



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 363 455**

51 Int. Cl.:

**F01K 3/00** (2006.01)

**F01K 3/02** (2006.01)

**F01K 3/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08160520 .6**

96 Fecha de presentación : **16.07.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2182179**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.05.2010**

54

Título: **Sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica y método de almacenamiento de energía termoeléctrica.**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**04.08.2011**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**04.08.2011**

73

Titular/es: **ABB RESEARCH Ltd.**  
**Affolternstrasse 44**  
**8050 Zürich, CH**

72

Inventor/es: **Ohler, Christian y**  
**Mercangoez, Mehmet**

74

Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 363 455 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

Sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica y método de almacenamiento de energía termoeléctrica

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general al almacenamiento de energía eléctrica. Se refiere en particular al sistema y método para el almacenamiento de energía eléctrica en la forma de energía térmica en un almacenamiento de energía térmica.

10

**Técnica antecedente**

Los generadores de carga base tales como las plantas de energía nuclear y los generadores con fuentes de energía estocástica, intermitente tal como las turbinas eólicas y los paneles solares generan exceso de potencia eléctrica durante momentos de baja demanda de potencia. Los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica a gran escala son un medio de desviar este exceso de energía a momentos de picos de demanda y equilibrar la generación y consumo global de electricidad.

15

20

En una solicitud de patente pionera EP1577548 el solicitante ha descrito la idea de un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica (TEES, del inglés "Thermoelectric, Energy Storage"). Un TEES convierte el exceso de electricidad en calor, almacena el calor y convierte de nuevo el calor en electricidad, cuando es necesario. Tal sistema de almacenamiento de energía es robusto, compacto, independiente del emplazamiento y es adecuado para el almacenamiento de energía eléctrica en grandes cantidades. La energía térmica se puede almacenar en la forma de un calor sensible por medio de un cambio en la temperatura o en forma de calor latente por medio del cambio de fase o una combinación de ambos. El medio de almacenamiento para el calor sensible puede ser un sólido, líquido o un gas. El medio de almacenamiento para el calor latente tiene lugar por medio de un cambio de fase y puede involucrar cualquiera de estas fases o una combinación de ellas en serie o en paralelo.

25

30

Todas las tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica tienen inherentemente una eficiencia total limitada. Por ello, por cada unidad de energía eléctrica usada para cargar el almacenamiento, sólo un cierto porcentaje se recupera como energía eléctrica tras la descarga. El resto de energía eléctrica se pierde. Si, por ejemplo, el calor que se ha almacenado en un sistema TEES se proporciona a través de resistencias de calefacción, tiene aproximadamente un la eficiencia total del 40%. La eficiencia del almacenamiento de energía termoeléctrica está limitada por varias razones cuya raíz es la segunda ley de la termodinámica. En primer lugar, la conversión del calor en trabajo mecánico está limitada a la eficiencia de Carnot. En segundo lugar, el coeficiente de rendimiento de cualquier bomba de calor disminuye cuando aumenta la diferencia de temperatura entre el nivel de entrada y el nivel de salida. En tercer lugar, cualquier flujo de calor desde un fluido de trabajo a un almacenamiento térmico y viceversa requiere una diferencia de temperatura para que tenga lugar. Este hecho degrada inevitablemente los niveles de temperatura y por ello la capacidad del calor para realizar trabajo.

35

40

Ha de tenerse en cuenta que muchos procesos industriales involucran el suministro de energía térmica y el almacenamiento de energía térmica. Los ejemplos son los dispositivos de refrigeración, bombas de calor, aire acondicionado y la industria de procesos. En las plantas de energía solar térmica, se proporciona calor, posiblemente almacenado, y se convierte en energía eléctrica. Sin embargo todas estas aplicaciones son diferentes de los sistemas TEES debido a que no se implican con el calor con la finalidad exclusiva del almacenamiento de electricidad.

45

50

Es conocido en la técnica que se puede proporcionar calor a la unidad de almacenamiento térmico por medio de una bomba de calor. Por ejemplo, una máquina de Stirling (para referencia, véase la Patente de Estados Unidos 3080706, columna 2, líneas 22-30). También, la patente internacional WO 2007/134466 describe un sistema TEES que tiene una bomba de calor integrada.

55

Una bomba de calor requiere un trabajo para mover la energía térmica desde la fuente fría al sumidero de calor más caliente. Dado que la cantidad de energía depositada en el lado caliente es mayor que el trabajo requerido en una cantidad igual a la energía tomada desde el lado frío, una bomba de calor "multiplicará" el calor si se compara con la generación de calor resistivo. La relación de salida de calor al trabajo introducido se denomina coeficiente de rendimiento y es un valor mayor que uno. En esta forma, el uso de una bomba de calor aumentará la eficiencia de total del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica. La eficiencia total es la cantidad de electricidad proporcionada desde el almacenamiento dividida por la cantidad de electricidad proporcionada al almacenamiento.

60

65

La Patente US 4089744 describe un método de almacenamiento de energía térmica por medio de un bombeo de calor reversible. El exceso de producción eléctrica se almacena en forma de calor sensible utilizándola para elevar el nivel de temperatura de un fluido de almacenamiento de calor. En este esquema, la fuente térmica de bajo nivel es agua caliente almacenada, que también sirve como el fluido de trabajo en la bomba de calor y ciclos de turbina. Un análisis termodinámico, tal como el tipo de análisis mostrado en la Figura 6, muestra que la eficiencia de esquemas equivalentes al del documento US 4089744 está limitado a aproximadamente el 50%.

Por ello, hay una necesidad de proporcionar un almacenamiento de energía termoeléctrica eficiente que tenga una eficiencia total, preferiblemente, mayor del 55%.

## 5 Descripción de la invención

Es un objetivo de la invención proporcionar un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica para la conversión de energía eléctrica en energía térmica a ser almacenada y convertida de nuevo en energía eléctrica con una eficiencia total mejorada. Este objetivo se consigue mediante el sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica de acuerdo con la reivindicación 1 y un método de acuerdo con la reivindicación 7. Las realizaciones preferidas son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica que comprende una unidad de almacenamiento caliente que está en conexión con un intercambiador de calor y contiene un medio de almacenamiento térmico, un circuito de fluido de trabajo para la circulación de un fluido de trabajo a través del intercambiador de calor para la transferencia de calor con el medio de almacenamiento térmico en el que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en la unidad de almacenamiento caliente se minimiza durante la transferencia de calor.

Cuando el sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica está en un ciclo de carga (o "bomba de calor"), la máquina termodinámica incluye una turbina y cuando el sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica está en un ciclo de descarga (o de "turbina"), la máquina termodinámica incluye un compresor.

Preferiblemente, la unidad de almacenamiento caliente comprende al menos dos unidades de almacenamiento caliente, cada una de las unidades de almacenamiento caliente está en conexión con un intercambiador de calor y contiene un medio de almacenamiento térmico.

En una realización preferida, el intercambiador de calor o intercambiadores de calor son comunes tanto al ciclo de carga como al ciclo de descarga. Sin embargo, es también posible que haya intercambiadores de calor separados para los ciclos de carga y descarga. Preferiblemente se conectan hidráulicamente dos o más intercambiadores de calor utilizados en serie.

Adicionalmente, el medio de almacenamiento térmico puede ser un líquido y el caudal del medio de almacenamiento térmico se puede modificar de modo que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en cada unidad de almacenamiento caliente se minimice durante la transferencia de calor.

El medio de almacenamiento térmico de la presente invención puede ser un sólido o un líquido. La realización particular ilustrada en las Figuras 3 y 4 de la descripción adjunta muestra una versión en la que el medio de almacenamiento térmico es un líquido.

En una realización preferida, se utiliza un único circuito de fluido de trabajo que contiene un único tipo de fluido de trabajo tanto para el ciclo de carga como el de descarga. Sin embargo, es posible también que haya circuitos de fluido de trabajo separados para los ciclos de carga y de descarga. Adicionalmente, cada circuito de fluido de trabajo separado puede contener un tipo diferente de fluido de trabajo.

Preferiblemente, la temperatura del medio de almacenamiento térmico en los puntos de entrada y salida de cada intercambiador de calor conectado se modifica de modo que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en cada unidad de almacenamiento caliente se minimice durante la transferencia de calor.

Adicionalmente, al menos una de las unidades de almacenamiento caliente puede contener un tipo diferente de medio de almacenamiento térmico de modo que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en cada unidad de almacenamiento caliente se minimice durante la transferencia de calor.

En una realización preferida, la unidad o unidades de almacenamiento caliente comprenden un medio de almacenamiento térmico para el almacenamiento de calor sensible y un medio de almacenamiento de cambio de fase para el almacenamiento de calor latente, que se disponen de modo que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en cada unidad de intercambio de calor se minimice durante la transferencia de calor.

Preferiblemente, la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en cada unidad de almacenamiento caliente es menor de 50°C durante la transferencia de calor.

En un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para el almacenamiento de energía termoeléctrica en un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica, comprendiendo el método la carga de una unidad de almacenamiento caliente mediante el suministro de calor por medio de un intercambiador de calor a

un medio de almacenamiento térmico mediante la compresión de un fluido de trabajo, la descarga de la unidad de almacenamiento caliente mediante la expansión del fluido de trabajo calentado por medio del intercambiador de calor desde el medio de almacenamiento térmico a través de una máquina termodinámica y la modificación de los parámetros del medio de almacenamiento térmico para asegurar que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico se minimiza durante la carga y la descarga.

Preferiblemente, la etapa de modificación de los parámetros del medio de almacenamiento térmico comprende la modificación del caudal del medio de almacenamiento térmico.

Adicionalmente, la etapa de modificación de los parámetros del medio de almacenamiento térmico puede comprender la modificación de la temperatura inicial y de la temperatura final del medio de almacenamiento térmico.

Preferiblemente, la etapa de modificación de los parámetros del medio de almacenamiento térmico comprende la modificación del tipo de medio de almacenamiento térmico.

### Breve descripción de los dibujos

La materia objeto de la invención se explicará con más detalle en el texto siguiente con referencia a las realizaciones de ejemplo preferidas, que se ilustran en los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 muestra un diagrama esquemático simplificado de un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica;

la Figura 2 es un diagrama de entalpía-presión del ciclo de bomba de calor y del ciclo de turbina en un sistema TEES de ejemplo;

la Figura 3 es un ilustración esquemática de una sección transversal a través de una parte del ciclo de bomba de calor de un sistema TEES de la presente invención;

la Figura 4 es una ilustración esquemática de una sección transversal a través de una parte del ciclo de turbina de un sistema TEES de la presente invención;

las Figuras 5a – 5f representan diagramas simplificados de entalpía-temperatura de los fluidos de trabajo y de los fluidos de almacenamiento térmico en los intercambiadores de calor durante la carga y la descarga;

la Figura 6 muestra un diagrama de entalpía-temperatura de la transferencia de calor a partir de los ciclos en un sistema TEES de la presente invención;

la Figura 7 muestra un diagrama de entalpía-temperatura de la transferencia de calor a partir de los ciclos en un escenario optimizado en un sistema TEES de la presente invención.

Por consistencia, los mismos números de referencia se usan para indicar elementos similares ilustrados a lo largo de las figuras.

### Descripción detallada de realizaciones preferidas

La figura 1 representa un diagrama esquemático del sistema TEES 10 de acuerdo con la presente invención que comprende un almacenamiento caliente 12 y un almacenamiento frío 14 que se acoplan entre sí por medio de un sistema de ciclo de bomba de calor 16 y un sistema de ciclo de turbina 18. El almacenamiento caliente 12 contiene un medio de almacenamiento térmico, el almacenamiento frío 14 es un sumidero de calor y tanto el ciclo de bomba de calor como el ciclo de turbina contienen un fluido de trabajo.

El sistema de ciclo de bomba de calor 16 comprende, en la dirección del flujo del fluido de trabajo, un evaporador 20, una cadena de compresores 22, un intercambiador de calor 24 y una válvula de expansión 26. El sistema de ciclo de turbina 18 comprende, en la dirección del flujo del fluido de trabajo, una bomba de alimentación 28, un intercambiador de calor 30, una turbina 32 y un condensador 34. Los intercambiadores de calor 24, 30 tanto en el sistema del ciclo de la bomba de calor como en el sistema del ciclo de turbina se sitúan para intercambiar calor con el punto caliente 12. El evaporador 20 y el condensador 34 en el sistema de ciclo de bomba de calor 16 y en el sistema de ciclo de turbina 18, respectivamente, se sitúan para intercambiar calor con el almacenamiento frío 14.

El almacenamiento frío 14 es una reserva de calor a una temperatura más baja que la temperatura del almacenamiento caliente. Sin embargo, la temperatura del almacenamiento frío puede ser más elevada o más baja que la temperatura ambiente. De hecho, el almacenamiento frío puede ser otro sumidero de calor tal como agua de refrigeración o aire del ambiente. En una realización alternativa, la turbina y la cadena de compresores pueden ser máquinas termodinámicas basadas en el desplazamiento positivo tal como expansores o compresores alternativos o rotativos.

La cadena de compresores 22 puede comprender uno o varios compresores individuales con posible refrigeración intermedia (no mostrada). La turbina 32 puede comprender una o varias turbinas individuales con posibles precalentadores (no mostrados). De modo similar, el evaporador 20, el condensador 34, la bomba de alimentación 28 y la válvula de expansión 26 pueden comprender una o múltiples unidades.

En funcionamiento, el fluido de trabajo fluye alrededor del sistema TEES 10 de la siguiente manera. El fluido de trabajo en el compresor 22 está inicialmente en forma de vapor y se utiliza una energía eléctrica sobrante para comprimir y calentar el fluido de trabajo. El fluido de trabajo se suministra a través del intercambiador de calor 24 en donde el fluido de trabajo descarga el calor en el medio de almacenamiento caliente. El fluido de trabajo comprimido sale del intercambiador de calor y entra en la válvula de expansión 26. Aquí el fluido de trabajo se expande para disminuir la presión hacia el evaporador. El fluido de trabajo fluye desde la válvula de expansión dentro del evaporador 20 en donde el fluido de trabajo se calienta hasta la evaporación. Esto se realiza usando el calor disponible en el almacenamiento frío.

En el condensador 34, el fluido de trabajo se condensa mediante el intercambio de calor con el almacenamiento frío 14. El fluido de trabajo condensado sale del condensador a través de la salida y se bombea al interior del intercambiador de calor 30 en el almacenamiento caliente por medio de la bomba de alimentación 28. Aquí el fluido de trabajo se calienta, evapora y sobrecalienta a partir del calor almacenado en el medio de almacenamiento caliente. El fluido de trabajo sale del intercambiador de calor 30 y entra en la turbina 32 donde el fluido de trabajo se expande provocando de ese modo que la turbina genere energía eléctrica.

La válvula de expansión 26, el evaporador 20 y el compresor 22 están en funcionamiento durante un período de carga o de ciclo de "bomba de calor". De modo similar, la turbina 32, el condensador 34 y la bomba de alimentación 28 están en funcionamiento durante un período de descarga o de ciclo de "turbina". El almacenamiento caliente 12 está funcionamiento en todo momento, durante la carga, el almacenamiento y la descarga. Estos dos ciclos se pueden mostrar claramente en un diagrama de entalpía-presión tal como el de la Figura 2.

El ciclo de línea continua mostrado en la Figura 2 representa el ciclo de bomba de calor que está cargando el almacenamiento caliente y el ciclo de bomba de calor sigue una dirección contraria a la de las agujas del reloj como se indica por las flechas. El fluido de trabajo se supone que es agua en esta realización de ejemplo. El ciclo de la bomba de calor comienza en el evaporador, en el punto A en donde se evapora el vapor para formar vapor usando el calor del almacenamiento frío (transición A→B1 en la Figura 2). En la siguiente etapa del ciclo de la bomba de calor, el vapor es comprimido utilizando energía eléctrica en dos etapas desde el punto B1 al C1 y del B2 al C2. En donde tiene lugar la compresión en dos etapas esto es una consecuencia de la cadena de compresores que se compone de dos unidades individuales. En medio de estas dos etapas de compresión, el fluido de trabajo se refrigera desde el punto C1 al B2. El vapor caliente, comprimido, sobrecalentado sale de la cadena de compresores en el punto C2 donde se refrigera hasta la temperatura de saturación en D1, se condensa en D2 y se refrigera adicionalmente hasta el punto D3. Esta refrigeración y condensación se realiza mediante la transferencia de calor desde el fluido de trabajo dentro del almacenamiento caliente, almacenando de ese modo la energía calorífica. El fluido de trabajo refrigerado se devuelve a su estado de baja presión inicial en el punto A por medio de la válvula de expansión.

El ciclo de líneas de puntos mostrado en la Figura 2 representa el ciclo de turbina Rankine que es la descarga del almacenamiento caliente y el ciclo sigue una dirección de las agujas del reloj como se indica por las flechas. El ciclo de turbina Rankine comienza en el punto E, en donde se utiliza la bomba para bombear el fluido de trabajo en su estado líquido desde el punto E al F1. A continuación, desde el punto F1 hasta el punto G, el fluido de trabajo recibe el calor desde el medio de almacenamiento térmico. En detalle, el calor se transfiere desde el medio de almacenamiento térmico hasta el fluido de trabajo haciendo que el fluido de trabajo se caliente en F2, pase por ebullición en F3 y alcance un cierto grado de sobrecalentamiento en G. El vapor del fluido de trabajo sobrecalentado en el punto G se expande hasta el punto H en un dispositivo mecánico tal como una turbina para generar electricidad. A continuación de la expansión, el fluido de trabajo entra en el condensador donde se condensa hasta su estado inicial en el punto E mediante el intercambio de calor con el almacenamiento frío.

La eficiencia total del proceso de almacenamiento de energía completo, esto es el ciclo de bomba de calor del ciclo de turbina Rankine, se calcula de la siguiente manera; el trabajo proporcionado por la expansión de la turbina dividido por el trabajo usado en el compresor de la bomba de calor:

$$-(h_G - h_H) / (h_{C2} - h_{B2} + h_{C1} - h_{B1}),$$

en donde la letra h indica la entalpía del punto correspondiente. Para las condiciones de ejemplo representadas en la Figura 2, la eficiencia total es del 50,8%. No es posible juzgar a partir solamente del diagrama de entalpía-presión si es un sistema TEES particularmente eficaz o cómo se podría mejorar en su eficiencia.

Con referencia al sistema TEES ilustrado en la Figura 1, el intercambiador de calor 24 en los componentes del ciclo de bomba de calor 16 y el intercambiador de calor 30 en los componentes del ciclo de turbina 18 pueden

comprender diversos intercambiadores de calor individuales dispuestos en serie, como se ilustra en las Figuras 3 y 4, respectivamente.

La Figura 3 representa un diagrama esquemático simplificado de los componentes de un ciclo de bomba de calor 16 en un sistema 10 de almacenamiento de energía termoeléctrica de la presente invención. En este caso, se disponen en serie tres unidades de almacenamiento caliente x, y, z. Cada unidad de almacenamiento caliente x, y, z comprende un intercambiador de calor 36, 38, 40 en conexión con un par de tanques de almacenamiento 42, 44, 46. Cada par de tanques de almacenamiento comprende un tanque frío y un tanque caliente en el que el flujo del medio de almacenamiento térmico va desde el tanque frío al tanque caliente por medio del intercambiador de calor asociado. Las tres unidades de almacenamiento caliente de la Figura 3 se indican por x, y, z de izquierda a derecha en el diagrama. En la presente realización, los intercambiadores de calor son intercambiadores de calor a contracorriente y el fluido de trabajo es agua.

En funcionamiento, los componentes del ciclo de bomba de calor 16 de la Figura 3 trabajan esencialmente en una forma similar a los componentes del ciclo de la bomba de calor 16 del sistema TEES descrito con respecto a las Figuras 1 y 2. Además, el fluido de trabajo fluye a través de los dos intercambiadores de calor separados adicionales. En la situación de ejemplo mostrada en la Figura 3, en la dirección de flujo del fluido de trabajo, las temperaturas inicial y final del fluido de trabajo cuando pasa a través del intercambiador de calor 40 son 510°C y 270°C, a través del intercambiador de calor 38 son 270°C y 270°C y a través del intercambiador de calor 36 son 270°C y 100°C. Con ello, se consigue una caída de temperatura global de 410°C.

Las características del fluido de trabajo (mostradas como una línea continua) y del medio de almacenamiento térmico (mostrado como una línea de rayas) de cada uno de los tres intercambiadores de calor 36, 38, 40 y pares de tanques de almacenamiento asociados 42, 44, 46 durante la carga se muestra en la Figura 5 en los gráficos de entalpía-temperatura a), b) y c), respectivamente. La temperatura del medio de almacenamiento térmico en cada etapa es creciente, mientras que la temperatura del fluido de trabajo disminuye sólo en las etapas a) y c).

La Figura 4 representa un diagrama esquemático simplificado de los componentes del ciclo de turbina 18 en un sistema 10 de almacenamiento de energía termoeléctrica de la presente invención. En este caso, la disposición de las tres unidades de almacenamiento caliente individuales x, y, z, dispuestas en serie, son las mismas unidades mostradas en la Figura 3. De nuevo, cada par de tanques de almacenamiento 42, 44, 46 comprende un tanque caliente y un tanque frío, sin embargo, el flujo del medio de almacenamiento térmico es desde el tanque caliente al tanque frío a través del intercambiador de calor.

En funcionamiento, los componentes del ciclo de turbina 18 de la Figura 4 trabajan esencialmente en una manera similar a los componentes del ciclo de turbina del sistema TEES descrito con respecto a las Figuras 1 y 2. Además, el fluido de trabajo fluye a través de los dos intercambiadores de calor separados adicionales. En la situación de ejemplo mostrada en la Figura 4, en la dirección del flujo del fluido de trabajo, las temperaturas inicial y final del fluido de trabajo cuando pasa a través del intercambiador de calor 36 son 80°C y 240°C, a través del intercambiador de calor 38 son 240°C y 240°C y a través del intercambiador de calor 40 son 240°C y 490°C. De ese modo, se consigue un aumento global de temperatura de 410°C.

Cuando los componentes del ciclo de bomba de calor 16 están en funcionamiento, entonces el conducto del fluido de trabajo para el ciclo de bomba de calor se acopla a las unidades de almacenamiento caliente x, y, z. Cuando los componentes del ciclo de turbina 18 están en funcionamiento, entonces el conducto del fluido de trabajo para la ciclo de turbina se acoplan a las unidades de almacenamiento caliente x, y, z en su lugar. En esta forma, el ciclo de turbina obtiene energía térmica de las unidades de almacenamiento caliente, que se depositó mediante el ciclo de bomba de calor.

Las características del fluido de trabajo (mostrado como una línea continua) y del medio de almacenamiento térmico (mostrado como una línea de rayas) de cada uno de los tres intercambiadores de calor 36, 38, 40 y pares de tanques de almacenamiento asociados 42, 44, 46 durante la descarga se muestra en la Figura 5 en los gráficos de entalpía-temperatura d), e) y f), respectivamente. La temperatura del medio de almacenamiento térmico en cada etapa disminuye, mientras que la temperatura del fluido de trabajo aumenta solamente en las etapas d) y f).

La Figura 6 muestra las isobaras, es decir las líneas de presión constante, de las Figuras 5 a) – f) en un único gráfico de temperatura-entalpía para una realización del sistema particular. Adicionalmente, las letras mayúsculas usadas son consistentes con la Figura 2. Por ello, la Figura 6 ilustra el proceso de transferencia de calor en las tres unidades de almacenamiento caliente separadas x, y, z durante la carga y la descarga del sistema de TEES 10.

Las isobaras de línea continua C2 a D3 representan el ciclo de bomba de calor, las isobaras de línea de puntos F1 a G representan el ciclo de turbina Rankine y las isobaras de líneas de rayas X1 a X2, Y1 a Y2, Z1 a Z2 representan el medio de almacenamiento térmico en las tres unidades de almacenamiento caliente x, y, z, respectivamente.

El calor sólo puede fluir desde una temperatura más alta a una temperatura más baja. Consecuentemente, las isobaras características para el fluido de trabajo durante la refrigeración en el ciclo de bomba de calor tienen que

estar por encima de las isobaras características para el medio de almacenamiento térmico, que a su vez tienen que estar por encima de las isobaras características para el fluido de trabajo durante el calentamiento en el ciclo de turbina. La pendiente de estas isobaras características se define por el producto del caudal másico (kg/s) y la capacidad calorífica (J/kg/K) de cada medio de almacenamiento térmico con relación al flujo másico del fluido de trabajo. Este producto es diferente para cada una de las tres subsecciones de transferencia de calor; calentamiento/refrigeración de agua líquida en la unidad de almacenamiento caliente x, ebullición/condensación en la unidad de almacenamiento caliente y, y suministro/extracción de calor en la región de sobresaturación en la unidad de almacenamiento caliente z.

Los perfiles de temperatura son estacionarios en el tiempo debido al almacenamiento de calor sensible en el medio de almacenamiento térmico. Por ello, mientras que el volumen del medio de almacenamiento térmico en cada intercambiador de calor permanece constante, el volumen del medio de almacenamiento térmico caliente y frío almacenado en los tanques caliente y frío cambia. También, la distribución de temperatura en los intercambiadores de calor permanece constante.

De modo importante, la presente invención determina que cuanto más pequeña sea la diferencia de temperatura media entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento de calor durante la transferencia de calor, mayor será la eficiencia del sistema TEES. En un gráfico entalpía-temperatura, esta característica se observa como una situación relativamente más cercana de las isobaras características de los ciclos de carga y descarga, como se muestra en la Figura 7.

La presente invención determina que el medio de almacenamiento térmico puede ser el mismo o un fluido diferente en cada unidad de almacenamiento caliente x, y, y z. Adicionalmente, la presente invención determina que el medio de almacenamiento térmico puede estar a una temperatura diferente en cada unidad de almacenamiento caliente x, y, y z. También, la relación de caudal del medio de almacenamiento térmico dentro de cada unidad de almacenamiento caliente puede diferir. Específicamente, para conseguir una eficiencia total optimizada del sistema TEES se pueden utilizar varias combinaciones de medios de almacenamiento térmico, temperatura inicial y final del medio de almacenamiento térmico y caudales del medio de almacenamiento térmico.

En el escenario de eficiencia mejorada ilustrado en la Figura 7, el caudal del medio de almacenamiento térmico a través del intercambiador de calor 38 de la unidad de almacenamiento caliente y se incrementa en un factor de tres en comparación con el escenario de la Figura 6. (Se debería indicar que el caudal del intercambiador de calor 38, en la Figura 6, se ajustó en un valor arbitrario que era relativamente más grande que el caudal en los intercambiadores 36 y 40, pero no se optimizó el caudal como en la Figura 7.) Se puede notar una disminución en las diferencias de temperatura media entre el medio de almacenamiento térmico y el fluido de trabajo durante la transferencia de calor en el intercambiador de calor 38 de la unidad de almacenamiento caliente y. Consecuentemente, un sistema TEES resultante tiene una temperatura de saturación más alta en el intercambiador de calor 38 en el ciclo de turbina que antes (indicado por F2' y F3' en la Figura 7 en comparación con F2 y F3 en la Figura 6). Esto es igual a una temperatura de 230°C en la Figura 7, en comparación con 200°C en la Figura 6. Consecuentemente, la eficiencia total del sistema TEES en la realización de la Figura 7 es de 61,1% en comparación con la eficiencia de 50,8% en la Figura 2.

En otras palabras, la presente invención requiere que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo del ciclo de bomba de calor y el medio de almacenamiento térmico, así como la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo del ciclo de turbina y el medio de almacenamiento térmico sea relativamente pequeña (por ejemplo, más pequeño que 50°C de media). Esto se consigue a través de la modificación de ciertos parámetros del TEES como se ha especificado anteriormente.

En una realización preferida de la presente invención, los tres medios de almacenamiento térmico son fluidos. Por ejemplo, estos pueden ser tres líquidos diferentes de medios de almacenamiento térmico sensible tal como agua, aceite o sales fundidas. También, en una realización preferida de la presente invención, los intercambiadores de calor son intercambiadores de calor a contracorriente, que tienen una temperatura de aproximación de 10 K (es decir la mínima *diferencia* de temperaturas de los dos fluidos que intercambian calor es 10 K) y el dispositivo de expansión es preferiblemente una válvula de expansión termostática.

En una realización preferida adicional, el calor en el intercambiador de calor 38 de ebullición/condensación se transfiere a calor latente de una fase de transición de un medio de almacenamiento que permita incluso una aproximación más cercana de los perfiles de temperatura en la región de ebullición/condensación. Una realización preferida usa vapor como fluido de trabajo tanto para el ciclo de bomba de calor como para el ciclo de turbina.

En una realización preferida alternativa no hay depósito de almacenamiento frío, sino que en su lugar el evaporador y el condensador usan calor del ambiente como un depósito (infinitamente grande) para el lado frío del ciclo de bomba de calor y el ciclo de turbina. El almacén frío de la Figura 1, es un segundo depósito de almacenamiento de calor, tiene un almacenamiento de calor latente en temperaturas alrededor de 100°C en el lado frío del ciclo de bomba de calor y el ciclo de turbina. Debido a la dependencia respecto a la temperatura de la presión de saturación de los fluidos de trabajo tal como al agua, tal depósito de almacenamiento de calor adicional puede dar como

resultado una mayor economía con relación al compresor y a la turbina. Se prevé que esta economía compensaría en exceso el coste adicional de este depósito con tiempos de amortización moderadamente largos.

5 El experto en la técnica será consciente de que el sistema TEES, como se ilustra en las Figuras 1, 3 y 4, se puede realizar de varias formas diferentes. Por ejemplo, el almacenamiento caliente puede consistir en:

- Una estructura sólida con intercambiadores de calor embebidos equipados con medios apropiados para manejar la expansión y contracción del medio de almacenamiento con el cambio de temperaturas.
- 10 • Un sistema de almacenamiento de sales fundidas de dos tanques con intercambiadores de calor entre los tanques y flujos de sal fundida desde el tanque frío al caliente durante el período de carga y desde el tanque caliente al frío durante el de descarga.
- Un medio de almacenamiento de calor de sal fundida y líquido de múltiples tanques calientes y múltiples tanques fríos en cascada a diferentes temperaturas entre la temperatura de funcionamiento del evaporador y la temperatura del fluido de trabajo de bomba de calor a la salida de los procesos de compresión.
- 15 • Un material de cambio de fase con una temperatura de cambio de fase adecuada por debajo de la temperatura de condensación del fluido de trabajo en bomba de calor a la presión de funcionamiento alta y por encima del punto de ebullición del fluido de trabajo en ciclo de turbina a la presión de funcionamiento alta.
- Cualquier combinación de las opciones de almacenamiento térmico mencionadas anteriormente en serie y en paralelo.
- 20 • Dos, tres (como se muestra en las Figuras 3 y 4), cuatro o más unidades de almacenamiento en el almacenamiento caliente.

25 El experto en la materia será consciente de que el condensador y el evaporador en el sistema TEES se puede sustituir por un dispositivo intercambiador de calor multipropósito que puede asumir ambos papeles, dado que la evaporación para el ciclo de bomba de calor y la condensación para el ciclo de turbina se realizarán en períodos diferentes. De modo similar los papeles de turbina y compresor se pueden realizar por la misma maquinaria, denominada en ese documento como máquina termodinámica capaz de alcanzar ambas tareas.

30 El frío de trabajo preferido para la presente invención es agua; principalmente debido a las elevadas eficiencias del ciclo de bomba de calor y ciclo de turbina basados en agua y a las agradables propiedades del agua como fluido de trabajo, es decir ningún potencial respecto al calentamiento global, potencial de destrucción del ozono, ningún peligro para la salud etc. Para el funcionamiento de la presente invención a temperaturas ambientes por debajo del punto de congelación del agua, se puede elegir un refrigerante comercial como el fluido de trabajo de bomba de calor o se puede añadir un segundo ciclo más bajo de bomba de calor en cascada con el ciclo basado en agua para  
 35 proporcionar el calor de evaporación.



**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica (10) para proporcionar energía térmica a una máquina termodinámica para la generación de electricidad, que comprende;
- una unidad de almacenamiento caliente (12) que está en conexión con un intercambiador de calor (24, 30) y contiene un medio de almacenamiento térmico,  
 un circuito de fluido de trabajo para la circulación de un fluido de trabajo a través del intercambiador de calor (24, 30) para la transferencia de calor con el medio de almacenamiento térmico y  
 10 en el que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en un punto de entrada y uno de salida del intercambiador de calor (24, 30) es menor de 50°C durante la transferencia de calor.
- 15 2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la unidad de almacenamiento caliente comprende al menos dos unidades de almacenamiento caliente (x, y, z), cada unidad de almacenamiento caliente está en conexión con el intercambiador de calor (36, 38, 40) y contiene un medio de almacenamiento térmico.
- 20 3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el medio de almacenamiento térmico es un líquido y el caudal del medio de almacenamiento térmico se modifica de modo que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en cada unidad de almacenamiento caliente (x, y, z) sea menor de 50°C durante la transferencia de calor.
- 25 4. El sistema de acuerdo con una cualquiera de la reivindicación 1 a la reivindicación 3, en el que la temperatura del medio de almacenamiento térmico en los puntos de entrada y salida de cada intercambiador de calor conectado (36, 38, 40) se modifica de modo que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en cada unidad de almacenamiento caliente (x, y, z) sea menor de 50°C durante la transferencia de calor.
- 30 5. El sistema de acuerdo con cualquiera de la reivindicación 1 a la reivindicación 4, en el que al menos una de las unidades de almacenamiento caliente contiene un tipo diferente de medio de almacenamiento térmico de modo que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en cada unidad de almacenamiento caliente (x, y, z) sea menor de 50°C durante la transferencia de calor.
- 35 6. El sistema de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en cada unidad de almacenamiento caliente (x, y, z) es menor de 50°C durante la transferencia de calor.
- 40 7. Un método para el almacenamiento de energía termoeléctrica en un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica, que comprende:
- la carga de una unidad de almacenamiento caliente (12, x, y, z) mediante el suministro de calor por medio de un intercambiador de calor (24, 30, 36, 38, 40) a un medio de almacenamiento térmico mediante la comprensión de un fluido de trabajo,  
 45 la descarga de la unidad de almacenamiento caliente (12, x, y, z) mediante la expansión del fluido de trabajo calentado a través del intercambiador de calor desde el medio de almacenamiento térmico a través de una máquina termodinámica (32) y  
 la modificación de los parámetros del medio de almacenamiento térmico para asegurar que la diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico en un punto de entrada y uno de salida del intercambiador de calor es menor de 50°C durante la carga y la descarga.
- 50 8. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la etapa de la modificación de los parámetros del medio de almacenamiento térmico comprende la modificación del caudal del medio de almacenamiento térmico.
- 55 9. El método de acuerdo con la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en el que la etapa de la modificación de los parámetros del medio de almacenamiento térmico comprende la modificación de la temperatura inicial y la temperatura final del medio de almacenamiento térmico.
- 60 10. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la etapa de la modificación de los parámetros del medio de almacenamiento térmico comprende la modificación del tipo de medio de almacenamiento térmico.

FIG. 1

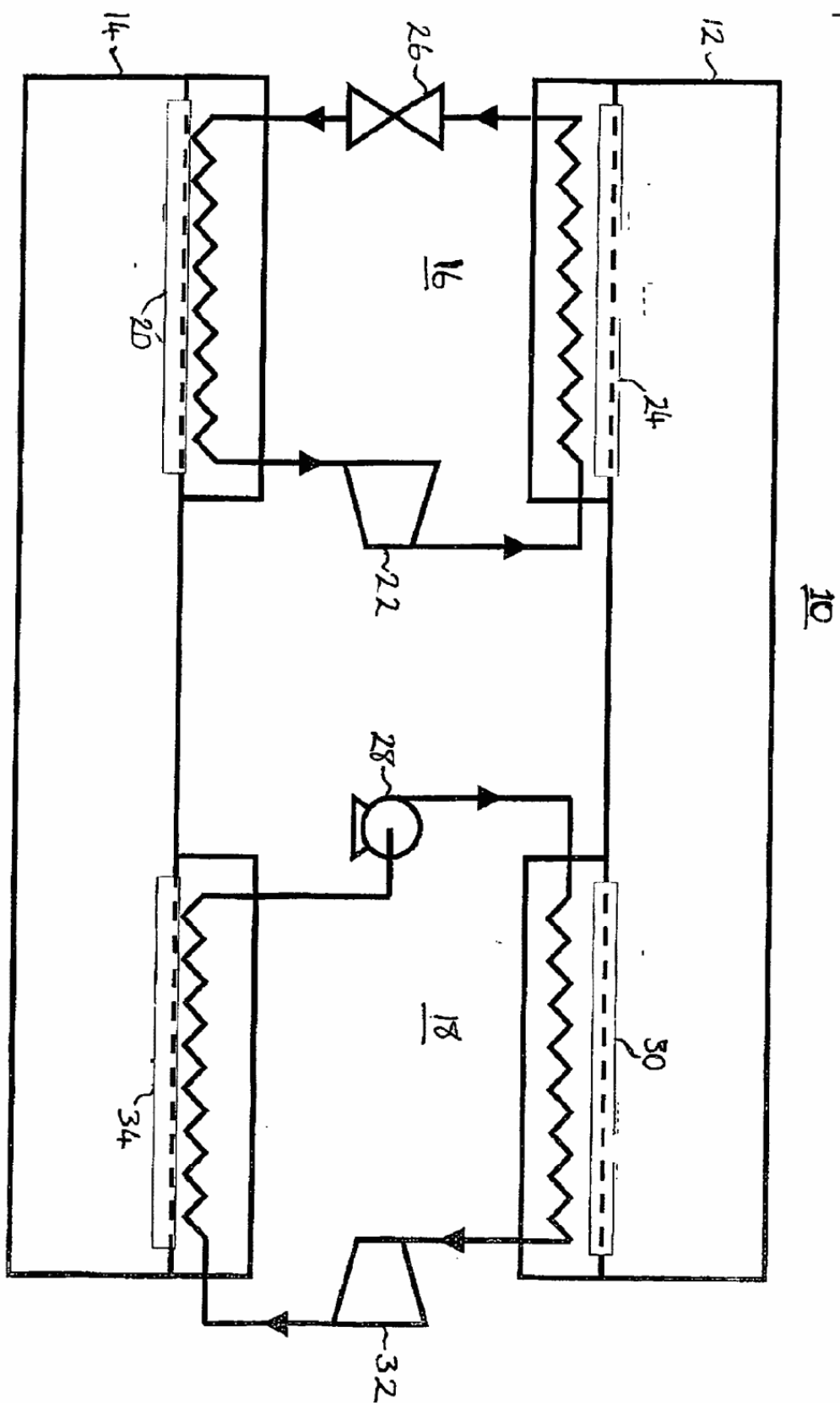


FIG. 2

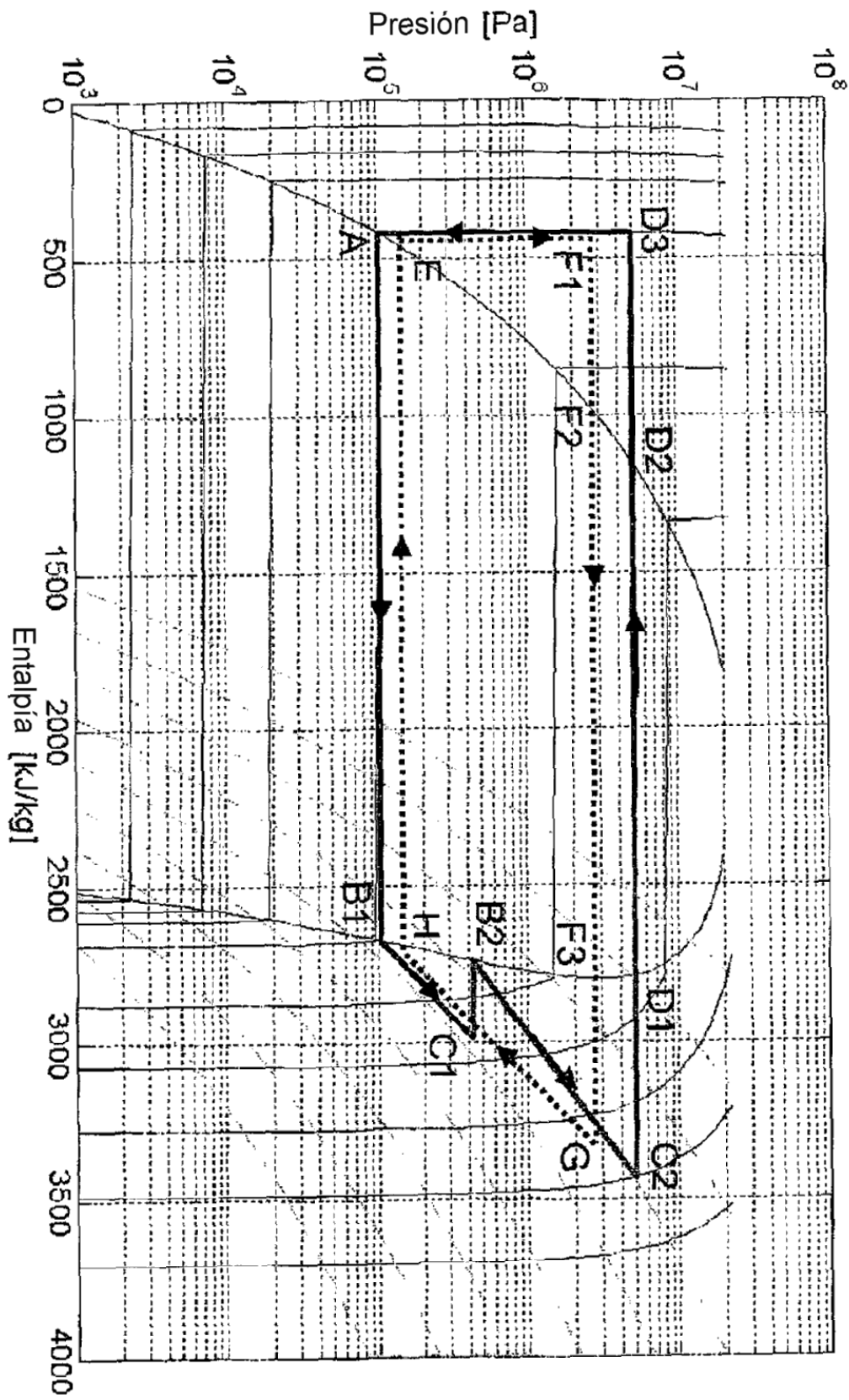


FIG. 3

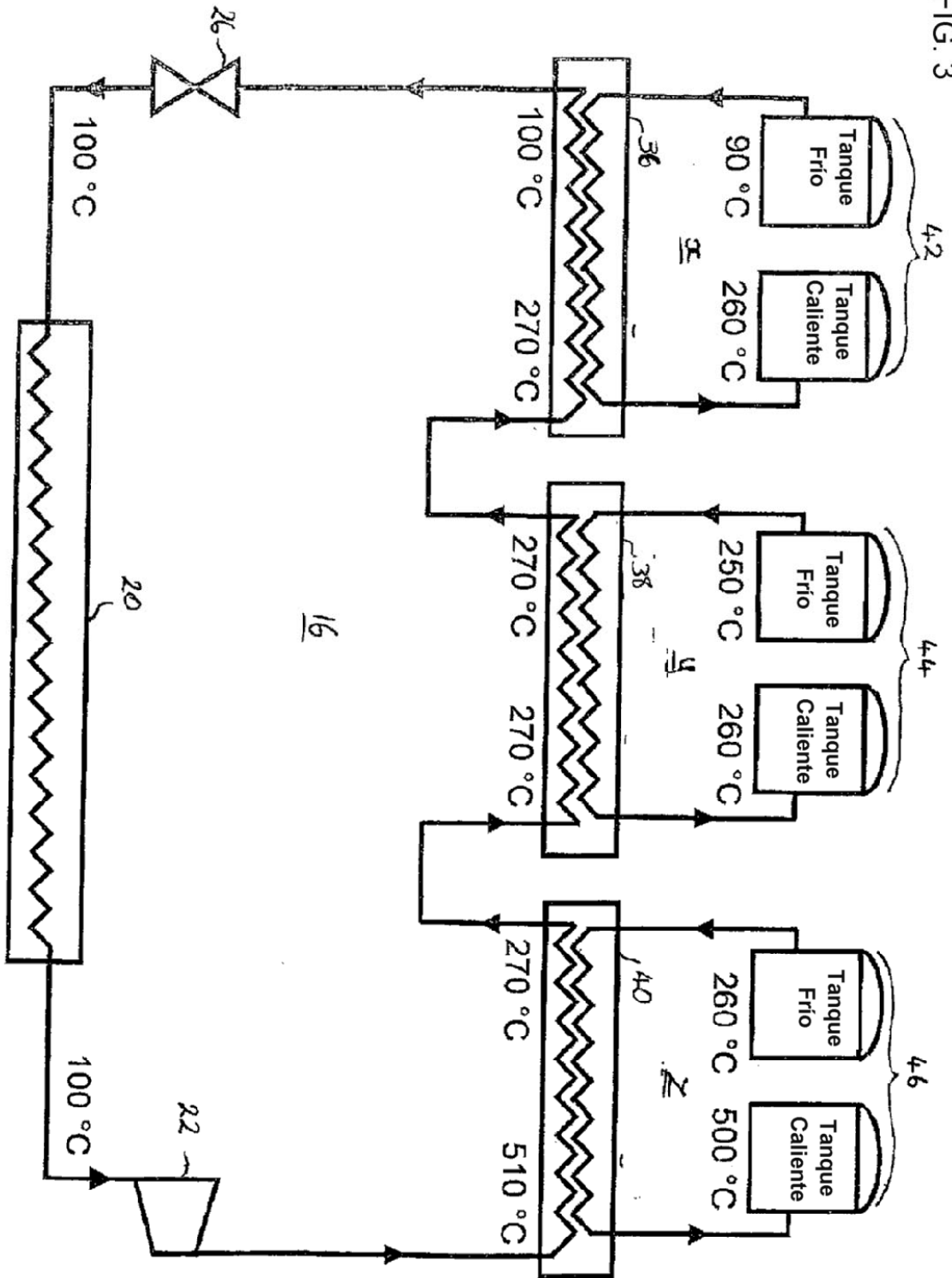


FIG. 4

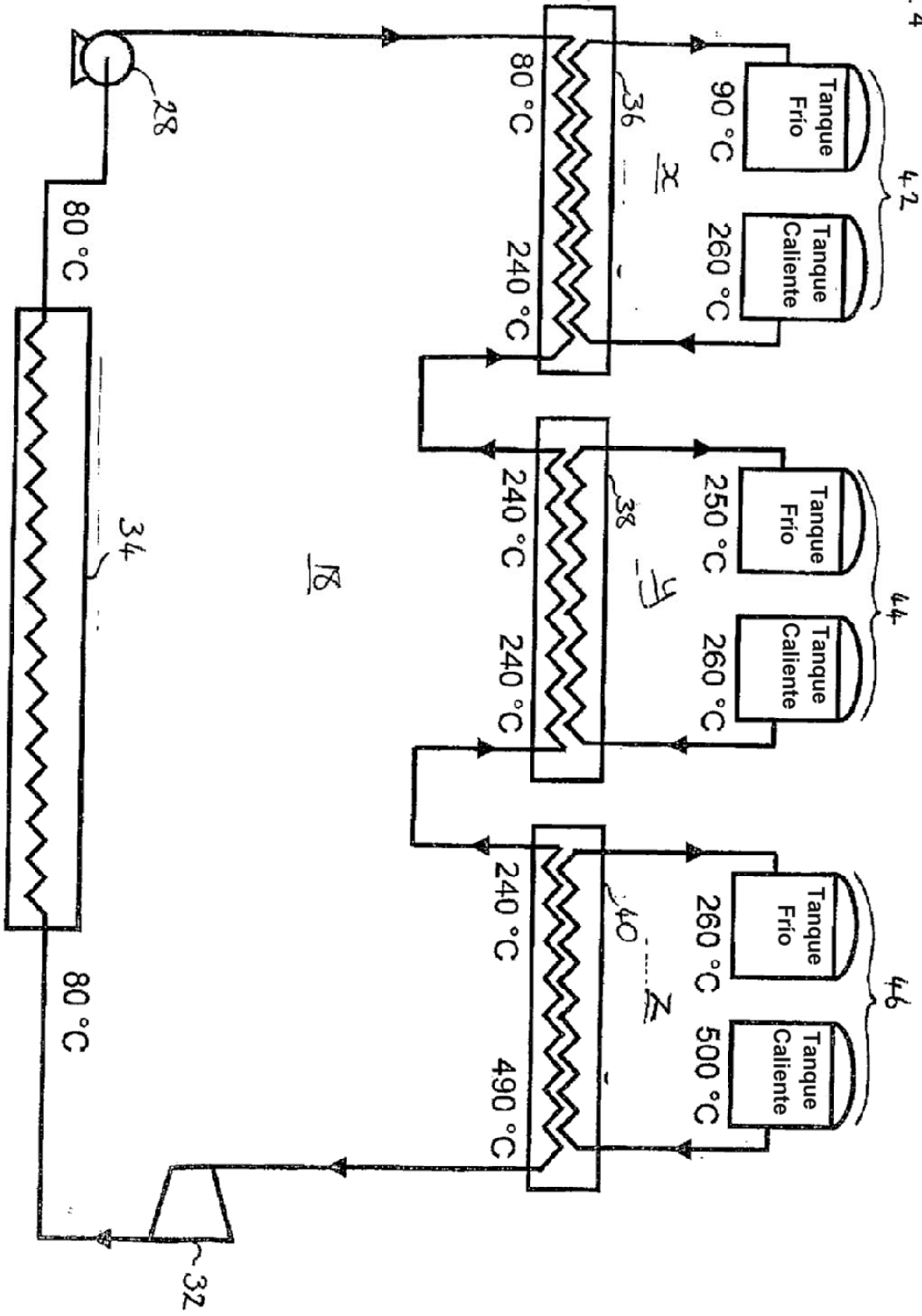


FIG. 5

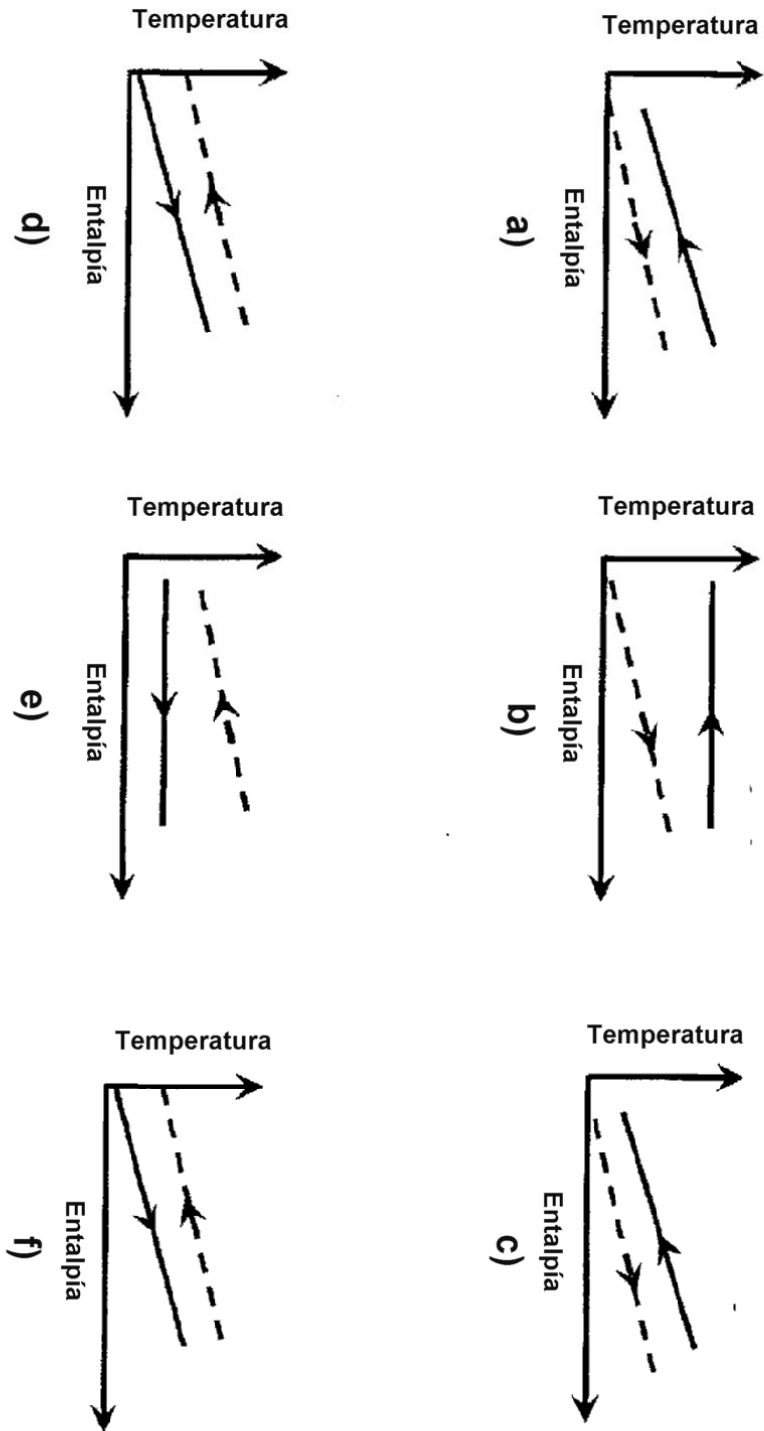


FIG. 6

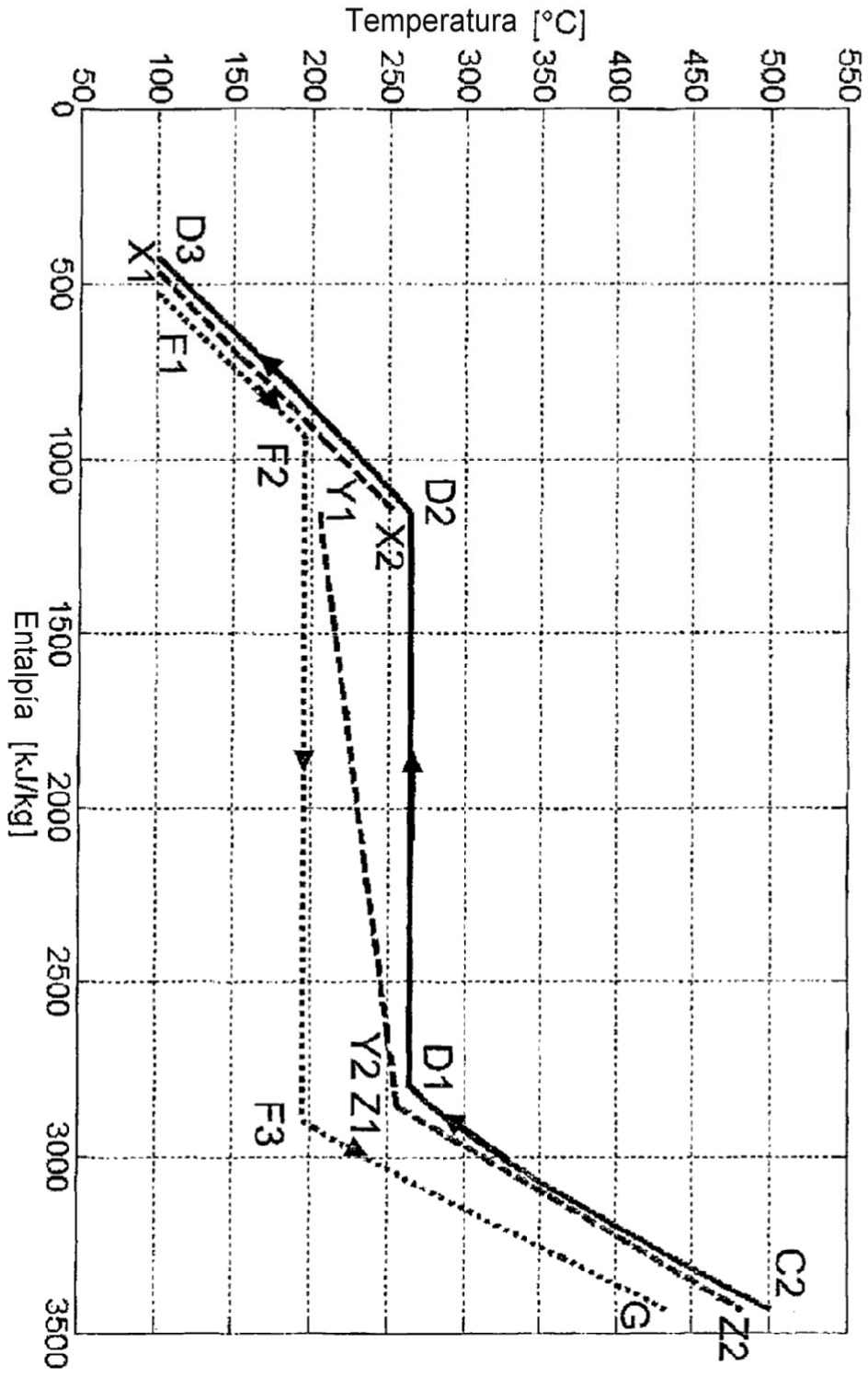


FIG. 7

