su conjunto.

30 La expresión de transición "que consiste esencialmente en" se usa para definir una composición, método o aparato que incluye materiales, etapas, características, componentes o elementos, además de los desvelados literalmente, siempre que estos materiales adicionales incluyan, etapas, características, componentes o elementos que no afecten materialmente a la una o más características básicas y novedosas de la invención reivindicada. La expresión "que consiste esencialmente en" ocupa un término medio entre "que comprende" y "que consiste en".

35 Igualmente, el uso de "un" o "una" se emplea para describir elementos y componentes descritos en el presente documento. Esto se hace simplemente por conveniencia y para proporcionar un sentido general del alcance de la invención. Esta descripción debe leerse como que incluye uno o al menos uno y el singular también incluye el plural a menos que sea obvio que se entiende lo contrario.

40 45 A menos que se defina lo contrario, todos los términos técnicos y científicos usados en el presente documento tienen el mismo significado que entiende comúnmente un experto en la técnica a la que pertenece esta invención. Aunque en la práctica o el ensayo de realizaciones de la invención se pueden utilizar métodos y materiales similares o equivalentes a los que se describen en el presente documento, a continuación se describen métodos y materiales adecuados. Todas las publicaciones, solicitudes de patente, patentes y otras referencias mencionadas en el presente documento se incorporan por referencia en su totalidad, a menos que se cite un pasaje en particular. En caso de conflicto, la presente memoria descriptiva, incluyendo las definiciones, prevalecerá. Adicionalmente, los materiales, métodos y ejemplos son únicamente ilustrativos y no se pretende que sean limitantes.

50 El HFO-153-10mzzy, (2E)-1,1,1,4,5,5-heptafluoro-4-(trifluorometil)pent-2-eno, se puede preparar mediante deshidroyodación del 1,1,1,2,5,5-heptafluoro-2-(trifluorometil)-4-yodopentano tal como se describe en la publicación de patente de Estados Unidos n.º 8148584.

#### **Métodos de ciclo de potencia**

55 60 Un ciclo de potencia o ciclo de Rankine orgánico ("organic Rankine cycle", ORC) subcrítico se define como un ciclo de Rankine en el que un fluido de trabajo orgánico utilizado en el ciclo recibe calor a una presión inferior a la presión crítica del fluido de trabajo orgánico y el fluido de trabajo permanece por debajo de su presión crítica a lo largo de todo el ciclo.

65 Un ciclo de potencia transcrítico se define como un ciclo de potencia similar a un ciclo de Rankine excepto por que el fluido de trabajo orgánico utilizado en el ciclo recibe calor a una presión superior a la presión crítica del fluido de trabajo orgánico. En un ciclo transcrítico, el fluido de trabajo no está a una presión superior a su presión crítica durante todo el ciclo.

65 Un ciclo de potencia supercrítico se define como un ciclo de potencia que funciona a presiones superiores a la presión crítica de un fluido de trabajo orgánico utilizado en el ciclo y comprende las siguientes etapas: compresión; calentamiento; expansión; enfriamiento.

70 Se proporciona un método para convertir calor de una fuente de calor en energía mecánica. El método comprende: calentar un fluido de trabajo que consiste en HFO-153-10mzzy usando el calor suministrado desde la fuente de calor; y expandir el fluido de trabajo calentado para reducir la presión del fluido de trabajo y generar energía mecánica a

medida que se reduce la presión del fluido de trabajo.

El método de esta invención se usa normalmente en un ciclo de potencia similar a un ciclo de potencia de Rankine orgánico excepto por que la absorción de calor por el fluido de trabajo podría ocurrir mediante evaporación (es decir, como en el ciclo de Rankine clásico) o mediante el calentamiento sensible del fluido de trabajo a una presión superior a su presión crítica. (En este documento, la expresión "ciclo de Rankine" puede referirse a ciclos de potencia que no implican un cambio de fase del fluido de trabajo). El calor disponible a temperaturas relativamente bajas en comparación con los ciclos de potencia de vapor (inorgánicos) se puede usar para generar energía mecánica a través de ciclos de Rankine usando fluidos de trabajo que consisten en HFO-153-10mzzy. En el método de la presente invención, el fluido de trabajo que consiste en HFO-153-10mzzy se comprime antes de calentarlo. La compresión se puede proporcionar mediante una bomba que bombea fluido de trabajo líquido hasta una unidad de transferencia de calor (por ejemplo, un intercambiador de calor o un evaporador) donde el calor de la fuente de calor se usa para calentar el fluido de trabajo. A continuación, el fluido de trabajo calentado se expande, disminuyendo su presión. La energía mecánica se genera durante la expansión del fluido de trabajo usando un expansor. Los ejemplos de expansores incluyen turboexpansores o expansores dinámicos, tales como turbinas, y expansores de desplazamiento positivo, tales como expansores de tornillo, expansores de espiral y expansores de pistón. Los ejemplos de expansores también incluyen expansores de paletas rotatorias (Musthafah b. Mohd. Tahir, Noboru Yamada y Tetsuya Hoshino, *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2:1 2010).

La energía mecánica puede usarse directamente (por ejemplo, para accionar un compresor) o puede convertirse en energía eléctrica a través del uso de generadores de energía eléctrica. En un ciclo de potencia donde el fluido de trabajo se reutiliza, el fluido de trabajo expandido se enfriá. El enfriamiento puede conseguirse en una unidad de refrigeración del fluido de trabajo (por ejemplo, un intercambiador de calor o un condensador). El fluido de trabajo enfriado puede usarse para ciclos repetidos (es decir, compresión, calentamiento, expansión, etc.). La misma bomba que se usa para la compresión puede usarse para transferir el fluido de trabajo desde la fase de enfriamiento.

Son de destacar los métodos para convertir el calor de una fuente de calor en energía mecánica en donde el fluido de trabajo consiste en HFO-153-10mzzy. El HFO-153-10mzzy satisface la necesidad de un fluido de trabajo de un ciclo de potencia con un GWP reducido. Son deseables composiciones no inflamables para su uso en ciclos de potencia.

De manera adicional, en otra realización, los ciclos de potencia que funcionan con HFO-153-10mzzy tendrán presiones de vapor por debajo del umbral que requiere el cumplimiento de las disposiciones del Código ASME para calderas y recipientes a presión. Tales composiciones son deseables para su uso en ciclos de potencia.

En una realización, la presente invención se refiere a un método para convertir calor de una fuente de calor en energía mecánica utilizando un ciclo subcrítico. Este método comprende las siguientes etapas: (a) comprimir un fluido de trabajo líquido a una presión por debajo de su presión crítica; (b) calentar el fluido de trabajo comprimido procedente de (a) usando el calor suministrado por la fuente de calor para formar un fluido de trabajo de vapor; (c) expandir el fluido de trabajo de vapor procedente de (b) para reducir la presión del fluido de trabajo y generar energía mecánica; (d) enfriar el fluido de trabajo expandido procedente de (c) para formar un fluido de trabajo líquido enfriado; y (e) ciclar el fluido de trabajo líquido enfriado procedente de (d) a (a) para la compresión.

Las realizaciones que incluyen el uso de uno o más intercambiadores de calor internos (por ejemplo, un recuperador) y/o el uso de más de un ciclo en un sistema en cascada pretenden estar dentro del alcance de los ciclos de potencia ORC subcríticos de la presente invención.

En una realización, la presente invención se refiere a un método para convertir calor de una fuente de calor en energía mecánica utilizando un ciclo transcrítico. Este método comprende las siguientes etapas: (a) comprimir un fluido de trabajo líquido por encima de la presión crítica de dicho fluido de trabajo; (b) calentar el fluido de trabajo comprimido procedente de (a) usando el calor suministrado por la fuente de calor; (c) expandir el fluido de trabajo calentado procedente (b) para reducir la presión del fluido de trabajo por debajo de su presión crítica y generar energía mecánica; (d) enfriar el fluido de trabajo expandido procedente de (c) para formar un fluido de trabajo líquido enfriado; y (e) ciclar el fluido de trabajo líquido enfriado procedente de (d) a (a) para la compresión.

En la primera etapa del sistema de ciclo de potencia transcrítico, descrito anteriormente, el fluido de trabajo en fase líquida que consiste en HFO-153-10mzzy se comprime por encima de su presión crítica. En una segunda etapa, dicho fluido de trabajo se hace pasar a través de un intercambiador de calor para ser calentado a una temperatura más alta antes de que el fluido entre en el expansor, en donde el intercambiador de calor está en comunicación térmica con dicha fuente de calor. El intercambiador de calor recibe energía térmica de la fuente de calor por cualquier medio conocido de transferencia térmica. El fluido de trabajo del sistema ORC circula a través del intercambiador de calor de suministro de calor donde el fluido adquiere calor.

En la etapa siguiente, al menos una parte del fluido de trabajo calentado se extrae del intercambiador de calor y se dirige al expansor donde el proceso de expansión da como resultado la conversión de al menos una parte del contenido de energía térmica del fluido de trabajo en energía mecánica, tal como la energía del eje. La energía mecánica, por ejemplo la energía del eje, se puede usar para realizar cualquier trabajo mecánico empleando disposiciones

- convencionales de correas, poleas, engranajes, transmisiones o dispositivos similares dependiendo de la velocidad deseada y el par requerido. En una realización, el eje se puede conectar a un dispositivo generador de energía eléctrica tal como un generador de inducción. La electricidad producida se puede utilizar localmente o se puede suministrar a una red regional. La presión del fluido de trabajo se reduce por debajo de la presión crítica del fluido de trabajo, produciendo así el fluido de trabajo en fase de vapor.
- En la etapa siguiente, el fluido de trabajo se hace pasar del expansor a un condensador, en donde el fluido de trabajo en fase de vapor se condensa para producir un fluido de trabajo en fase líquida. Las etapas anteriores forman un sistema de circuito y se pueden repetir muchas veces.
- Las realizaciones que incluyen el uso de uno o más intercambiadores de calor internos (por ejemplo, un recuperador) y/o el uso de más de un ciclo en un sistema en cascada pretenden estar dentro del alcance de los ciclos de potencia ORC transcríticos de la presente invención.
- De manera adicional, para un ciclo de potencia transcrítico, hay varios modos diferentes de funcionamiento.
- En un modo de funcionamiento, en la primera etapa de un ciclo de potencia transcrítico, el fluido de trabajo se comprime por encima de la presión crítica del fluido de trabajo sustancialmente de forma isoentrópica. En la etapa siguiente, el fluido de trabajo se calienta bajo una condición de presión sustancialmente constante (isobárica) por encima de su temperatura crítica. En la etapa siguiente, el fluido de trabajo se expande sustancialmente de forma isoentrópica a una temperatura que mantiene el fluido de trabajo en la fase de vapor. Al final de la expansión, el fluido de trabajo es un vapor sobrecalentado a una temperatura por debajo de su temperatura crítica. En la última etapa de este ciclo, el fluido de trabajo se enfriá y se condensa mientras que el calor se transfiere a un medio de enfriamiento. Durante esta etapa, el fluido de trabajo se condensa a un líquido. El fluido de trabajo puede subenfriarse al final de esta etapa de enfriamiento.
- En otro modo de funcionamiento de un ciclo de potencia ORC transcrítico, en la primera etapa, el fluido de trabajo se comprime por encima de la presión crítica del fluido de trabajo, sustancialmente de forma isoentrópica. En la siguiente etapa, el fluido de trabajo se calienta bajo una condición de presión sustancialmente constante por encima de su temperatura crítica, pero solo hasta tal punto de que, en la siguiente etapa, cuando el fluido de trabajo se expande sustancialmente de forma isoentrópica y su temperatura se reduce, el fluido de trabajo es lo suficientemente próximo a un vapor saturado como para que pueda producirse una condensación parcial o nebulización del fluido de trabajo. Al final de esta etapa, sin embargo, el fluido de trabajo sigue siendo un vapor ligeramente sobrecalentado. En la última etapa, el fluido de trabajo se enfriá y se condensa mientras que el calor se transfiere a un medio de enfriamiento. Durante esta etapa, el fluido de trabajo se condensa a un líquido. El fluido de trabajo podría subenfriarse al final de esta etapa de enfriamiento/condensación.
- En otro modo de funcionamiento de un ciclo de potencia ORC transcrítico, en la primera etapa, el fluido de trabajo se comprime por encima de la presión crítica del fluido de trabajo, sustancialmente de forma isoentrópica. En la etapa siguiente, el fluido de trabajo se calienta bajo una condición de presión sustancialmente constante a una temperatura por debajo o solo ligeramente por encima de su temperatura crítica. En esta fase, la temperatura del fluido de trabajo es tal que cuando el fluido de trabajo se expande sustancialmente de forma isoentrópica en la siguiente etapa, el fluido de trabajo está parcialmente condensado. En la última etapa, el fluido de trabajo se enfriá y se condensa por completo y el calor se transfiere a un medio de enfriamiento. El fluido de trabajo puede subenfriarse al final de esta etapa.
- Si bien las realizaciones anteriores para un ciclo ORC transcrítico muestran expansiones y compresiones sustancialmente isoentrópicas, y calentamiento o enfriamiento sustancialmente isobárico, otros ciclos en donde tales condiciones isoentrópicas o isobáricas no se mantienen, aunque el ciclo se cumpla de todos modos, están dentro del alcance de la presente invención.
- En una realización, la presente invención se refiere a un método para convertir calor de una fuente de calor en energía mecánica utilizando un ciclo supercrítico. Este método comprende las siguientes etapas: (a) comprimir un fluido de trabajo desde una presión por encima de su presión crítica a una presión más alta; (b) calentar el fluido de trabajo comprimido procedente de (a) usando el calor suministrado por la fuente de calor; (c) expandir el fluido de trabajo calentado procedente de (b) para reducir la presión del fluido de trabajo a una presión por encima de su presión crítica y generar energía mecánica; (d) enfriar el fluido de trabajo expandido procedente de (c) para formar un fluido de trabajo enfriado por encima de su presión crítica; y (e) ciclar el fluido de trabajo líquido enfriado procedente de (d) a (a) para la compresión.
- Las realizaciones que incluyen el uso de uno o más intercambiadores de calor internos (por ejemplo, un recuperador) y/o el uso de más de un ciclo en un sistema en cascada pretenden estar dentro del alcance de los ciclos de potencia ORC supercríticos de la presente invención.
- Normalmente, en el caso del funcionamiento del ciclo de Rankine subcrítico, la mayor parte del calor suministrado al fluido de trabajo se suministra durante la evaporación del fluido de trabajo. Como resultado, cuando el fluido de trabajo consiste en un solo componente fluido o cuando el fluido de trabajo es una mezcla multicomponente de fluidos casi

- azeotrópica, la temperatura del fluido de trabajo es fundamentalmente constante durante la transferencia de calor desde la fuente de calor al fluido de trabajo. Por el contrario, la temperatura del fluido de trabajo puede variar cuando el fluido se calienta isobáricamente sin cambio de fase a una presión superior a su presión crítica. De acuerdo con ello, cuando la temperatura de la fuente de calor varía, el uso de un fluido por encima de su presión crítica para extraer calor de una fuente de calor permite una mejor equiparación entre la temperatura de la fuente de calor y la temperatura del fluido de trabajo en comparación con el caso de la extracción de calor subcrítica. Como resultado, la eficiencia del proceso de intercambio de calor entre una fuente de calor de temperatura variable y un fluido de trabajo de un solo componente o casi azeotrópico en un ciclo supercrítico o un ciclo transcrítico es a menudo mayor que la de un ciclo subcrítico (véase Chen, et al., *Energy*, 36, (2011), 549-555 y las referencias citadas en el mismo).
- La temperatura y presión críticas del HFO-153-10mzzy son 170,24 °C y 2,04 MPa (296,2 psia), respectivamente. El punto de ebullición del HFO-153-10mzzy es 49 °C. El uso del HFO-153-10mzzy como fluido de trabajo puede permitir ciclos de potencia que reciben calor de fuentes de calor con temperaturas superiores a la temperatura crítica del mismo en un ciclo supercrítico o un ciclo transcrítico. Las fuentes de calor de mayor temperatura generan mayores eficiencias energéticas del ciclo y capacidades volumétricas para la generación de energía (en relación con las fuentes de calor de menor temperatura). Cuando se recibe calor utilizando un fluido de trabajo por encima de su temperatura crítica, se usa un calentador de fluido que tiene una presión y temperatura de salida especificadas (fundamentalmente igual a la temperatura de entrada del expansor) en lugar del evaporador (o caldera) usado en el ciclo de Rankine subcrítico convencional.
- En una realización de los métodos anteriores, la eficiencia de convertir el calor en energía mecánica (eficiencia del ciclo) es de al menos aproximadamente un 4 %. En una realización adecuada, la eficiencia (números de eficiencia) se puede seleccionar entre la siguiente: aproximadamente del 4 al 45 %. En otra realización, la eficiencia se selecciona en un intervalo que tiene puntos finales (inclusive) de dos números de eficiencia cualesquiera mencionados anteriormente.
- En general, para los ciclos subcríticos, la temperatura a la que se calienta el fluido de trabajo usando calor de la fuente de calor está en el intervalo de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 165 °C, preferentemente de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 165 °C, más preferentemente de aproximadamente 125 °C a 165 °C.
- Normalmente para ciclos transcríticos y supercríticos, la temperatura a la que se calienta el fluido de trabajo usando calor de la fuente de calor está en el intervalo de aproximadamente 171 °C a aproximadamente 400 °C, preferentemente de aproximadamente 175 °C a aproximadamente 300 °C, más preferentemente de aproximadamente 185 °C a 250 °C.
- En una realización adecuada, la temperatura de funcionamiento en la entrada del expansor puede ser cualquiera de las siguientes temperaturas o estar dentro del intervalo (inclusive) definido por dos números cualquiera de: aproximadamente 50-400 °C o preferentemente de 80-250 °C.
- La presión del fluido de trabajo en el expansor se reduce desde la presión de entrada del expansor hasta la presión de salida del expansor. Las presiones típicas de entrada del expansor para ciclos supercríticos están dentro del intervalo de aproximadamente 3 MPa a aproximadamente 15 MPa, preferentemente de aproximadamente 5 MPa a aproximadamente 10 MPa y más preferentemente de aproximadamente 5 MPa a aproximadamente 8 MPa. Las presiones típicas de salida del expansor para ciclos supercríticos están dentro de aproximadamente 0,1 MPa por encima de la presión crítica.
- Las presiones típicas de entrada del expansor para ciclos transcríticos están dentro del intervalo de aproximadamente la presión crítica a aproximadamente 15 MPa, preferentemente de aproximadamente la presión crítica a aproximadamente 10 MPa, y más preferentemente de aproximadamente la presión crítica a aproximadamente 5 MPa. Las presiones típicas de salida del expansor para ciclos transcríticos están dentro del intervalo de aproximadamente 0,01 MPa a aproximadamente 1,75 MPa, más generalmente de aproximadamente 0,05 MPa a aproximadamente 1,4 MPa, más generalmente de aproximadamente 0,05 MPa a aproximadamente 0,5 MPa.
- Las presiones típicas de entrada del expansor para ciclos subcríticos están dentro del intervalo de aproximadamente 0,1 MPa a aproximadamente 0,2 MPa por debajo de la presión crítica, preferentemente de aproximadamente 0,1 MPa a aproximadamente 0,5 MPa por debajo de la presión crítica. Las presiones típicas de salida del expansor para ciclos subcríticos están dentro del intervalo de aproximadamente 0,01 MPa a aproximadamente 1,75 MPa, más generalmente de aproximadamente 0,05 MPa a aproximadamente 1,4 MPa, más generalmente de aproximadamente 0,05 MPa a aproximadamente 0,5 MPa.
- El coste de un aparato de ciclo de potencia puede aumentar cuando se requiere un diseño para presiones más altas. De acuerdo con ello, generalmente existe al menos una primera ventaja de coste al limitar la presión de funcionamiento máxima del ciclo. Cabe destacar los ciclos en donde la presión de funcionamiento máxima (normalmente presente en el calentador o evaporador del fluido de trabajo y la entrada del expansor) no supera los 4 MPa o preferentemente los 2,0 MPa.
- Los fluidos de trabajo novedosos de la presente invención se pueden usar en sistemas ORC para generar energía

- 5       mecánica a partir del calor extraído o recibido de fuentes de calor de temperatura relativamente baja tal como vapor a baja presión, calor residual industrial, energía solar, agua caliente geotérmica, vapor geotérmico de baja presión (mecanismos primarios o secundarios), o equipo de generación de energía distribuida que utiliza pilas de combustible o máquinas motrices tales como turbinas, microturbinas o motores de combustión interna. Una fuente de vapor de baja presión podría ser el proceso conocido como ciclo de Rankine geotérmico binario. Pueden encontrarse grandes cantidades de vapor a baja presión en numerosos lugares, tales como en plantas generadoras de energía eléctrica que funcionan con combustibles fósiles.
- 10      Otras fuentes de calor incluyen el calor residual recuperado de los gases de escape de los motores móviles de combustión interna (por ejemplo, motores diésel de camiones o ferrocarriles o barcos), calor residual de los gases de escape de los motores fijos de combustión interna (por ejemplo, generadores fijos de energía con motores diésel), el calor residual de las pilas de combustible, el calor disponible en plantas de calefacción combinada, de refrigeración y energía o calefacción y refrigeración urbana, el calor residual de motores alimentados con biomasa, el calor de quemadores de gas natural o gas metano o calderas alimentadas con metano o pilas de combustible de metano (por ejemplo, en instalaciones de generación de energía distribuida) que funcionan con metano de diversas fuentes, incluyendo biogás, gas de vertedero y metano de estratos de carbón, calor de la combustión de cortezas y lignina en fábricas de papel/celulosa, calor de incineradores, calor de vapor de baja presión en plantas de energía de vapor convencionales (para impulsar ciclos de Rankine "que tocan fondo") y calor geotérmico.
- 15      20     En una realización de los ciclos de Rankine de esta invención, el calor geotérmico se suministra al fluido de trabajo que circula sobre el suelo (por ejemplo, plantas de energía geotérmica de ciclo binario). En otra realización de los ciclos de Rankine de esta invención, una novedosa composición de fluido de trabajo de esta invención se utiliza como fluido de trabajo del ciclo de Rankine y como portador de calor geotérmico que circula bajo tierra en pozos profundos con el flujo impulsado en gran parte o exclusivamente por variaciones de densidad del fluido inducidas por la temperatura, conocidas como "el efecto termosifón" (por ejemplo, véase Davis, A. P. y E. E. Michaelides: "Geothermal power production from abandoned oil wells", *Energy*, 34 (2009) 866-872; Matthews, H. B., patente de Estados Unidos n.º 4.142.108 (27 de febrero de 1979).
- 25      30     Otras fuentes de calor incluyen el calor solar de conjuntos de paneles solares, incluidos los conjuntos de paneles solares parabólicos, calor solar de plantas de energía solar concentrada, calor extraído de los sistemas solares fotovoltaicos (PV) para enfriar el sistema PV y mantener una alta eficiencia del sistema PV.
- 35      35     En otras realizaciones, la presente invención también utiliza otros tipos de sistemas ORC, por ejemplo, sistemas de ciclo Rankine a pequeña escala (por ejemplo, 1-500 kW, preferentemente 5-250 kW) que utilizan microturbinas o expansores de desplazamiento positivo de tamaño pequeño (por ejemplo, Tahir, Yamada y Hoshino: "Efficiency of compact organic Rankine cycle system with rotary-vane-type expander for low-temperature waste heat recovery", *Intl J. of Civil and Environ. Eng* 2:1 2010), ciclos de Rankine combinados, de múltiples etapas y en cascada, y sistemas de ciclo de Rankine con recuperadores para recuperar el calor del vapor que sale del expansor.
- 40      45     40     Otras fuentes de calor incluyen al menos una actividad asociada con al menos una industria seleccionada del grupo que consiste en: transporte marítimo, refinerías de petróleo, plantas petroquímicas, oleoductos y gasoductos, industria química, edificios comerciales, hoteles, centros comerciales, supermercados, panaderías, industrias de procesado de alimentos, restaurantes, hornos de curado de pintura, fabricantes de muebles, moldeadores de plásticos, hornos de cemento, hornos de madera, actividades de calcinación, industria metalúrgica, industria del vidrio, fundiciones, extracción de metales, aires acondicionados, refrigeración y calefacción central.
- 45      50     En otra realización, se proporciona un método para elevar la temperatura de evaporación máxima factible de un sistema de ciclo de Rankine existente que contiene un primer fluido de trabajo. El método comprende sustituir el primer fluido de trabajo por un segundo fluido de trabajo que consiste en HFO-153-10mzzy.
- 50      55     50     El HFO-153-10mzzy tiene presiones de evaporación más bajas (a una temperatura de evaporación determinada) y temperaturas críticas más altas que otros fluidos de trabajo existentes de presión más alta (es decir, fluidos con puntos de ebullición normales más bajos tales como el HFC-245fa). Por consiguiente, el HFO-153-10mzzy podría permitir que un sistema ORC existente extraiga calor a temperaturas de evaporación más altas y obtenga mayores eficiencias energéticas con respecto al HFC-245fa y otros fluidos de presión más alta sin exceder la presión de trabajo máxima permitida del equipo.
- 55      60     55     La temperatura crítica del HFO-153-10mzzy es 170,2 °C. Con equipos adecuadamente diseñados, es posible alcanzar una temperatura de funcionamiento del evaporador igual o justo por debajo de la temperatura crítica.
- 60      65     60     **Aparato de ciclo de potencia**
- 65      65     De acuerdo con la presente invención, se proporciona un aparato de ciclo de potencia para convertir el calor en energía mecánica. El aparato contiene un fluido de trabajo que consiste en HFO-153-10mzzy. Normalmente, el aparato de esta invención incluye una unidad de intercambio de calor en la que se puede calentar el fluido de trabajo y un expansor en el que se puede generar energía mecánica al expandir el fluido de trabajo calentado mediante reducción de su

- presión. Los expansores incluyen turboexpansores o expansores dinámicos, tales como turbinas, y expansores de desplazamiento positivo, tales como expansores de tornillo, expansores de espiral, expansores de pistón y expansores de paletas rotatorias. La energía mecánica puede usarse directamente (por ejemplo, para accionar un compresor) o puede convertirse en energía eléctrica a través del uso de generadores de energía eléctrica. Normalmente, el aparato
- 5 también incluye una unidad de refrigeración del fluido de trabajo (por ejemplo, un condensador o un intercambiador de calor) para enfriar el fluido de trabajo expandido y un compresor (por ejemplo, una bomba de líquido) para comprimir el fluido de trabajo enfriado.
- 10 En una realización, el aparato de ciclo de potencia comprende una unidad de intercambio de calor, un expansor, una unidad de refrigeración del fluido de trabajo y un compresor, todos los cuales están en comunicación fluida en el orden indicado y a través de los cuales fluye un fluido de trabajo desde un componente al siguiente en un ciclo repetitivo.
- 15 En una realización, el aparato de ciclo de potencia comprende: (a) una unidad de intercambio de calor en donde se puede calentar un fluido de trabajo; (b) un expansor en comunicación fluida con la unidad de intercambio de calor, en donde se puede generar energía mecánica al expandir el fluido de trabajo calentado mediante reducción de su presión;
- 20 (c) una unidad de refrigeración del fluido de trabajo en comunicación fluida con el expansor para enfriar el fluido de trabajo expandido; y (d) un compresor en comunicación fluida con la unidad de refrigeración del fluido de trabajo para comprimir el fluido de trabajo enfriado, estando el compresor además en comunicación fluida con la unidad de intercambio de calor de manera que el fluido de trabajo repite después el flujo a través de los componentes (a), (b), (c) y (d) en un
- 25 ciclo repetitivo. Así, el aparato de ciclo de potencia comprende (a) una unidad de intercambio de calor; (b) un expansor en comunicación fluida con la unidad de intercambio de calor; (c) una unidad de refrigeración del fluido de trabajo en comunicación fluida con el expansor; y (d) un compresor en comunicación fluida con la unidad de refrigeración del fluido de trabajo, estando el compresor además en comunicación fluida con la unidad de intercambio de calor de manera que el fluido de trabajo repite después el flujo a través de los componentes (a), (b), (c) y (d) en un ciclo repetitivo.
- 30 La figura 1 muestra un esquema de una realización del sistema ORC para usar calor de una fuente de calor. El intercambiador de calor de suministro de calor 40 transfiere el calor suministrado por la fuente de calor 46 al fluido de trabajo que ingresa al intercambiador de calor de suministro de calor 40 en fase líquida. El intercambiador de calor de suministro de calor 40 está en comunicación térmica con la fuente de calor (la comunicación puede ser por contacto directo u otro medio). Dicho de otra manera, el intercambiador de calor de suministro de calor 40 recibe energía térmica de la fuente de calor 46 por cualquier medio conocido de transferencia térmica. El fluido de trabajo del sistema ORC circula a través del intercambiador de calor de suministro de calor 40 donde adquiere calor. Al menos una parte del fluido de trabajo líquido se convierte en vapor en el intercambiador de calor de suministro de calor (un evaporador en algunos casos) 40.
- 35 El fluido de trabajo ahora en forma de vapor se dirige al expansor 32 donde el proceso de expansión da como resultado la conversión de al menos una parte de la energía térmica suministrada desde la fuente de calor en potencia mecánica del eje. La potencia del eje se puede utilizar para realizar cualquier trabajo mecánico empleando disposiciones convencionales de correas, poleas, engranajes, transmisiones o dispositivos similares dependiendo de la velocidad deseada y el par requerido. En una realización, el eje también se puede conectar a un dispositivo generador de energía eléctrica 30 tal como un generador de inducción. La electricidad producida se puede utilizar localmente o se puede suministrar a una red.
- 40 45 El fluido de trabajo todavía en forma de vapor que sale del expansor 32 continúa hacia el condensador 34 donde el rechazo adecuado de calor hace que el fluido se condense en un líquido.
- 50 También es deseable contar con un tanque de compensación de líquidos 36 ubicado entre el condensador 34 y la bomba 38 para garantizar que siempre haya un suministro adecuado de fluido de trabajo en forma líquida a la succión de la bomba. El fluido de trabajo en forma líquida fluye hacia la bomba 38 que eleva la presión del fluido para que pueda volver a introducirse en el intercambiador de calor de suministro de calor 40 completando así el circuito del ciclo de Rankine.
- 55 60 En una realización alternativa, también se puede utilizar un circuito de intercambio de calor secundario que actúe entre la fuente de calor y el sistema ORC. En la figura 2, se muestra un sistema de ciclo de Rankine orgánico, en concreto para un sistema que utiliza un circuito de intercambio de calor secundario. El ciclo de Rankine orgánico principal funciona como se describió anteriormente para la figura 1. El circuito de intercambio de calor secundario se muestra en la figura 2 de la siguiente manera: el calor de la fuente de calor 46' se transporta al intercambiador de calor de suministro de calor 40' utilizando un medio de transferencia de calor (es decir, un fluido del circuito de intercambio de calor secundario). El medio de transferencia de calor fluye desde el intercambiador de calor de suministro de calor 40' hacia la bomba 42' que bombea el medio de transferencia de calor de regreso a la fuente de calor 46'. Esta disposición ofrece otro medio de eliminar el calor de la fuente de calor y enviarlo al sistema ORC. Esta disposición proporciona flexibilidad al facilitar el uso de diversos fluidos para una transferencia de calor sensible.
- 65 66 De hecho, los fluidos de trabajo de esta invención se pueden usar como fluidos del circuito de intercambio de calor secundario siempre que la presión en el circuito se mantenga en la presión de saturación del fluido, o por encima

de esta, a la temperatura del fluido en el circuito. Como alternativa, los fluidos de trabajo de esta invención se pueden usar como fluidos del circuito de intercambio de calor secundario o fluidos portadores de calor para extraer calor de fuentes de calor en un modo de funcionamiento en el que se permite que los fluidos de trabajo se evaporen durante el proceso de intercambio de calor generando así grandes diferencias de densidad de fluido suficientes para mantener el flujo de fluido (efecto de termosifón). De manera adicional, se pueden usar fluidos de alto punto de ebullición tales como glicoles, salmueras, siliconas u otros fluidos fundamentalmente no volátiles para la transferencia de calor sensible en la disposición de circuito secundario descrita. Un circuito de intercambio de calor secundario puede facilitar el mantenimiento de la fuente de calor o del sistema ORC, ya que los dos sistemas se pueden aislar o separar más fácilmente. Este enfoque puede simplificar el diseño del intercambiador de calor en comparación con el caso de tener un intercambiador de calor con una parte de alto flujo de masa/bajo flujo de calor, seguida de una parte de alto flujo de calor/bajo flujo de masa. Los compuestos orgánicos a menudo tienen un límite superior de temperatura por encima del cual se producirá la descomposición térmica. El inicio de la descomposición térmica se relaciona con la estructura concreta de la sustancia química y, por lo tanto, varía para diferentes compuestos. Para acceder a una fuente de alta temperatura mediante intercambio de calor directo con el fluido de trabajo, se pueden tener en cuenta aspectos del diseño para el flujo de calor y el flujo de masa, como se ha mencionado anteriormente, para facilitar el intercambio de calor, mientras se mantiene el fluido de trabajo por debajo de su temperatura de inicio de descomposición térmica. El intercambio de calor directo en tal situación generalmente requiere características mecánicas y de ingeniería adicionales que aumentan los costes. En dichas situaciones, un diseño de circuito secundario puede facilitar el acceso a la fuente de calor de alta temperatura mediante el control de las temperaturas y eludir las preocupaciones enumeradas para el caso del intercambio de calor directo.

Otros componentes del sistema ORC para la realización del circuito de intercambio de calor secundario son fundamentalmente los mismos que se describen para la figura 1. La bomba de líquido 42 hace circular el fluido secundario (por ejemplo, medio de transferencia de calor) a través del circuito secundario para que entre en la parte del circuito en la fuente de calor 46 donde adquiere calor. El fluido luego pasa al intercambiador de calor 40 donde el fluido secundario cede calor al fluido de trabajo ORC.

En una realización del anterior proceso, la temperatura del evaporador (temperatura a la que el fluido de trabajo extrae el calor) es menor que la temperatura crítica del fluido de trabajo. Se incluyen realizaciones en donde la temperatura de funcionamiento es una cualquiera de las siguientes temperaturas o dentro del intervalo (inclusive) definido por dos números cualquiera de los que aparecen a continuación: aproximadamente 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169 y aproximadamente 170 °C.

En una realización del anterior proceso, la presión de funcionamiento del evaporador es inferior a aproximadamente 2 MPa. Se incluyen realizaciones en las que la presión de evaporación de funcionamiento es cualquiera de las siguientes presiones o dentro del intervalo (inclusive) definido por dos números cualquiera de los que aparecen a continuación: aproximadamente 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4, 0,45, 0,5, 0,55, 0,6, 0,65, 0,7, 0,75, 0,8, 0,85, 0,9, 0,95, 1,00, 1,05, 1,10, 1,15, 1,20, 1,25, 1,30, 1,35, 1,40, 1,45, 1,50, 1,55, 1,60, 1,65, 1,70, 1,75, 1,80, 1,85, 1,90, 1,95, y aproximadamente 2 MPa.

45 El uso de componentes de equipo de bajo coste amplía sustancialmente la viabilidad práctica de los ciclos de Rankine orgánicos (véase Joost J. Brasz, Bruce P. Biederman y Gwen Holdmann: "Power Production from a Moderate-Temperature Geothermal Resource", Reunión Anual del GRC, 25-28 de septiembre de 2005; Reno, Nevada, Estados Unidos). Por ejemplo, la limitación de la presión de evaporación máxima a aproximadamente 2,2 MPa permitiría el uso de componentes de equipo de bajo coste del tipo ampliamente utilizado en la industria HVAC.

50 El aparato puede incluir tamices moleculares para ayudar a eliminar la humedad. Los desecantes pueden comprender alúmina activada, gel de sílice o tamices moleculares basados en zeolita. En determinadas realizaciones, los tamices moleculares preferentes tienen un tamaño de poro de aproximadamente 3 ángstroms, 4 ángstroms, o 5 ángstroms. Los tamices moleculares representativos incluyen MOLSIV XH-7, XH-6, XH-9 y XH-11 (UOP LLC, Des Plaines, Ill.).

55 Lubricantes útiles incluyen aquellos adecuados para su uso con aparatos de ciclo de potencia. Entre estos lubricantes se encuentran los usados convencionalmente en aparatos de refrigeración por compresión de vapor que utilizan refrigerantes de clorofluorocarbono. Los lubricantes pueden comprender los conocidos habitualmente como "aceites minerales" en el campo de la lubricación en refrigeración por compresión. Los aceites minerales comprenden parafinas (es decir, hidrocarburos saturados de cadena de carbonos lineal y ramificada), naftenos (es decir, parafinas cíclicas) y compuestos aromáticos (es decir, hidrocarburos cíclicos insaturados que contienen uno o más anillos caracterizados por dobles enlaces alternos). Los lubricantes pueden comprender los conocidos habitualmente como "aceites sintéticos" en el campo de la lubricación en refrigeración por compresión. Los aceites sintéticos comprenden alquilares (es decir, alquilalquilbenzenos lineales y ramificados), parafinas y naftenos sintéticos, y polí(alfa-olefinas). 60 Los lubricantes convencionales representativos son el BVM 100 N disponible en el mercado (aceite mineral parafínico comercializado por BVA Oils), aceite mineral nafténico disponible en el mercado en Crompton Co. con las marcas 65

5 registradas Suniso.RTM. 3GS y Suniso.RTM. 5GS, aceite mineral nafténico disponible en el mercado en Pennzoil con la marca registrada Sontex.RTM. 372LT, aceite mineral nafténico disponible en el mercado en Calumet Lubricants con la marca registrada Calumet.RTM. RO-30, alquilbencenos lineales disponibles en el mercado en Shrieve Chemicals con las marcas registradas Zerol.RTM. 75, Zerol.RTM. 150 y Zerol.RTM. 500 y HAB 22 (alquilbenceno ramificado comercializado por Nippon Oil).

10 Los lubricantes útiles también pueden incluir aquellos que han sido diseñados para su uso con refrigerantes de hidrofluorocarbonos y son miscibles con fluidos de trabajo de la presente invención en condiciones de funcionamiento del ciclo de potencia. Dichos lubricantes incluyen, pero sin limitación, ésteres de poliol (POE) tales como Castrol.RTM. 100 (Castrol, Reino Unido), polialquilenglicoles (PAG) tales como RL-488A de Dow (Dow Chemical, Midland, Mich.), poli(éteres de vinilo) (PVE) y policarbonatos (PC).

15 Los lubricantes se seleccionan teniendo en cuenta los requisitos de un expulsor dado y el entorno al que estará expuesto el lubricante.

15 Cabe destacar los lubricantes para altas temperaturas con estabilidad a altas temperaturas. La temperatura más alta que alcanzará el ciclo de potencia determinará qué lubricantes se requieren.

20 De particular interés son los lubricantes de poli(alfa-olefina) (POA) con estabilidad hasta aproximadamente 200 °C y los lubricantes de ésteres de poliol (POE) con estabilidad a temperaturas de hasta aproximadamente 200 a 220 °C. También son de particular interés los lubricantes de perfluoropolíéster que tienen estabilidad a temperaturas de aproximadamente 220 a aproximadamente 350 °C. Los lubricantes PFPE incluyen los disponibles en DuPont (Wilmington, Delaware) con la marca comercial Krytox.RTM., tales como la serie XHT con estabilidad térmica de hasta aproximadamente 300 a 350 °C. Otros lubricantes PFPE incluyen los comercializados con la marca comercial Demnum.TM. de Daikin Industries (Japón) con estabilidad térmica de hasta aproximadamente 280 a 330 °C, y disponible en Ausimont (Milán, Italia), con las marcas comerciales Fomblin.RTM. y Galden.RTM. tal como los disponibles con la marca comercial Fomblin.RTM.-Y Fomblin.RTM.-Z con estabilidad térmica de hasta aproximadamente 220 a 260 °C.

### 30 Ejemplos

Los conceptos descritos en el presente documento se describirán adicionalmente en los siguientes ejemplos, que no limitan el alcance de la invención descrita en las reivindicaciones.

#### 35 Ejemplo 1

##### **Estabilidad química del HFO-153-10mzzy a altas temperaturas**

40 La estabilidad térmica del HFO-153-10mzzy se evaluó mediante ensayos en tubos de vidrio sellados de acuerdo con la metodología de la norma ANSI/ASHRAE 97-2007. Se colocaron muestras de HFO-153-10mzzy en tubos de vidrio con muestras para ensayo de metal sumergidas (Fe, Al, Cu, acero inoxidable 304) comúnmente utilizadas en la construcción de bombas de calor y otros equipos. Los tubos se sellaron y se calentaron en una estufa a 175 °C durante 32 días. La descomposición del HFO-153-10mzzy después de un envejecimiento durante 32 días se cuantificó en términos de la concentración medida de iones fluoruro en partes por millón (ppm). La concentración de iones fluoruro resultante de la degradación del HFO-153-10mzzy fue inferior a 100 ppm, lo que indica una buena estabilidad térmica. El HFO-153-10mzzy, a pesar de su naturaleza química insaturada, exhibió una estabilidad térmica similar a la del Novec® HFE-7100, como se muestra a continuación en la Tabla 1.

**TABLA 1**

	HFO-153-10mzzy	Novec® HFE-7100
Metal/Catalizador		
Fe	4,3	1,0
Al	2,0	6,8
Cu	1,3	4,5
Acero inoxidable 304	5,1	6,1

50 La alta estabilidad térmica, no inflamabilidad, bajo GWP, alta temperatura crítica y baja presión de vapor hacen que el HFO-153-10mzzy sea atractivo como fluido de trabajo en ciclos de potencia.

#### **Ejemplo 2:**

55 **Generación de energía a partir de calor a una temperatura de entrada del expulsor de 200 °C con HFO-153-**

**10mzzv en comparación con HFC-245fa**

La Tabla 2 compara el rendimiento de los ciclos de potencia de Rankine que funcionan con HFO-153-10mzzv y HFC-245fa como fluidos de trabajo para un caso en donde el calor disponible se podía usarse para mantener la temperatura de entrada del expansor a 200 °C. Se supone además que el equipo disponible limita la presión de trabajo máxima permitida a 3 MPa. La temperatura del condensador se especifica como 100 °C, un valor adecuado para una operación de cogeneración de calor y energía combinados (CHP) donde el calor del condensador se suministra a una red de calefacción urbana. Las condiciones de funcionamiento comunes adicionales se enumeran en el título de la tabla 2. El HFO-153-10mzzv permite una eficiencia energética del ciclo ideal un 27 % mayor que con HFC-245fa, además de tener un GWP sustancialmente inferior al del HFC-245fa.

Tabla 2

Rendimiento de los ciclos de potencia de Rankine que funcionan con HFO-153-10mzzv y HFC-245fa como fluidos de trabajo: temperatura de entrada del expansor: 200 °C; presión de entrada del expansor: 3 MPa; temperatura del condensador: 100 °C; subenfriamiento del líquido: 5 K; eficiencia del expansor: 0,75; eficiencia de la bomba de líquido: 0,5.

		HFC-245fa	HFO-153-10mzzv	HFO-153-10mzzv frente a HFC-245fa
		[Ciclo subcrítico]	[ciclo transcrítico]	%
Temperatura del evaporador	°C	143,5		
Sobrecalentamiento de entrada del expansor	K	56,5		
Temperatura de entrada del expansor	°C	200	200	
Presión de entrada del expansor	MPa	3,01	3,00	
Presión del condensador	MPa	1,26	0,46	
Relación de presiones		2,38	6,59	
Temperatura de salida del expansor	°C	173,4	153,1	
Eficiencia térmica del ciclo	%	4,88	6,2	27,0

## REIVINDICACIONES

1. Un método para convertir calor de una fuente de calor (46, 46') en energía mecánica que comprende: calentar un fluido de trabajo que consiste en (2E)-1,1,1,4,5,5-heptafluoro-4-(trifluorometil)pent-2-eno (HFO-153-10mzzy) usando el calor suministrado desde la fuente de calor; y expandir el fluido de trabajo calentado para reducir la presión del fluido de trabajo y generar energía mecánica a medida que se reduce la presión del fluido de trabajo; en donde el fluido de trabajo se comprime antes del calentamiento; y el fluido de trabajo expandido se enfriá y comprime durante ciclos repetidos.
- 5 2. El método de la reivindicación 1, en donde el calor de la fuente de calor se convierte en energía mecánica utilizando un ciclo subcrítico que comprende: (a) comprimir el fluido de trabajo líquido a una presión inferior a 2,04 MPa; (b) calentar el fluido de trabajo líquido comprimido procedente de (a) usando calor suministrado por la fuente de calor para formar fluido de trabajo de vapor; (c) expandir el fluido de trabajo de vapor procedente de (b) para reducir la presión del fluido de trabajo y generar energía mecánica; (d) enfriar el fluido de trabajo expandido procedente de (c) para formar un fluido de trabajo líquido enfriado; y (e) ciclar el fluido de trabajo líquido enfriado procedente de (d) a (a) para la compresión.
- 10 3. El método de la reivindicación 1, en donde el calor de la fuente de calor se convierte en energía mecánica utilizando un ciclo transcírtico que comprende: (a) comprimir el fluido de trabajo líquido por encima de 2,04 MPa; (b) calentar el fluido de trabajo comprimido procedente de (a) usando el calor suministrado por la fuente de calor; (c) expandir el fluido de trabajo calentado procedente de (b) para reducir la presión del fluido de trabajo por debajo de 2,04 MPa y generar energía mecánica; (d) enfriar el fluido de trabajo expandido procedente de (c) para formar un fluido de trabajo líquido enfriado; y (e) ciclar el fluido de trabajo líquido enfriado procedente de (d) a (a) para la compresión.
- 15 4. El método de la reivindicación 1, en donde el calor de la fuente de calor se convierte en energía mecánica utilizando un ciclo supercrítico que comprende: (a) comprimir el fluido de trabajo desde una presión superior a 2,04 MPa hasta una presión superior; (b) calentar el fluido de trabajo comprimido procedente de (a) usando el calor suministrado por la fuente de calor; (c) expandir el fluido de trabajo calentado procedente de (b) para reducir la presión del fluido de trabajo a una presión por encima de 2,04 MPa y generar energía mecánica; (d) enfriar el fluido de trabajo expandido procedente de (c) para formar un fluido de trabajo enfriado por encima de su presión crítica; y (e) ciclar el fluido de trabajo líquido enfriado procedente de (d) a (a) para la compresión.
- 20 5. El método de la reivindicación 1, en donde la fuente de calor es una fuente de calor de baja temperatura seleccionada del grupo que consiste en: vapor de baja presión, calor residual industrial, energía solar, agua caliente geotérmica, vapor geotérmico de baja presión, vapor geotérmico de baja presión y un equipo de generación de energía distribuida que utiliza celdas de combustible o máquinas motrices.
- 25 6. El método de la reivindicación 1, en donde la presión de funcionamiento máxima para los ciclos repetidos no supera los 4 MPa.
- 30 7. Un aparato de ciclo de potencia que comprende (a) una unidad de intercambio de calor (40, 40') que contiene un fluido de trabajo que consiste en (2E)-1,1,1,4,5,5-heptafluoro-4-(trifluorometil) pent-2-eno (HFO-153-10mzzy); (b) un expansor (32, 32') en comunicación fluida con la unidad de intercambio de calor; (c) una unidad de refrigeración (34, 34') del fluido de trabajo en comunicación fluida con el expansor; y (d) un compresor (38, 38') en comunicación fluida con la unidad de refrigeración del fluido de trabajo, estando el compresor además en comunicación fluida con la unidad de intercambio de calor de manera que el fluido de trabajo repite después el flujo a través de los componentes (a), (b), (c) y (d) en un ciclo repetitivo.
- 35 8. El aparato de ciclo de potencia de la reivindicación 7, configurado de manera que el fluido de trabajo convierte el calor en energía mecánica utilizando calor de una fuente de calor.
- 40 9. El aparato de ciclo de potencia de la reivindicación 8, en donde la fuente de calor es una fuente de calor de baja temperatura seleccionada del grupo que consiste en: vapor de baja presión, calor residual industrial, energía solar, agua caliente geotérmica, vapor geotérmico de baja presión, vapor geotérmico de baja presión y un equipo de generación de energía distribuida que utiliza celdas de combustible o máquinas motrices.
- 45 10. El aparato de ciclo de potencia de la reivindicación 7, configurado de manera que la presión de funcionamiento máxima para el aparato de ciclo de potencia no excede los 4 MPa.
- 50 11. El aparato de ciclo de potencia de la reivindicación 8, en donde el ciclo de potencia es un ciclo subcrítico y está configurado de manera que la temperatura a la cual la fuente de calor calienta el fluido de trabajo está en el intervalo de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 165 °C.
- 55 12. El aparato de ciclo de potencia de la reivindicación 8 configurado de manera que la temperatura a la cual la fuente de calor calienta el fluido de trabajo está en el intervalo de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 165 °C.

13. El aparato de ciclo de potencia de la reivindicación 8 configurado de manera que la temperatura a la cual la fuente de calor calienta el fluido de trabajo está en el intervalo de aproximadamente 125 °C a aproximadamente 165 °C.

5 14. El aparato de ciclo de potencia de la reivindicación 8, en donde el ciclo de potencia es un ciclo transcrítico o un ciclo supercrítico y está configurado de manera que la temperatura a la que la fuente de calor calienta el fluido de trabajo está en el intervalo de aproximadamente 171 °C. a aproximadamente 400 °C.

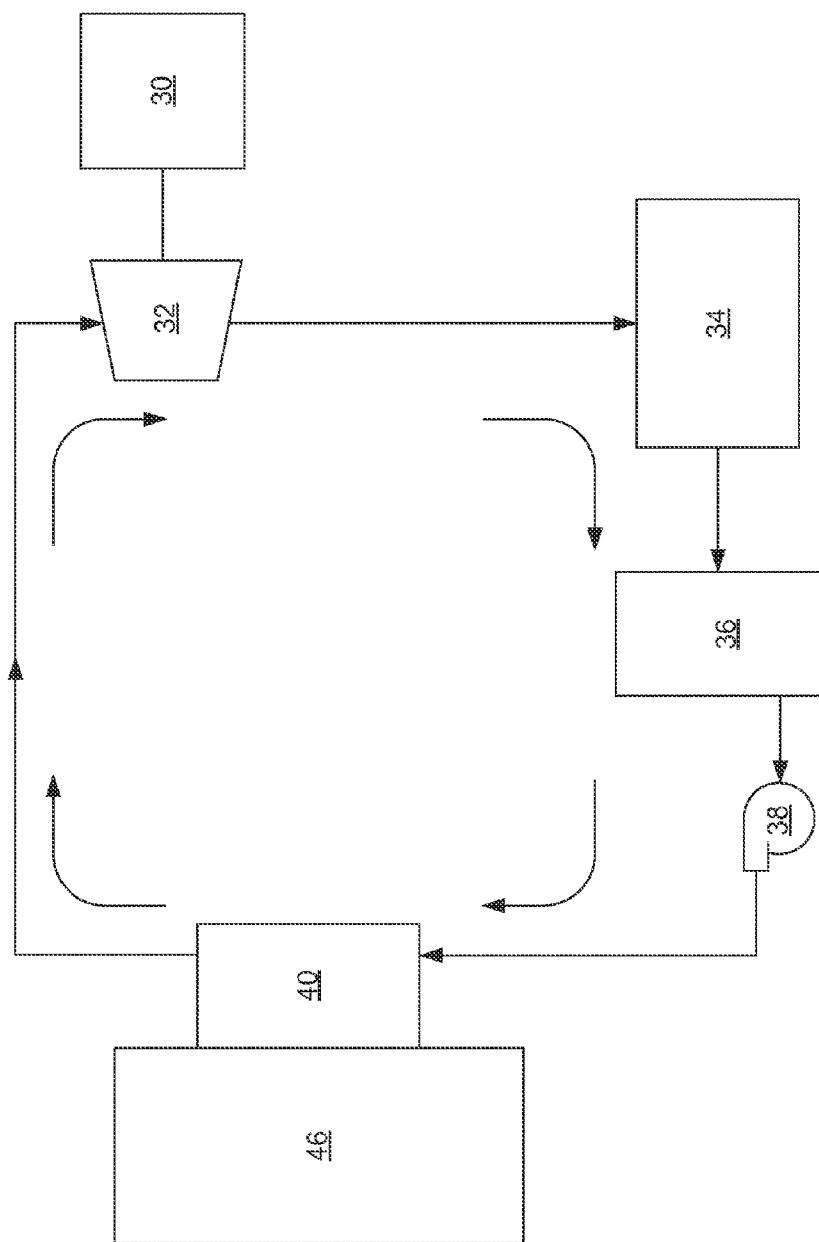


FIG. 1.

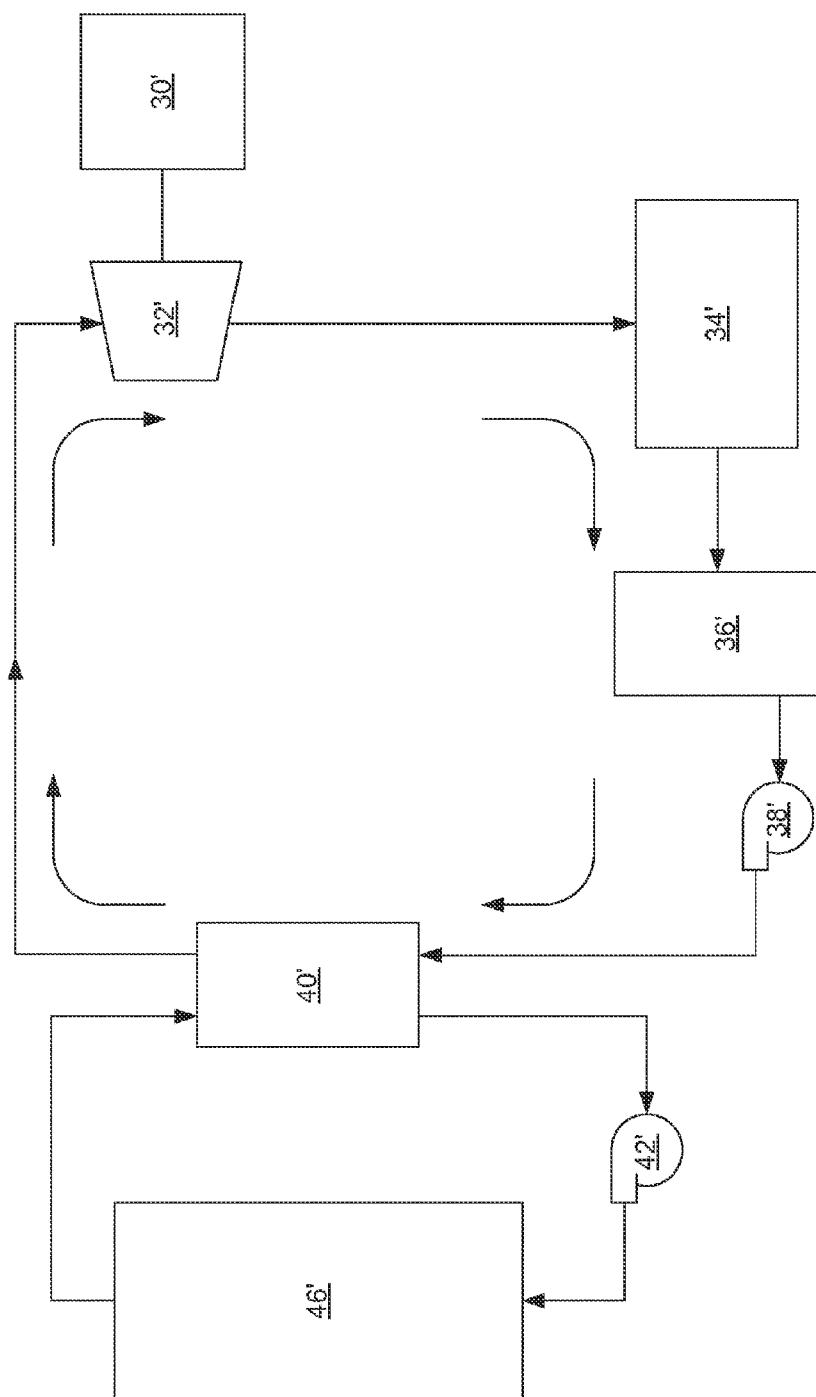


FIG. 2.