

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 889 952**

51 Int. Cl.:

**G01N 25/00** (2006.01)

**F24S 80/20** (2008.01)

**F24S 40/90** (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.12.2014** **E 14200548 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.08.2021** **EP 2889354**

54 Título: **Método y sistema para probar y evaluar elementos de transferencia de calor en operaciones a alta temperatura**

30 Prioridad:

**30.12.2013 IN 4122MU2013**

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

**14.01.2022**

73 Titular/es:

**INDIAN OIL CORPORATION LTD. (100.0%)  
G-9, Ali Yavar Jung Marg, Bandra (East)  
Mumbai 400051, IN**

72 Inventor/es:

**TIWARI, VINAY;  
SRIVASTVA, UMISH;  
SHARMA, ALOK;  
GUPTA, ANURAG ATEET;  
SARANGI, SATISH KUMAR y  
MALHOTRA, RAVINDER KUMAR**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 889 952 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

Método y sistema para probar y evaluar elementos de transferencia de calor en operaciones a alta temperatura

### Campo de la invención

5 La presente invención está relacionada con elementos de transferencia de calor usados en centrales de energía térmica basadas en energía solar y aplicaciones de almacenamiento de calor solar, y en particular con una configuración de prueba y un método para evaluación de prestaciones de tales elementos.

### Antecedentes de la invención

10 Con el continuo agotamiento de las fuentes de energía no renovables, tales como el carbón mineral, el petróleo, etc. se están considerando fuentes de energía alternativa para diversas aplicaciones. Una fuente importante e ilimitada de este tipo es la energía solar, que ha atraído la mayor parte de la atención en investigación en los últimos años. Para captar y almacenar energía solar se han concebido varios sistemas, p. ej., Energía Solar Concentrada.

15 En Energía Solar Concentrada (CSP), varios concentradores con seguimiento solar enfocan luz solar sobre un receptor. El receptor contiene un fluido de transferencia de calor que se calienta. La energía captada se usa ya sea para generar vapor de agua o se almacena como energía térmica para uso posterior en generación de vapor de agua. El vapor de agua finalmente generado se usa en una turbina-generator convencional para producir electricidad.

20 En la mayoría de las plantas CSP instaladas por todo el mundo los HTF usados generalmente se basan en aceite o son sales fundidas. El principal problema con el HTF a base de aceite es la descomposición del hidrocarburo por encima de 400 °C, lo que limita la temperatura de funcionamiento del captador solar (cilindro parabólico). Además, también está limitada la disponibilidad de HTF a base de aceite hasta 400 °C. Para funcionamiento a alta temperatura se pueden utilizar sales fundidas tales como mezcla de sales de nitrato ( $\text{NaNO}_3$  y  $\text{KNO}_3$ ), principalmente en torres solares hasta 560 °C. Sin embargo, el manejo de sales fundidas supone un desafío y es arriesgado, especialmente en un sistema CSP basado en cilindro parabólico ya que la sal se congela a una temperatura por debajo de 230 °C.

25 Puesto que las instalaciones CSP están pensadas para un funcionamiento a temperaturas sustancialmente más altas para mejorar la economía en comparación con otras tecnologías alternativas, varias industrias de cilindros parabólicos están explotando HTF alternativos que permitirían un funcionamiento a temperaturas mucho más altas. Ejemplos de HTF actualmente en investigación incluyen sales fundidas, agua para generación directa de vapor de agua, siliconas orgánicas, líquidos iónicos y naptalenos poliaromáticos. Adicionalmente, los investigadores también han estado considerando la incorporación de nanopartículas en tales fluidos para mejorar su capacidad calorífica, tasa de transferencia de calor y/o estabilidad térmica a altas temperaturas.

30 Por consiguiente, la necesidad actual es tener un mecanismo para probar y evaluar completamente un HTF en condiciones de alta temperatura.

Otra necesidad actual es probar y evaluar otros tipos de elementos de transferencia de calor, tales como un intercambiador de calor, en dichas condiciones.

35 En general, se conoce el uso de un intercambiador de calor y un fluido secundario para determinar un parámetro termofísico de un fluido a prueba, por ejemplo del documento US 2009/154520 A1.

### Objeto de la invención

Otro objeto de la presente invención es probar y evaluar elementos de transferencia de calor p. ej. un fluido de transferencia de calor (HTF, del inglés *heat transfer fluid*) en operaciones a alta temperatura.

40 Otro objeto de la presente invención es realizar una prueba de durabilidad del HTF a altas temperaturas, usando susodicha simulación.

En una realización de la presente invención, se concibe evaluar otro elemento de transferencia de calor es decir, el elemento intercambiador de calor en condiciones de alta temperatura a través de susodicha simulación.

### Compendio de la invención

45 En una realización de la presente invención, se ha descrito un método para probar y evaluar elementos de transferencia de calor en operaciones a alta temperatura. El método empieza con la introducción de un fluido de transferencia de calor (HTF) y un fluido secundario en al menos un intercambiador de calor. Se mide al menos un parámetro termodinámico relacionado con la transferencia de calor entre el HTF y el fluido secundario. Después de eso, se determina al menos un parámetro termofísico de dicho HTF sobre la base del parámetro termodinámico medido relacionado con el fluido secundario. Después de eso, el fluido de transferencia de calor se gradúa o clasifica sobre la base del al menos un parámetro termofísico de dicho HTF. Finalmente, se determina al menos un parámetro relacionado con la estabilidad para el fluido de transferencia de calor, en donde al menos un parámetro relacionado con la estabilidad indica al menos una tasa de degradación en las prestaciones del fluido de transferencia de calor en

un periodo de tiempo predeterminado.

En otra realización de la presente invención, la presente invención describe un sistema para probar y evaluar elementos de transferencia de calor en operaciones a alta temperatura. Dentro del sistema, medios de introducción introducen un fluido de transferencia de calor (HTF) y un fluido secundario hacia un intercambiador de calor para transferencia de calor entre el HTF y el fluido secundario. Medios de medición miden al menos un parámetro termodinámico relacionado con la transferencia de calor entre el HTF y el fluido secundario. Medios de procesamiento determinan al menos un parámetro termofísico de dicho HTF al menos sobre la base de al menos un parámetro termodinámico medido relacionado con el fluido secundario. Después de eso, medios de graduación gradúan o clasifican el HTF sobre la base del parámetro termofísico determinado de dicho fluido de transferencia de calor. Finalmente, se determina al menos un parámetro relacionado con la estabilidad para el fluido de transferencia de calor, en donde al menos un parámetro relacionado con la estabilidad indica al menos una tasa de degradación en las prestaciones del fluido de transferencia de calor en un periodo de tiempo predeterminado.

Para clarificar aún más ventajas y rasgos de la presente invención, se creará una descripción más particular de la invención por referencia a realizaciones específicas de la misma, que se ilustra en los dibujos adjuntos. Se aprecia que estos dibujos representan únicamente realizaciones típicas de la invención y por lo tanto no se deben considerar limitantes de su alcance. La invención se describirá y explicará con especificidad y detalle adicionales con los dibujos adjuntos.

### Breve descripción de las figuras

Estos y otros rasgos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que caracteres semejantes representan partes semejantes por todos los dibujos, en donde:

la Figura 1 muestra un diagrama de flujo correspondiente a una realización de la invención;

la Figura 2 muestra algunos aspectos de la construcción interna de un aparato según una realización de la presente invención; y

la Figura 3 muestra una implementación ejemplar de la invención a través de un diagrama de flujo de control, según una primera realización de la presente invención.

Además, los expertos apreciarán que los elementos en los dibujos se ilustran por simplicidad y pueden no haberse dibujado necesariamente a escala. Por ejemplo, los diagramas de flujo ilustran el método desde el punto de vista de las etapas más destacadas implicadas para ayudar a mejorar la comprensión de aspectos de la presente invención. Es más, desde el punto de vista de la construcción del dispositivo, uno o más componentes del dispositivo pueden haber sido representados en los dibujos mediante símbolos convencionales, y los dibujos pueden mostrar únicamente aquellos detalles específicos que son pertinentes para entender las realizaciones de la presente invención para no enturbiar los dibujos con detalles serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica que tengan el beneficio de la descripción en esta memoria.

### Descripción detallada

Con el propósito de promover una comprensión de los principios de la invención, ahora se hará referencia a la realización ilustrada en los dibujos y se usará lenguaje específico para describir la misma.

Los expertos en la técnica entenderán que la descripción general anterior y la siguiente descripción detallada son ejemplares y explicativas de la invención y no se pretende que sean restrictivas de la misma.

Por toda esta memoria descriptiva la referencia a "un aspecto", "otro aspecto" o lenguaje similar significa que un rasgo, estructura o característica particulares descritos en relación con la realización se incluyen en al menos una realización de la presente invención. Así, las apariciones de la frase "en una realización", "en otra realización" y lenguaje similar por toda esta memoria descriptiva pueden referirse todas, pero no necesariamente, a la misma realización.

Los términos "comprende", "que comprende" u otras variaciones de los mismos, pretenden cubrir una inclusión no exclusiva, de manera que un proceso o método que comprende una lista de etapas no incluye únicamente esas etapas sino que puede incluir otras etapas no enumeradas expresamente o inherentes a dicho proceso o método. De manera similar, uno o más dispositivos o subsistemas o elementos o estructuras o componentes precedidos por "comprende... un" no excluye, sin más restricciones, la existencia de otros dispositivos u otros subsistemas u otros elementos u otras estructuras u otros componentes o dispositivos adicionales o subsistemas adicionales o elementos adicionales o estructuras adicionales o componentes adicionales.

A menos que se defina de otro modo, todos los términos técnicos y científicos usados en esta memoria tienen el mismo significado que entiende comúnmente un experto en la técnica a la que pertenece esta invención. El sistema, los métodos y los ejemplos proporcionados en esta memoria son ilustrativos únicamente y no se pretende que sean limitativos.

A continuación se describirán en detalle realizaciones ejemplares de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos.

El fluido de transferencia de calor en cualquier central energética CSP basada en energía solar es un contribuidor importante a la generación de energía. Antes del empleo de cualquier HTF desarrollado en centrales energéticas CSP, el HTF requiere una evaluación detallada de sus propiedades, incluso propiedades termofísicas, durabilidad cíclica y prueba de prestaciones de un HTF, etc. Las propiedades termofísicas o el indicador de prestaciones del HTF incluyen su punto de ebullición, punto de fusión, presión de vapor en el intervalo de funcionamiento, conductividad térmica, viscosidad, densidad y capacidad calorífica. Estas propiedades definen una variedad de parámetros y condiciones en las que un HTF particular es capaz de transportar calor eficazmente en la central energética CSP solar.

Propiedades tales como viscosidad y densidad son indicadoras de la capacidad de bombeo de HTF. La capacidad calorífica y la conductividad térmica son indicadores de la capacidad de retención de calor del HTF y la capacidad para liberar calor en el colector (o intercambiadores de calor aguas abajo), respectivamente. La estabilidad térmica del HTF también es un parámetro muy importante para tales aplicaciones a alta temperatura. Las propiedades termofísicas mencionadas anteriormente como viscosidad, conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica son las propiedades materiales básicas que son evaluadas convencionalmente basándose en diferentes pruebas analíticas basadas en Calorímetro de Barrido Diferencial (DSC), Sistema Láser Flash, Reómetro, etc. Estas pruebas se realizan generalmente a temperatura ambiente o ligeramente por encima de temperaturas ambiente, en una pequeña cantidad de muestras.

Incluso, las susodichas propiedades termofísicas varían en función de las condiciones de temperatura. Por lo tanto, las prestaciones de tales fluidos de transferencia de calor en los sistemas reales no únicamente dependen de las propiedades materiales sino también de las condiciones de funcionamiento dinámico y las geometrías de intercambiador de calor. También, se realiza una prueba cíclica/prueba de durabilidad del HTF en condiciones de laboratorio en una pequeña cantidad de fluido, que falla al proporcionar una estimación realista. Adicionalmente, la mayoría de los HTF usados en condiciones de funcionamiento a 400 °C son sistemas bifásicos, que se transforman en una fase gaseosa al alcanzar temperaturas de aproximadamente 250-270 °C. En tales condiciones extremas, medir las propiedades termofísicas en equipos estándar de laboratorio se vuelve además sustancialmente difícil.

Por consiguiente, con la siempre floreciente variedad de fluidos de transferencia de calor, actualmente se necesitan métodos mejorados de prueba y evaluación para investigar una influencia combinada de las susodichas propiedades termofísicas en las características de transferencia de calor del HTF con relación a sus prestaciones globales, compatibilidad con el sistema, etc., de una manera más realista a temperaturas de funcionamiento más altas (400 °C o más) y en condiciones de funcionamiento dinámicas.

Para resolver los susodichos problemas, la presente invención describe un método y una configuración de prueba (aparato) que incorporan dicho método para una prueba y evaluación mejoradas de propiedades termofísicas y características de transferencia de calor de fluidos de transferencia de calor (HTF). Tales pruebas y evaluación se realizan sobre la base de la simulación de condiciones de funcionamiento que prevalecen en Centrales CSP, dispositivos de almacenamiento de energía térmica solar o cualquier otra planta de energía térmica basada en energía solar.

Además, la presente invención también se puede usar para pruebas cíclicas del HTF así como evaluación de diferentes intercambiadores de calor empleados dentro de las centrales CSP y otras centrales de energía térmica análogas basadas en energía solar.

Haciendo referencia ahora a la Figura 1, se puede ver que la presente invención describe un método para probar y evaluar elementos de transferencia de calor en operaciones a alta temperatura, el método comprende:

introducir (etapa 102) un fluido de transferencia de calor (HTF) y un fluido secundario en al menos un intercambiador de calor;

medir (etapa 104) al menos un parámetro termodinámico relacionado con la transferencia de calor entre el HTF y el fluido secundario;

determinar (etapa 106) al menos un parámetro termofísico de dicho HTF sobre la base de al menos un parámetro termodinámico medido relacionado con el fluido secundario;

graduar (etapa 108) el fluido de transferencia de calor sobre la base del al menos un parámetro termofísico de dicho HTF; y

determinar (etapa 112) al menos un parámetro relacionado con la estabilidad para el fluido de transferencia de calor, en donde al menos un parámetro relacionado con la estabilidad indica al menos una tasa de degradación en las prestaciones del fluido de transferencia de calor en un periodo de tiempo predeterminado.

En otra realización de la invención, dicho al menos un parámetro termofísico de dicho HTF se determina además sobre la base de un parámetro termodinámico conocido del fluido secundario.

En todavía otra realización, el HTF y el fluido secundario son al menos uno de: un fluido acuoso monofásico, un fluido bifásico (vapor/líquido), un fluido gaseoso, un fluido acuoso con aditivos, y un fluido acuoso con partículas en suspensión.

5 En una realización adicional de la invención, al menos un parámetro termodinámico medido se basa en al menos una de temperatura, densidad y presión del fluido secundario en la salida del intercambiador de calor.

En incluso otra realización, al menos un parámetro termofísico determinado corresponde a una propiedad termofísica del HTF y en donde dicha propiedad corresponde a una o más de viscosidad, conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica.

10 En otra realización, la medición comprende medir el al menos un parámetro termodinámico relacionado con dicho HTF.

En incluso otra realización, la introducción comprende proporcionar dicho HTF y dicho fluido secundario a temperatura, presión y caudal predeterminados en dicho al menos un intercambiador de calor.

15 En una realización más adicional de la invención, la invención comprende además determinar (etapa 110) un coeficiente de transferencia de calor para dicho al menos un intercambiador de calor; y evaluar las prestaciones de dicho al menos un intercambiador de calor sobre la base de al menos dicho coeficiente de transferencia de calor.

En otra realización, dicho coeficiente de transferencia de calor se determina sobre la base de al menos uno de: una diferencia de temperatura y presión entre una entrada y una salida de dicho intercambiador de calor, y al menos un parámetro termodinámico medido asociado con el HTF y/o el fluido secundario.

20 En otra realización, la invención comprende además mostrar (etapa 114) al menos uno de: graduación del fluido de transferencia de calor, indicaciones de prestaciones del intercambiador de calor; al menos un parámetro termofísico determinado relacionado con el HTF a una temperatura de al menos aproximadamente 200 °C, y dicha tasa de degradación en las prestaciones del HTF.

Haciendo referencia a la Figura 2, la presente invención también proporciona un sistema (200) para probar y evaluar elementos de transferencia de calor en operaciones a alta temperatura, el sistema comprende:

25 medios de introducción (202) para introducir un fluido de transferencia de calor (HTF) y un fluido secundario; al menos un intercambiador de calor (204) para transferencia de calor entre el HTF y el fluido secundario;

medios de medición (206) para medir al menos un parámetro termodinámico relacionado con la transferencia de calor entre el HTF y el fluido secundario;

30 medios de procesamiento (208) para determinar al menos un parámetro termofísico de dicho HTF al menos sobre la base de al menos un parámetro termodinámico medido relacionado con el fluido secundario; y

medios de graduación (210) para graduar el HTF sobre la base del al menos un parámetro termofísico determinado de dicho fluido de transferencia de calor.

35 En la Figura 2 no se muestran los medios de determinación de estabilidad térmica para determinar al menos un parámetro relacionado con la estabilidad para el fluido de transferencia de calor, en donde al menos un parámetro relacionado con la estabilidad indica al menos una tasa de degradación en las prestaciones del fluido de transferencia de calor en un periodo de tiempo predeterminado.

En otra realización de la invención, los medios de procesamiento determinan dicho al menos un parámetro termofísico relacionado con dicho HTF además sobre la base de un parámetro termodinámico conocido del fluido secundario.

40 En todavía otra realización, los medios de medición miden el al menos un parámetro termodinámico relacionado con el fluido secundario al menos sobre la base de temperatura, densidad y presión del fluido secundario en la salida del intercambiador de calor.

En una realización adicional de la invención, los medios de medición miden al menos un parámetro termodinámico relacionado con dicho HTF.

45 En incluso otra realización, los medios de introducción comprenden un calentador, una bomba y un caudalímetro para proporcionar dicho HTF y dicho fluido secundario a temperatura, presión y caudal predeterminados en dicho al menos un intercambiador de calor.

En otra realización, la invención comprende además medios de determinación para determinar un coeficiente de transferencia de calor de al menos un intercambiador de calor, y medios de evaluación para evaluar un indicador de prestaciones de dicho al menos un intercambiador de calor.

En incluso otra realización, dichos medios de determinación determinan dicho coeficiente de calor sobre la base de al menos uno de: una diferencia de temperatura y presión entre la entrada y la salida de dicho intercambiador de calor, y al menos un parámetro termodinámico medido asociado con el HTF y el fluido secundario.

- 5 En otra realización, la invención comprende además una pantalla para exponer al menos uno de: graduación del fluido de transferencia de calor, al menos un parámetro termofísico determinado relacionado con el HTF a una temperatura de al menos aproximadamente 200 °C, indicaciones de prestaciones del intercambiador de calor y dicha tasa de degradación en las prestaciones del fluido de transferencia de calor.

- 10 En los siguientes párrafos se proporciona una descripción detallada acerca de la implementación de susodicho método y dispositivo y manifestaciones ejemplares de los resultados que emanan de la presente invención. Sin embargo, se debe entender que cada implementación del método y dispositivo y cada manifestación de los resultados de la invención no tienen por qué seguir el escenario que se menciona en los siguientes párrafos.

### Implementación ejemplar de la presente invención

- 15 Haciendo referencia a la Figura 3, se ha mostrado un diagrama de flujo de control que representa el flujo de proceso (Figura 1) como se implementa dentro del aparato 200. Como se muestra en la figura, el flujo de control representa un flujo de funcionamiento dentro de una configuración ejemplar 300 que se pretende para la evaluación de características de comportamiento térmico y transferencia de calor de elementos de transferencia de calor como fluidos de transferencia de calor e intercambiadores de calor (HTF) para sus aplicaciones potenciales en centrales basadas en energía solar concentrada u otras centrales energizadas por energía solar.

- 20 La configuración de prueba 300 descrita en la presente invención comprende principalmente una unidad de aceite caliente 302, un intercambiador de calor 304 y un sistema de circulación de fluido secundario 306. La unidad de aceite caliente 302 y el sistema de circulación de fluido secundario 306 representan colectivamente los medios de introducción 202 de la Figura 2, mientras que el intercambiador de calor 204 se refiere al intercambiador de calor 304.

- 25 La unidad de aceite caliente 302 se compone de un calentador de aceite 302-1, una bomba de circulación de aceite (no se muestra en la figura), y un sistema de almacenamiento de aceite caliente 302-2 con un depósito de expansión (302-3) de capacidad adecuada, válvulas y seguridad. El sistema de almacenamiento de aceite caliente 302-2 puede estar provisto de una placa cortafuegos por razones de seguridad.

- 30 El HTF, para ser usado en la configuración como medios de transferencia de calor, se extrae del sistema de almacenamiento de aceite caliente 302-3 y se calienta a alta temperatura a 400 °C o incluso más dentro del calentador de aceite 302-1. Después de eso, se hace fluir el HTF desde el calentador de aceite 302-1 a través de los intercambiadores de calor 304 para intercambio de calor con el líquido secundario. La bomba de circulación de aceite (no se muestra en la figura) como componente de la unidad de aceite caliente 302 facilita el transporte del HTF a un caudal predeterminado hacia el intercambiador de calor 304.

- 35 El intercambiador de calor 304 puede funcionar con diferentes configuraciones de flujo, p. ej. contracorriente, corriente paralela o flujo cruzado, tomados solos o en combinación. Tal intercambiador de calor 304 utilizado en la invención se puede seleccionar de un grupo que comprende, pero sin limitación a esto, un intercambiador de calor de carcasa y tubos, un intercambiador de calor tubular con/sin aletas, intercambiador de calor de placa con/sin aletas, un intercambiador de calor de placa y carcasa y un intercambiador de calor en espiral. Cuando se usa más de un intercambiador de calor 304, se pueden conectar en paralelo o en serie.

- 40 Adicionalmente, se puede proporcionar un sistema de circulación de fluido secundario 306 para hacer circular un fluido secundario (p. ej. agua DM o cualquier otra solución acuosa) desde un depósito de almacenamiento 306-1 a un caudal predeterminado hacia el intercambiador de calor 304. Dentro del intercambiador de calor 304, al interactuar con el HTF a alta temperatura, el fluido secundario se convierte en vapor de agua. Luego se miden los valores de temperatura-presión (o cualquier otro parámetro termodinámico relacionado con el vapor de agua) del vapor de agua generado y se alimentan a un dispositivo de graduación 220 (p. ej. un dispositivo informático) para procesamiento adicional, como determinación de graduación/capacidad nominal del HTF y el intercambiador de calor 304, como se elabora más tarde en la descripción.

- 45 Además, la configuración de prueba 300 incluye un condensador 306-2 como parte del sistema de circulación de fluido secundario 306. El condensador 306-2 recibe directamente el vapor de agua generado para condensar el mismo hasta agua. Se puede entender que la central de energía térmica en dicha fase envía de otro modo el vapor de agua generado a una turbina de vapor de agua para generación de energía y después de eso al condensador 306-2. El vapor de agua se convierte en agua DM dentro del condensador 306-2. El sistema de circulación de agua incluye además un enfriador 306-3 para bajar la temperatura del agua DM como se recibe del condensador 306-2. El agua DM se recicla entonces en condiciones controladas y se transporta nuevamente al tanque de almacenamiento 306-1. El HTF del intercambiador de calor 304 también se recicla al pasar a través del depósito de expansión de aceite 302-3 y dirigirlo nuevamente al calentador de aceite 302-1.

Además, dentro de la configuración de prueba 300 se pueden emplear otros muchos componentes como bombas, válvulas, etc. (no se muestran en la Figura 3 por simplicidad) conocidos por los expertos en la técnica para lograr y

controlar el flujo del HTF y el fluido secundario como se indica en la Figura 3.

Dependiendo de la configuración del intercambiador de calor 304 implementado (p. ej. flujo a contracorriente, flujo de corriente paralela, flujo cruzado u otros perfiles), un valor global (una cifra numérica) del calor transferido desde el HTF al fluido secundario se puede usar para determinar además el coeficiente de transferencia de calor del intercambiador de calor 304.

En una implementación de la presente materia de asunto, el flujo de control dentro de la configuración de prueba 300 se puede ejecutar y controlar a través de sistemas incrustados, que pueden exhibir los siguientes rasgos interactivos:

1. Una pantalla de sinopsis general del sistema que indica un estado actual de cada componente principal, los valores de medición y el punto de consigna.

2. Una interfaz de usuario para permitir visualización de proceso, e indicación en tiempo real de valor para parámetros críticos como el flujo para gas, alimentación de líquido, temperaturas y presiones de reactor.

3. Cambio de límites de alarma y habilitación/inhabilitación de la alarma.

4. Generación de las alarmas y apunte de alarmas según valores establecidos.

5. Cambio de parámetros de bucle de control y estado de la salida digital.

6. Patrón de variación de datos históricos y en tiempo real.

7. Instalaciones de obtención de datos históricos

La configuración de prueba 300 se ha diseñado como unidad autónoma que usa tecnología modular. Los diferentes módulos céntricos de componentes (la unidad de aceite caliente 302, el intercambiador de calor 304, y la unidad de circulación de fluido secundario 306) se disponen en un patín, en línea con el diagrama de flujo de control representado en la Figura 3, permitiendo de ese modo un mantenimiento fácil de la configuración de prueba 300.

En otra implementación, la unidad de aceite caliente 302 acoplada con un depósito de expansión y recirculación y el intercambiador de calor 304 acoplado con el condensador 306-2 y el enfriador 306-3 también se puede usar como unidades autónomas. La unidad de aceite caliente 302 de esta manera se puede usar para estudios de almacenamiento térmico del HTF.

## Aplicaciones ejemplares de la presente invención

La configuración de prueba se puede usar para varias aplicaciones que incluyen, pero sin limitación a esto, evaluación de prestaciones de HTF a altas temperaturas, es decir 200 °C o más, evaluación de la capacidad de almacenamiento de energía térmica de los HTF, evaluación del intercambiador de calor 304, estudios de degradación de HTF, pruebas de funcionamiento cíclico térmico del HTF, etc.

Por consiguiente, de la siguiente manera se han resumido unas pocas aplicaciones ejemplares que emanan de la invención. Sin embargo, las siguientes aplicaciones meramente denotan aplicaciones ejemplares que emanan de la presente invención, que se puede extender que cubren otras aplicaciones análogas similares.

### Evaluación de prestaciones del HTF

Para la evaluación de prestaciones del HTF, se mide temperatura, presión y densidad del vapor de agua generado en la salida del intercambiador de calor 304 como parámetros termodinámicos que representan una transferencia de calor entre el HTF y el fluido secundario y la calidad del vapor de agua. En otra implementación, se pueden derivar valores conocidos de otros diversos tipos de parámetros termodinámicos conocidos (por ejemplo: derivando a través de tablas de búsqueda) sobre la base de los parámetros termodinámicos medidos como temperatura y presión asociados con el vapor de agua en la salida del intercambiador de calor 304. En global, todos parámetros termodinámicos medidos o conocidos asociados con el vapor de agua denotan una calidad global del vapor de agua.

Además, se determina o evalúa al menos un parámetro que representa una propiedad termofísica del HTF sobre la base de los parámetros termodinámicos medidos o conocidos. Ejemplos de las propiedades termofísicas incluyen viscosidad, conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica asociadas con el HTF. Tales parámetros termofísicos determinados relacionados con el HTF denotan la propiedad termofísica del HTF a temperaturas por encima de 200 °C y se procesan aún más para graduar/certificar la calidad/funcionamiento del HTF a temperaturas más altas (por encima de 200 °C) al asignar una capacidad nominal específica, p. ej. A, B, C, etc., o calificaciones sobre la base de escalas de 100 o 10.

Además, diferentes formulaciones/composiciones del HTF desarrollado se pueden evaluar fácilmente al analizar los parámetros termodinámicos del vapor de agua generado correspondientemente así como los parámetros termofísicos determinados correspondientemente del HTF.

Además, el HTF usado para la evaluación a través de la configuración 300 puede incluir, pero no se limita a esto, HTF líquido, HTF en fase vapor/líquida, HTF líquido con aditivos, HTF con nanopartículas.

#### Evaluación del intercambiador de calor

- 5 El coeficiente de transferencia de calor relacionado con el intercambiador de calor 304 también se puede calcular a partir de los datos de presión/temperatura en la entrada y la salida del intercambiador de calor 304 con respecto al HTF y el fluido secundario. Por consiguiente, se ejecuta la configuración de prueba 300 y se mide presión y temperatura en la entrada y la salida del intercambiador de calor 304 del intercambiador de calor 304, con respecto al lado de HTF y el lado de fluido secundario. Al ejecutar la configuración de prueba 300, se obtiene una diferencia de temperatura en ambos lados del intercambiador de calor 304, mientras se obtienen pérdidas de presión en el lado de entrada de HTF del intercambiador de calor 304. En ambos lados del intercambiador de calor se mide un caudal del HTF y el fluido secundario a través de caudalímetros.

En condiciones de estado estable, el calor transferido desde el fluido caliente al fluido frío desde el punto de vista de caudales máscicos y temperaturas en la entrada y la salida del intercambiador de calor 304 se representan termodinámicamente como:

- 15 En el lado (caliente) de aceite

$$Q_h = m_h C_{ph} \Delta T_h$$

#### En el lado (frío) de agua

$$Q_c = m_c C_{pc} \Delta T_c$$

#### Tasa de transferencia de calor global

20 
$$Q = UA \Delta T_m = \frac{\Delta T_m}{R_T}$$

Donde,

U = coeficiente de transferencia de calor global

A = área de intercambiador de calor (A)

$R_T$  = resistencia global en el intercambiador de calor

25 
$$\Delta T_m = \text{diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD)} = \frac{\Delta T_h - \Delta T_c}{\ln \frac{\Delta T_h}{\Delta T_c}}$$

- 30 Las resistencias globales se pueden calcular sobre la base de la resistencia de fluido de lado caliente ( $R_{hf}$ ), la resistencia de pared ( $R_w$ ) y la resistencia de fluido de lado frío ( $R_{cf}$ ) usando:

$$R_T = R_{hf} + R_w + R_{cf}$$

Donde,



$$R_{hf} = \frac{1}{A_1 h_h}$$

$$R_w = \frac{\ln \frac{D_2}{D_1}}{2\pi L K_w}$$

$$R_{cf} = \frac{1}{A_2 h_c}$$

En las ecuaciones anteriores  $h_h$  y  $h_c$  son coeficientes de transferencia de calor en el lado caliente (aceite) y lado frío (agua), que se pueden encontrar usando el número de Nusselt para aceite y agua.

Para lado de aceite caliente (tubos interiores de fluido)

$$h_h = Nu_h \left( \frac{K_h}{D_h} \right)$$

$$Nu_h = 0.023 Re_h^{0.3} Pr_h^{0.3}$$

Para lado frío (agua)

$$h_c = Nu_c \left( \frac{K_c}{D_c} \right)$$

$$Nu_c = 0.36 Re_c^{0.55} Pr_c^{0.33}$$

Usando las ecuaciones termodinámicas mencionadas anteriormente, se puede calcular una tasa de transferencia de calor global y un coeficiente de transferencia de calor con respecto al intercambiador de calor 304. Además, la configuración de prueba 300 también incluye una aportación para sustituir un tipo de intercambiadores de calor por otro, que de ese modo permite la evaluación de diferente tipo de intercambiadores de calor al tiempo que se emplea la misma configuración de prueba 300.

Pruebas de estabilidad del HTF

La configuración de prueba 300 descrita en la presente invención también se puede usar para evaluar una estabilidad cíclica del HTF que es un parámetro muy crítico del HTF especialmente para las aplicaciones solares. Por consiguiente, dentro de esta configuración de prueba 300 se pueden simular pruebas cíclicas térmicas, que de otro modo se restringen a ser realizadas en centrales reales basadas en energía solar, y finalmente se puede medir la degradación en las prestaciones del HTF con el tiempo. La presente configuración de prueba 300 tiene la aportación para recogida de muestras de HTF antes y después de cada ciclo de transferencia de calor. Ser recogen y analizan muestras periódicas para monitorizar la degradación cíclica en las propiedades termoquímicas (conductividad de calor, capacidad calorífica, etc.) y propiedades materiales (densidad, viscosidad, etc.) del HTF para pruebas de estabilidad térmica del HTF.

En un ejemplo, se pueden hacer estudios de degradación al monitorizar el cambio en los parámetros de prestaciones con el tiempo mientras se hace circular HTF a través de la configuración de prueba 300 en condiciones de temperatura-presión dinámicas durante cierto periodo (por ejemplo: 21 días). Las muestras de HTF se pueden recoger a través de una lumbrera específica de recogida de muestras antes y después de cualquier ciclo de transferencia de calor y diagnosticarse para determinar propiedades físicas importantes como capacidad calorífica, conductividad térmica y viscosidad. Adicionalmente, se pueden variar las condiciones térmicas dentro de la configuración de prueba 300 para simular ciclos térmicos de calentamiento/enfriamiento que suceden en centrales térmicas reales basadas en energía solar.

Se concibe que la presente invención demuestre ser enormemente ventajosa a través de la realización de evaluación y pruebas del fluido de transferencia de calor en condiciones de funcionamiento dinámicas, que simulan estrechamente

las condiciones dentro de una central de energía térmica real basada en energía solar para lograr resultados más realistas. Tal evaluación puede ser útil para una estimación de las prestaciones de cualquier HTF a una temperatura por encima de 200 °C y preferiblemente alrededor de 400 °C. De manera similar, la estabilidad térmica del HTF y su compatibilidad con el intercambiador de calor 304 también se pueden evaluar de manera más realista en vez de confiar en estudios acelerados a escala de laboratorio realizados en una pequeña cantidad de muestras.

5

Adicionalmente, un efecto acumulativo de diferentes propiedades materiales de HTF y diferentes configuraciones de intercambiador de calor también se puede evaluar hacia capacidad de transferencia de calor, que finalmente ayudará en una selección correcta de intercambiador de calor/configuración para maximizar una salida de un tipo particular de HTF.

- 10 En global, aparte de evaluar el HTF como transferente de calor, la configuración de prueba 300 es extensible y escalable para evaluar estabilidad cíclica y compatibilidad de funcionamiento del HTF con respecto a diferentes intercambiadores de calor y condiciones de funcionamiento dinámicas.

Los dibujos y la descripción anterior dan ejemplos de realizaciones. Los expertos en la técnica apreciarán que uno o más de los elementos descritos se pueden combinar bien un único elemento funcional. Como alternativa, ciertos elementos se pueden dividir en múltiples elementos funcionales. Elementos de una realización se pueden añadir a otra realización.

15

## REIVINDICACIONES

1. Un método para probar y evaluar elementos de transferencia de calor en operaciones a alta temperatura, el método comprende:  
5 introducir (etapa 102) un fluido de transferencia de calor (HTF) y un fluido secundario en al menos un intercambiador de calor;  
medir (etapa 104) al menos un parámetro termodinámico relacionado con la transferencia de calor entre el HTF y el fluido secundario;  
determinar (106) al menos un parámetro termofísico de dicho HTF sobre la base de al menos un parámetro termodinámico medido relacionado con el fluido secundario;  
10 graduar (108) el fluido de transferencia de calor sobre la base del al menos un parámetro termofísico de dicho HTF; el método se caracteriza por que comprende además:  
determinar (etapa 112) al menos un parámetro relacionado con la estabilidad para el fluido de transferencia de calor, en donde el al menos un parámetro relacionado con la estabilidad indica al menos una tasa de degradación en las prestaciones del fluido de transferencia de calor en un periodo de tiempo predeterminado.  
15 2. El método según la reivindicación 1, en donde dicho al menos un parámetro termofísico de dicho HTF se determina además sobre la base de un parámetro termodinámico conocido del fluido secundario.  
3. El método según la reivindicación 1, en donde el HTF y el fluido secundario son al menos uno de: un fluido acuoso monofásico, un fluido bifásico (vapor/líquido), un fluido gaseoso, un fluido acuoso con aditivos, y un fluido acuoso con partículas en suspensión.  
20 4. El método según la reivindicación 1, en donde al menos un parámetro termodinámico medido se basa en al menos uno de una temperatura, una densidad y una presión del fluido secundario en la salida del intercambiador de calor.  
5. El método según la reivindicación 1, en donde al menos un parámetro termofísico determinado corresponde a una propiedad termofísica del HTF y en donde dicha propiedad corresponde a uno o más de una viscosidad, una conductividad térmica, una densidad y una capacidad calorífica.  
25 6. El método según la reivindicación 1, en donde la medición comprende medir el al menos un parámetro termodinámico relacionado con dicho HTF.  
7. El método según la reivindicación 1, en donde la introducción comprende proporcionar dicho HTF y dicho fluido secundario a temperatura, presión y caudal predeterminados en dicho al menos un intercambiador de calor.  
30 8. El método según la reivindicación 1, que comprende además:  
determinar (etapa 110) un coeficiente de transferencia de calor para dicho al menos un intercambiador de calor; y  
evaluar las prestaciones de dicho al menos un intercambiador de calor al menos sobre la base de dicho coeficiente de transferencia de calor.  
9. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho coeficiente de transferencia de calor se determina sobre la base de al menos uno de:  
35 una diferencia de temperatura y presión entre una entrada y una salida de dicho intercambiador de calor, y  
al menos un parámetro termodinámico medido asociado con el HTF y/o el fluido secundario.  
10. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:  
mostrar (etapa 114) al menos uno de: graduación del fluido de transferencia de calor, indicaciones de prestaciones del intercambiador de calor; al menos un parámetro termofísico determinado relacionado con el HTF a una temperatura de al menos aproximadamente 200 °C, y dicha tasa de degradación en las prestaciones del HTF.  
40 11. Un sistema (200) para probar y evaluar elementos de transferencia de calor en operaciones a alta temperatura, el sistema comprende:  
medios de introducción (202) para introducir un fluido de transferencia de calor (HTF) y un fluido secundario;  
45 al menos un intercambiador de calor (204) para transferencia de calor entre el HTF y el fluido secundario;

medios de medición (206) para medir al menos un parámetro termodinámico relacionado con la transferencia de calor entre el HTF y el fluido secundario;

medios de procesamiento (208) para determinar al menos un parámetro termofísico de dicho HTF al menos sobre la base de al menos un parámetro termodinámico medido relacionado con el fluido secundario;

- 5 medios de graduación (210) para graduar el HTF sobre la base del al menos un parámetro termofísico determinado de dicho fluido de transferencia de calor; caracterizado por que el sistema comprende además

medios de determinación de estabilidad térmica configurados para determinar al menos un parámetro relacionado con la estabilidad para el HTF, en donde el al menos un parámetro relacionado con la estabilidad indica al menos una tasa de degradación en las prestaciones del fluido de transferencia de calor en un periodo de tiempo predeterminado.

- 10 12. El sistema (200) según la reivindicación 11, en donde los medios de procesamiento (208) determinan dicho al menos un parámetro termofísico relacionado con dicho HTF además sobre la base de un parámetro termodinámico conocido del fluido secundario.

13. El sistema (200) según la reivindicación 11, en donde los medios de medición (206) miden el al menos un parámetro termodinámico relacionado con el fluido secundario al menos sobre la base de una temperatura, una densidad y una presión del fluido secundario en la salida del intercambiador de calor.

- 15 14. El sistema (200) según la reivindicación 11, en donde los medios de medición (206) miden al menos un parámetro termodinámico relacionado con dicho HTF.

15. El sistema (200) según la reivindicación 11, en donde los medios de introducción (202) comprenden un calentador, una bomba y un caudalímetro para proporcionar dicho HTF y dicho fluido secundario a una temperatura, una presión y un caudal predeterminados en dicho al menos un intercambiador de calor.

- 20 16. El sistema (200) según la reivindicación 11, que comprende además:

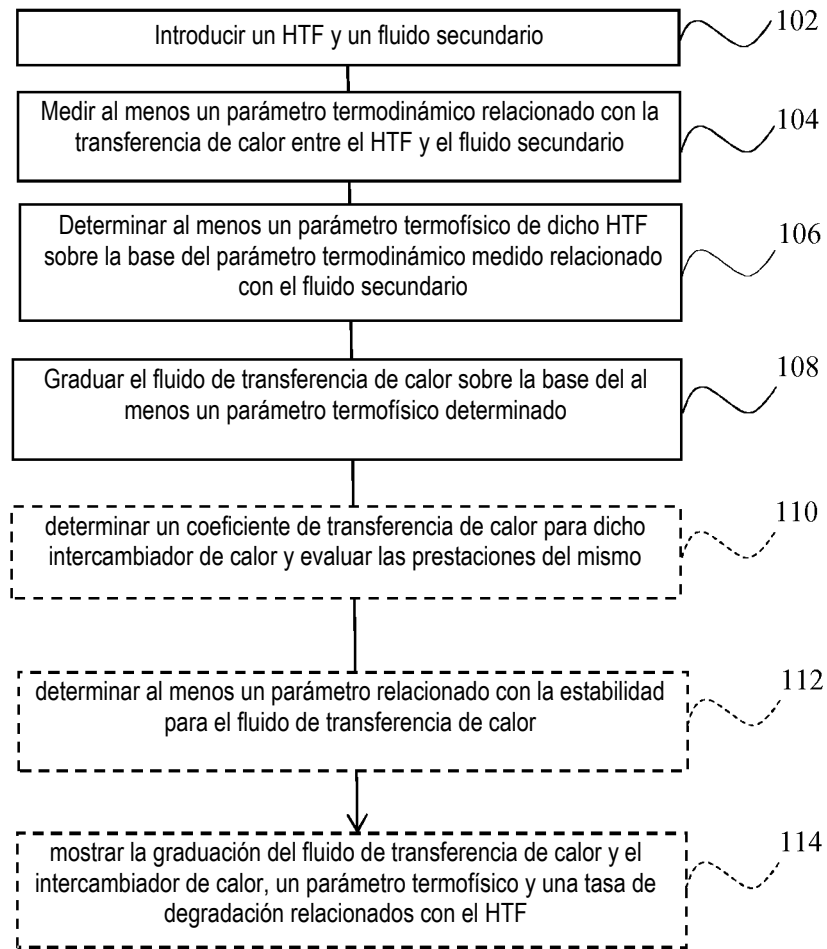
medios de determinación para determinar un coeficiente de transferencia de calor de al menos un intercambiador de calor; y

medios de evaluación para evaluar un indicador de prestaciones de dicho al menos un intercambiador de calor.

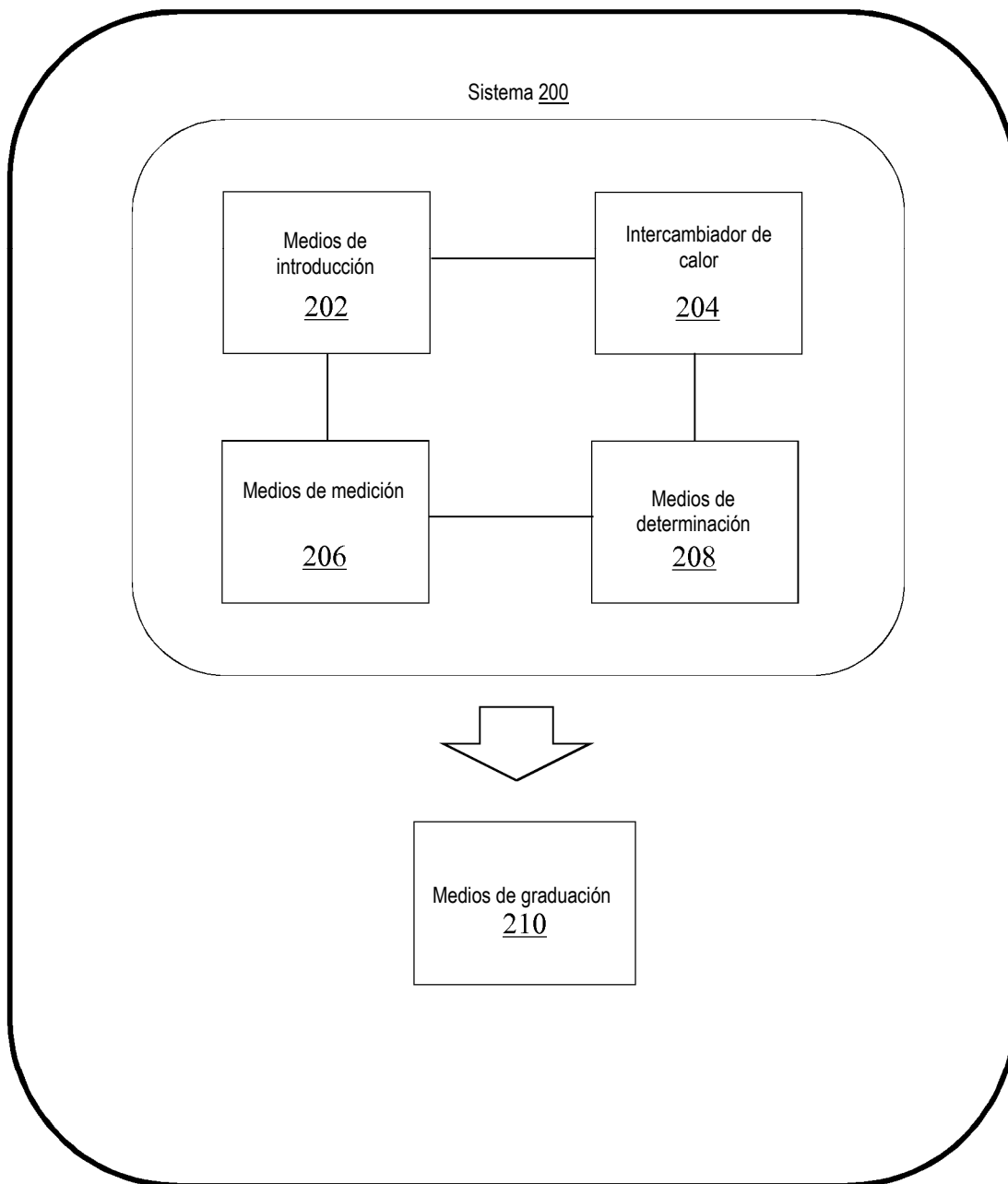
- 25 17. El sistema (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, dichos medios de determinación determinan dicho coeficiente de calor sobre la base de al menos uno de: una diferencia de temperatura y presión entre la entrada y la salida de dicho intercambiador de calor, y al menos un parámetro termodinámico medido asociado con el HTF y el fluido secundario.

18. El sistema (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:

- 30 una pantalla para exponer al menos uno de: graduación del fluido de transferencia de calor, al menos un parámetro termofísico determinado relacionado con el HTF a una temperatura de al menos aproximadamente 200 °C, indicaciones de prestaciones del intercambiador de calor y dicha tasa de degradación en las prestaciones del fluido de transferencia de calor.



**Figura 1**



**Figura 2**

300

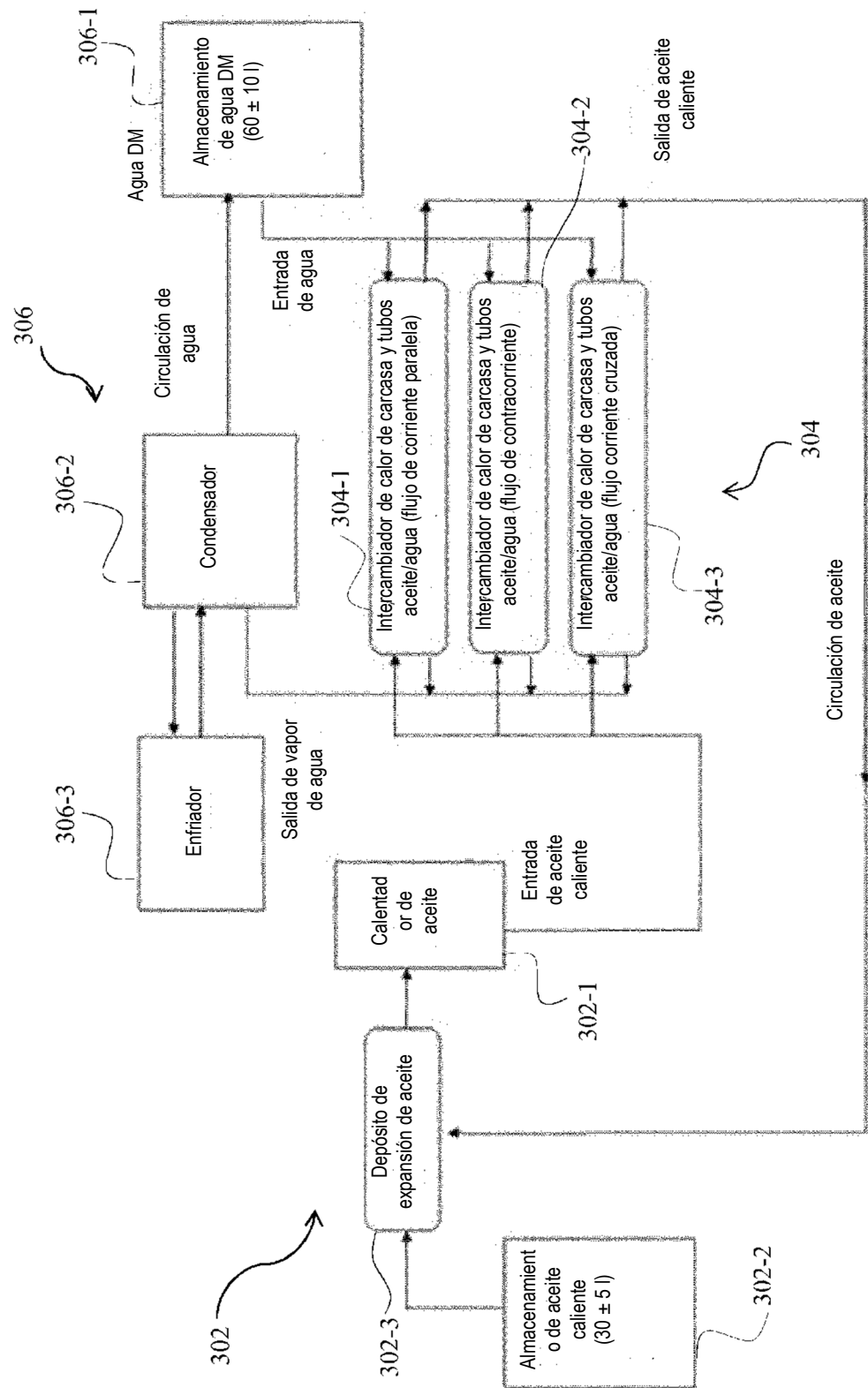


Figura 3