

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 137**

51 Int. Cl.:

F01K 3/12 (2006.01)

F01K 11/04 (2006.01)

F24H 7/02 (2006.01)

F01K 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.08.2008 E 08162614 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2013 EP 2157317**

54 Título: **Sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica y procedimiento para almacenar energía termoeléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.09.2013

73 Titular/es:

**ABB RESEARCH LTD (100.0%)
AFFOLTERNSTRASSE 44
8050 ZÜRICH, CH**

72 Inventor/es:

**OHLER, CHRISTIAN;
MERCANGOEZ, MEHMET y
HEMRLE, JAROSLAV**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 424 137 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 procedimiento para almacenar energía termoeléctrica

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema y a un procedimiento para almacenar energía eléctrica en forma de energía térmica en un almacenamiento de energía térmica.

10 Antecedentes de la invención

Los generadores de carga de base, tales como las plantas generadoras nucleares y los generadores con fuentes de energía estocástica e intermitente, tales como las turbinas eólicas y los paneles solares, generan un exceso de potencia eléctrica durante momentos de baja demanda de potencia.

15 El documento DE 41 21 460 A1 desvela un sistema para almacenar calor, en particular procedente de una fuente de energía solar, para la subsiguiente operación de un motor a vapor.

20 Los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica a gran escala son un medio de desviar este exceso de energía a momentos con picos de demanda y equilibrar de generación y el consumo de electricidad globales.

En una solicitud de patente previa, EP1577548, el solicitante ha descrito la idea de un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica (TEES). Un TEES convierte el exceso de electricidad en calor en un ciclo de carga, almacena el calor y convierte el calor de nuevo en electricidad en un ciclo de descarga, cuando sea necesario. Dicho sistema de almacenamiento de energía es robusto, compacto, independiente del sitio y adecuado para el almacenamiento de energía eléctrica en grandes cantidades. La energía térmica puede almacenarse en forma de calor sensible mediante un cambio en la temperatura o en forma de calor latente mediante un cambio de fase, o una combinación de ambos. El medio de almacenamiento del calor sensible puede ser un sólido, un líquido o un gas. El medio de almacenamiento del calor latente se produce mediante un cambio de fase, y puede implicar cualquiera de estas fases o una combinación de ellas, en serie o en paralelo.

30 El documento JP 63 253101 A también describe el concepto básico de almacenamiento de energía termoeléctrica.

35 La eficacia de ciclo completo de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica puede definirse como el porcentaje de energía eléctrica que puede ser descargada del almacenamiento en comparación con la energía eléctrica usada para cargar el almacenamiento, siempre que el estado del sistema de almacenamiento de energía después de la descarga vuelva a su condición inicial antes de cargar el almacenamiento. Es importante señalar que todas las tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica tienen inherentemente una eficacia de ciclo completo limitada. Por lo tanto, por cada unidad de energía eléctrica usada para cargar el almacenamiento, solo se recupera un cierto porcentaje como energía eléctrica tras la descarga. El resto de la energía eléctrica se pierde. Si, por ejemplo, el calor que se ha almacenado en un sistema TEES se proporciona a través de calentadores de resistencia, tiene una eficacia de ciclo completo de aproximadamente el 40%. La eficacia del almacenamiento de energía termoeléctrica es limitada por varias razones basadas en la segunda ley de la termodinámica. En primer lugar, la conversión del calor en trabajo mecánico en un motor de calor está limitada a la eficacia de Carnot. En segundo lugar, el coeficiente de rendimiento de cualquier bomba de calor disminuye al aumentar la diferencia entre los niveles de temperatura de entrada y salida. En tercer lugar, cualquier flujo de calor procedente de un fluido de trabajo hacia un almacenamiento térmico y viceversa requiere una diferencia de temperatura para que se produzca. Este hecho degrada inevitablemente el nivel de temperatura y por lo tanto la capacidad del calor de realizar el trabajo.

50 Se señala que muchos procesos industriales implican la provisión de energía térmica y el almacenamiento de la energía térmica. Algunos ejemplos son dispositivos refrigeración, bombas de calor, aire acondicionado y la industria de procesado. En las plantas de potencia térmica solar se proporciona calor, posiblemente se almacena, y se convierte en energía eléctrica. Sin embargo, todas estas aplicaciones son distintas de los sistemas TEES porque no se preocupan del calor con el propósito exclusivo de almacenar energía.

55 También se señala que el ciclo de carga de un sistema TEES también se denomina ciclo de bomba de calor, y el ciclo de descarga de un sistema TEES también se denomina ciclo de motor de calor. En el concepto del TEES se necesita transferir calor desde un fluido de trabajo caliente y a un medio de almacenamiento térmico durante el ciclo de una bomba de calor y de vuelta desde el medio de almacenamiento térmico hacia el fluido de trabajo durante el ciclo del motor de calor. Una bomba de calor requiere trabajo para mover la energía térmica desde una fuente fría hacia un disipador de calor más caliente. Dado que la cantidad de energía depositada en el lado caliente es mayor que el trabajo requerido por una cantidad igual de energía tomada desde el lado frío, una bomba de calor "multiplicará" el calor en comparación con una generación de calor por resistencia. La proporción entre la salida de calor y la entrada de trabajo se denomina coeficiente de rendimiento, y es un valor mayor de uno. De esta forma, el uso de una bomba de calor aumentará la eficacia de ciclo completo de un sistema TEES.

Los ciclos termodinámicos elegidos para la carga y la descarga del TEES afectan a muchos aspectos prácticos del almacenamiento. Por ejemplo, la cantidad de almacenamiento de energía requerida para almacenar una cantidad dada de energía eléctrica durante la carga del TEES depende del nivel de temperatura del almacenamiento térmico, cuando se usa el entorno como disipador de calor para la descarga. Cuanto mayor sea la temperatura del almacenamiento térmico con respecto al entorno, menor será la proporción relativa de la energía térmica almacenada no recuperable como trabajo eléctrico. Por lo tanto, cuando se emplea un ciclo de carga con una temperatura máxima relativamente baja, se necesita almacenar una cantidad de calor mayor para almacenar la misma cantidad de energía eléctrica en comparación con un ciclo de carga con una temperatura máxima relativamente mayor.

La Figura 1 ilustra los perfiles de temperatura de un sistema TEES conocido. La abscisa representa los cambios en la entalpía, la ordenada representa la temperatura, y las líneas de la gráfica son isobaras. La línea continua indica el perfil de temperatura del fluido de trabajo en un ciclo de carga convencional del TEES, y se muestran las etapas escalonadas de desupercalentamiento 10, condensación 12 y subenfriamiento 14 (de derecha a izquierda). La línea punteada indica el perfil de temperatura del fluido de trabajo en un ciclo de descarga convencional del TEES, y se muestran las etapas escalonadas de precalentamiento 16, ebullición 18 y supercalentamiento 20 (de derecha a izquierda). La línea recta discontinua diagonal indica el perfil de temperatura del medio de almacenamiento térmico en un ciclo convencional del TEES. El calor sólo fluye desde una temperatura mayor hacia una temperatura menor. Consecuentemente, el perfil característico del fluido de trabajo durante el enfriamiento en el ciclo de carga tiene que estar por encima del perfil característico del medio de almacenamiento térmico, que a su vez tiene que estar por encima del perfil característico del fluido de trabajo durante el calentamiento en el ciclo de descarga.

Se establece que un factor de irreversibilidad termodinámica es la transferencia de calor entre grandes diferencias de temperatura. En la Figura 1 puede observarse que durante la parte de condensación 12 del perfil de carga y durante la parte de ebullición 18 del perfil de descarga, la temperatura del fluido de trabajo permanece constante. Esto conduce a una diferencia de temperatura máxima relativamente grande, indicada como $4T_{max}$, entre el medio de almacenamiento térmico y el fluido de trabajo (tanto en carga como en descarga), reduciendo así la eficacia de ciclo completo. Con objeto de minimizar esta diferencia de temperatura máxima, podrían construirse intercambiadores de calor relativamente grandes o pueden usarse materiales de cambio de fase para el almacenamiento térmico. Problemáticamente, estas soluciones dan como resultado un elevado coste de capital y por lo tanto generalmente no son prácticas.

Por lo tanto, hay una necesidad de proporcionar un almacenamiento de energía termoeléctrica eficaz con una elevada eficacia de ciclo completo, minimizando a la vez el área de los intercambiadores de calor y la cantidad de medio de almacenamiento térmico requerido, y minimizando también el coste de capital.

Descripción de la invención

Es un objetivo de la invención proporcionar un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica para convertir la energía eléctrica en energía térmica que se va a almacenar y convertir de nuevo en energía eléctrica con una eficacia de ciclo completo mejorada. Este objetivo se consigue mediante un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica según la reivindicación 1 y un procedimiento según la reivindicación 5. Las formas de realización preferidas son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes.

Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica que comprende un intercambiador de calor que contiene un medio de almacenamiento térmico, un circuito de un 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, y donde el fluido de trabajo experimenta un proceso transcrito durante la transferencia de calor.

En una forma de realización preferida, el medio de almacenamiento térmico es un líquido. En una forma de realización preferida adicional, el medio de almacenamiento térmico es agua.

El fluido de trabajo experimenta un enfriamiento transcrito en el intercambiador de calor durante un ciclo de carga del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica. Cuando el sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica está en un ciclo de carga (o "bomba de calor"), el sistema incluye un expansor, un evaporador y un compresor.

El fluido de trabajo experimenta un calentamiento transcrito en el intercambiador de calor durante un ciclo de descarga del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica. Cuando el sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica está en un ciclo de descarga (o "motor de calor"), el sistema incluye una bomba, un condensador y una turbina.

El fluido de trabajo está en un estado supercrítico al entrar en el intercambiador de calor durante un ciclo de carga del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica. Además, el fluido de trabajo está en un estado supercrítico al salir del intercambiador de calor durante un ciclo de descarga del sistema de almacenamiento de

energía termoeléctrica.

En una forma de realización preferida adicional, el sistema del primer aspecto de la presente invención comprende adicionalmente un expansor posicionado en el circuito del fluido de trabajo para recuperar la energía del fluido de trabajo durante el ciclo de carga, donde la energía recuperada es suministrada a un compresor del circuito del fluido de trabajo para comprimir el fluido de trabajo hasta un estado supercrítico.

Ventajosamente, el sistema TEES basado en ciclos transcíticos puede trabajar sin un almacenamiento en frío (es decir, mediante el intercambio de calor con el entorno en lugar de con un almacenamiento térmico en frío) y sin materiales de cambio de fase, proporcionando a la vez una proporción trabajo consumido razonable para una elevada eficacia de ciclo completo.

En un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un procedimiento para almacenar energía termoeléctrica en un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica, comprendiendo el procedimiento la circulación de un fluido de trabajo a través de un intercambiador de calor para la transferencia de calor con un medio de almacenamiento térmico, y la transferencia de calor con el medio de almacenamiento térmico en un proceso transcítico.

La etapa de la transferencia de calor comprende el enfriamiento transcítico del fluido de trabajo durante un ciclo de carga del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica.

La etapa adicional de la transferencia de calor comprende el calentamiento transcítico del fluido de trabajo durante un ciclo de descarga del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica.

Preferiblemente, el procedimiento del segundo aspecto de la presente invención comprende adicionalmente la etapa de modificar los parámetros del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica para asegurar que se minimiza la diferencia de temperatura máxima entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico durante la carga y la descarga.

Para asegurar que se minimiza la diferencia de temperatura máxima entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico durante los ciclos de carga y de descarga, pueden modificarse los siguientes parámetros del sistema; la temperatura de operación y los niveles de presión, el tipo de fluido de trabajo usado, el tipo de medio de almacenamiento térmico, el área del intercambiador de calor.

Una aspiración importante del sistema TEES basado en bomba de calor-motor de calor y del procedimiento de operación es conseguir una operación lo más reversible posible de los ciclos termodinámicos. Dado que los ciclos están acoplados mediante el mecanismo de almacenamiento del calor, y por lo tanto mediante los diagramas de temperatura-entalpía, la aproximación de los perfiles del fluido de trabajo mediante el perfil del medio de almacenamiento del calor es un requisito importante para conseguir una operación reversible.

Breve descripción de los dibujos

La materia en cuestión de la invención se explicará con más detalle en el siguiente texto con referencia a las formas de realización ejemplares preferidas, que se ilustran en los dibujos anexos, en los que:

la Figura 1 muestra un diagrama de energía calorífica-temperatura de la transferencia de calor de los ciclos en un sistema TEES convencional;

la Figura 2 muestra un diagrama esquemático simplificado de un ciclo de carga de un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica;

la Figura 3 muestra un diagrama esquemático simplificado de un ciclo de descarga de un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica;

la Figura 4 muestra un diagrama de energía calorífica-temperatura de la transferencia de calor de los ciclos en un sistema TEES de la presente invención;

la Figura 5a es un diagrama de entalpía-presión de los ciclos en un sistema TEES de la presente invención;

la Figura 5b es un diagrama de entropía-temperatura de los ciclos en un sistema TEES de la presente invención.

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

Descripción detallada de las formas de realización preferidas

Las Figuras 2 y 3 representan esquemáticamente un sistema en ciclo de carga y un sistema en ciclo de descarga, respectivamente, de un sistema TEES según una forma de realización de la presente invención.

5 El sistema en ciclo de carga 22 mostrado en la Figura 2 comprende un expansor de recuperación del trabajo 24, un evaporador 26, un compresor 28 y un intercambiador de calor 30. Un fluido de trabajo circula a través de estos componentes según se indica mediante la línea continua con flechas de la Figura 2. Además, pueden acoplarse entre sí un tanque de almacenamiento de fluido frío 32 y un tanque de almacenamiento de fluido caliente 34 que
10 contienen un medio de almacenamiento térmico fluido, a través del intercambiador de calor.

15 Durante la operación, el sistema en ciclo de carga 22 realiza un ciclo transcrito, y el fluido de trabajo fluye por todo el sistema TEES de la siguiente forma. El fluido de trabajo del evaporador 26 absorbe el calor del entorno o de un almacenamiento frío y se evapora. El fluido de trabajo vaporizado circula hacia el compresor 28 y el exceso de energía eléctrica es utilizado para comprimir y calentar el fluido de trabajo hasta un estado supercrítico. (En dicho estado supercrítico, el fluido está por encima de la temperatura crítica y de la presión crítica). Esta etapa constituye la característica crucial del ciclo transcrito. El fluido de trabajo es suministrado a través del intercambiador de calor 30 donde el fluido de trabajo remite la energía térmica al medio de almacenamiento térmico.

20 Se señala que, en el intercambiador de calor, la presión del fluido de trabajo estará por encima de la presión crítica, sin embargo, la temperatura del fluido de trabajo puede quedar por debajo de la temperatura crítica. Por lo tanto, mientras que el fluido de trabajo entra en el intercambiador de calor en un estado supercrítico, puede abandonar del intercambiador de calor 30 en un estado subcrítico.

25 El fluido del trabajo comprimido sale del intercambiador de calor 30 y entra en el expansor 24. Aquí, el fluido de trabajo se expande hasta la menor presión del evaporador. El fluido de trabajo fluye desde el expansor 24 de nuevo hacia el evaporador 26.

30 El medio de almacenamiento térmico, representado por la línea discontinua de la Figura 2, es bombeado desde el tanque de almacenamiento de fluido frío 32 a través del intercambiador de calor 30 hacia el tanque de almacenamiento de fluido caliente 34. La energía calorífica remitida desde el fluido de trabajo hacia el medio de almacenamiento térmico se almacena en forma de calor sensible.

35 Un ciclo transcrito se define como un ciclo termodinámico donde el fluido de trabajo pasa a través de ambos estados subcrítico y supercrítico. No hay diferencia entre una fase gaseosa y una fase de vapor más allá de la presión crítica, y por lo tanto, no hay evaporación ni ebullición (en el significado normal) en el ciclo transcrito.

40 El sistema en ciclo de descarga 36 mostrado en la Figura 3 comprende una bomba 38, un condensador 40, una turbina 42 y un intercambiador de calor 30. Un fluido de trabajo circula a través de estos componentes según se indica por la línea punteada con flechas de la Figura 3. Además, se acoplan entre sí un tanque de almacenamiento frío 32 y un tanque de almacenamiento caliente 34 que contienen un medio de almacenamiento térmico del fluido, a través del intercambiador de calor 30. El medio de almacenamiento térmico, representado por la línea punteada de la Figura 3, es bombeado desde el tanque de almacenamiento de fluido caliente 34 a través del intercambiador de calor 30 hacia el tanque de almacenamiento de fluido frío 32.
45

50 Durante la operación, el sistema en ciclo de descarga 36 también realiza un ciclo transcrito y el fluido de trabajo fluye por todo el sistema TEES de la siguiente forma. La energía calorífica es transferida desde el medio de almacenamiento térmico hacia el fluido de trabajo provocando que el fluido de trabajo atraviese un calentamiento transcrito. El fluido de trabajo sale entonces del intercambiador de calor 30 en un estado supercrítico, y entra en la turbina 42 donde el fluido de trabajo se expande, provocando así que la turbina genere energía eléctrica. A continuación, el fluido de trabajo entra en el condensador 40, donde el fluido de trabajo es condensado mediante el intercambio de energía térmica con el entorno o con un almacenamiento frío. El fluido de trabajo condensado sale del condensador 40 a través de una salida y es bombeado de nuevo más allá de su presión crítica hacia el intercambiador de calor 30 mediante la bomba 38.
55

60 Aunque el sistema en ciclo de carga 22 de la Figura 2 y el sistema en ciclo de descarga 36 de la Figura 3 se han ilustrado por separado, el intercambiador de calor 30, el almacenamiento de fluido frío 32, el almacenamiento de fluido caliente 34 y el medio de almacenamiento térmico, es común para ambos. Los ciclos de carga y de descarga pueden realizarse consecutivamente, no simultáneamente. Estos dos ciclos completos se muestran claramente en un diagrama de entalpía-presión, tal como en la Figura 5a.

65 En la presente forma de realización, el intercambiador de calor 30 es un intercambiador de calor a contracorriente, y el fluido de trabajo del ciclo es preferiblemente dióxido de carbono. Además, el medio de almacenamiento térmico es un fluido, y preferiblemente es agua. El compresor 28 de la presente forma de realización es un compresor alimentado por energía eléctrica.

En una forma de realización preferida de la presente invención, el intercambiador de calor a contracorriente 30 puede tener una temperatura de aproximación mínima, ΔT_{\min} , de 5 K (es decir, la diferencia de temperatura mínima entre los dos fluidos que intercambian calor es de 5 K). La temperatura de aproximación debería ser lo más baja posible.

5 La Figura 4 muestra un diagrama de energía calorífica-temperatura de la transferencia de calor en el intercambiador de calor durante los ciclos en un sistema TEES según la presente invención. La línea continua indica el perfil de temperatura del fluido de trabajo en el ciclo de carga del TEES. La línea punteada indica el perfil de temperatura del fluido de trabajo en el ciclo de descarga del TEES. La línea discontinua indica el perfil de temperatura del medio de almacenamiento térmico en el ciclo de TEES. El calor sólo fluye desde una temperatura superior hacia una temperatura inferior. Consecuentemente, el perfil característico del fluido de trabajo durante el enfriamiento en el ciclo de carga tiene que estar por encima del perfil característico del medio de almacenamiento térmico, que a su vez tiene que estar por encima del perfil característico del fluido de trabajo durante el calentamiento en el ciclo de descarga.

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

20 En la Figura 4, puede observarse que durante el ciclo de carga del sistema TEES, se experimenta un suave enfriamiento transcrito y no se experimenta una etapa de condensación según se enfría el fluido de trabajo. De forma similar, durante el ciclo de descarga del sistema TEES, se produce un sobrecalentamiento transcrito y no se experimenta una etapa de ebullición según se calienta el fluido de trabajo. Esto da como resultado una diferencia de temperatura máxima relativamente reducida, ΔT_{\max} , entre el medio de almacenamiento térmico y el fluido de trabajo (tanto en carga como en descarga), aumentando así la eficacia de ciclo completo y aproximándose más estrechamente a una operación reversible.

25 El cuadrángulo de línea continua mostrado en el diagrama de entalpía-presión de la Figura 5a representa ambos ciclos de carga y de descarga del sistema TEES de la presente invención. Específicamente, el ciclo de carga sigue una dirección en sentido antihorario y el ciclo de descarga sigue una dirección en sentido horario. Ahora se describe el ciclo de carga transcrito. Se asume que el fluido de trabajo es dióxido de carbono para esta forma de realización ejemplar.

30 El ciclo comienza en el punto I, que se corresponde con el estado del fluido de trabajo antes de recibir calor del evaporador. En este punto, el fluido de trabajo tiene una presión relativamente baja y la temperatura puede estar entre 0°C y 20°C. La evaporación se produce en el punto II a una presión y temperatura constantes, y después el vapor del fluido de trabajo es comprimido isoentrópicamente en un compresor hasta el estado III. En el estado III, el fluido de trabajo es supercrítico y puede estar a una temperatura de aproximadamente entre 90°C y 150°C, y la presión del fluido de trabajo puede elevarse hasta el orden de 20 MPa. Sin embargo, esto depende de la combinación del fluido de trabajo y del medio de almacenamiento térmico utilizado, así como de la temperatura alcanzada. Según pasa el fluido de trabajo a través del intercambiador de calor, la energía calorífica del fluido de trabajo está en un proceso isobárico hacia el medio de almacenamiento térmico, enfriando así el fluido de trabajo.

35 Esto está representado en la Figura 5a como la sección desde el punto III hasta el punto IV. La energía se recupera según pasa entonces el fluido de trabajo a través del expansor y se expande desde el punto IV hasta el punto I. La energía recuperada puede usarse para realimentar el compresor, mediante una conexión mecánica o eléctrica. De esta forma, el fluido de trabajo alcanza su estado de baja presión original.

40 El ciclo de descarga transcrito sigue el mismo camino al mostrado en la Figura 5a, pero en sentido horario, ya que cada uno de los procesos están revertidos. Debería mencionarse que la etapa de compresión entre el punto I y el punto IV es preferiblemente una compresión isoentrópica.

45 En una forma de realización alternativa, la etapa del ciclo de carga desde el punto IV hasta el punto I en el que se expande el fluido de trabajo, puede utilizar una válvula de expansión adiabática. En esta forma de realización se pierde energía debido a la irreversibilidad de dicho proceso de expansión isoentálpico adiabático.

50 El cuadrángulo de línea continua mostrado en el diagrama de entropía-temperatura de la Figura 5b representa ambos sitios de carga y descarga del sistema TEES de la presente invención. Específicamente, el ciclo de carga transcrito sigue una dirección en sentido antihorario y el ciclo de descarga transcrito sigue una dirección en sentido horario. Se asume que el fluido de trabajo es dióxido de carbono para esta forma de realización ejemplar. En este diagrama puede observarse claramente la temperatura constante con el aumento de entropía entre el punto I y el punto II, y también puede observarse la entropía constante con el aumento de temperatura entre el punto II y el punto III. En la forma de realización ejemplar mostrada en la Figura 5b, la entropía del fluido de trabajo cae desde 1,70 KJ/kg-K hasta 1,20 KJ/kg-K durante el suave enfriamiento transcrito entre el punto III, a 120°C, y el punto IV, a 42°C, en el ciclo de carga. La transición desde el punto IV hasta el punto I se produce con una caída en la

temperatura, y la entropía del fluido de trabajo permanece constante.

La persona experta deberá ser consciente de que el sistema TEES, según se ilustra en las Figuras 2 y 3, puede realizarse de muchas formas diferentes. Algunas formas de realización alternativas incluyen:

- 5 • pueden utilizarse diferentes fluidos de trabajo para los ciclos de carga y de descarga con objeto de maximizar la eficacia de ciclo completo. Algunos ejemplos de fluidos de trabajo que pueden usarse son cualquier refrigerante con una temperatura crítica entre los niveles de temperatura inferior y superior de los ciclos.
- 10 • pueden utilizarse diferentes intercambiadores de calor para los ciclos de carga y de descarga con objeto de optimizar el proceso, y dependiendo de la configuración preferida para la operación.
- 15 • en lugar del entorno puede usarse un almacenamiento frío dedicado como fuente de calor para el ciclo de carga, y un disipador de calor para el ciclo de descarga. El almacenamiento frío puede realizarse produciendo una mezcla de agua y hielo durante la carga del almacenamiento, y usar la mezcla de agua y hielo almacenada para condensar el fluido de trabajo durante el ciclo de descarga. En las condiciones en las que la temperatura del almacenamiento frío puede ser aumentada para la carga (por ejemplo, usando estanques solares o con un calentamiento adicional mediante un calor residual disponible localmente) o reducida para la descarga, esto puede usarse para aumentar la eficacia de ciclo completo.
- 20 • debido a la proximidad de los ciclos al punto crítico del fluido de trabajo, la recuperación del trabajo de expansión en la válvula de expansión puede ser una fracción significativa del trabajo de compresión en las condiciones próximas al punto crítico. Por lo tanto, la recuperación del trabajo de expansión puede incorporarse en el diseño del sistema TEES.
- 25 • aunque el medio de almacenamiento térmico es generalmente agua (si fuera necesario, en un recipiente presurizado), pueden usarse otros materiales tales como aceite o sal fundida. Ventajosamente, el agua tiene una transferencia de calor y unas propiedades de transporte relativamente buenas, y una elevada capacidad térmica, y por lo tanto se requiere un volumen relativamente pequeño para una capacidad de almacenamiento del calor predeterminada. Claramente, el agua no es inflamable, no es tóxica y es respetuosa con el medioambiente. La elección de un medio de almacenamiento térmico barato contribuiría a disminuir el coste global del sistema.
- 30

35 La persona experta deberá ser consciente de que el condensador y el evaporador del sistema TEES pueden sustituirse por un dispositivo de intercambio de calor polivalente que pueda asumir ambos papeles, dado que el uso del evaporador (26) en el ciclo de carga y el uso del condensador (40) en el ciclo de descarga se llevará a cabo en diferentes periodos. De forma similar, los papeles de la turbina (42) y del compresor (28) pueden ser llevados a cabo por la misma maquinaria, denominada en este documento máquina termodinámica, capaz de realizar ambas tareas.

40 El fluido de trabajo preferido para la actual invención es dióxido de carbono; debido principalmente a su mayor eficacia en los procesos de transferencia de calor y a las propiedades amables del dióxido de carbono como fluido de trabajo natural, es decir, no es inflamable, no tiene un potencial de reducción del ozono, sin riesgos para la salud etc.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica (22, 36) para convertir la electricidad en calor en un ciclo de carga, almacenar el calor, y para proporcionar energía térmica a una máquina termodinámica para convertir el calor de nuevo mediante la generación de electricidad en un ciclo de descarga, comprendiendo el sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica (22, 36):
- un intercambiador de calor (30) que contiene un medio de almacenamiento térmico, un circuito del fluido de trabajo para que circule un fluido de trabajo por el intercambiador de calor (30) para la transferencia de calor con el medio de almacenamiento térmico, donde, en una operación del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica (22, 36), el fluido de trabajo fluye a través del circuito del fluido de trabajo, **caracterizado por que** el fluido de trabajo experimenta un proceso transcrito, y donde el fluido de trabajo está en un estado supercrítico al entrar en el intercambiador de calor (30) durante el ciclo de carga del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica (36), y el fluido de trabajo está en un estado supercrítico al salir del intercambiador de calor (30) durante el ciclo de descarga del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica (36).
2. El sistema según la reivindicación 1, donde, cuando el sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica (22) está funcionando, el fluido de trabajo experimenta un enfriamiento transcrito en el intercambiador de calor (30) durante el ciclo de carga.
3. El sistema según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, donde, cuando el sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica (22) está funcionando, el fluido de trabajo experimenta un calentamiento transcrito en el intercambiador de calor (30) durante el ciclo de descarga.
4. El sistema según una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende adicionalmente; un expansor (24) posicionado en el circuito del fluido de trabajo para la recuperación de energía desde el fluido de trabajo durante el ciclo de carga, donde la energía recuperada es suministrada a un compresor (28) en el circuito del fluido de trabajo para comprimir el fluido de trabajo hasta un estado supercrítico.
5. Un procedimiento para almacenar energía termoeléctrica en un sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica, que comprende; la circulación de un fluido de trabajo por el intercambiador de calor para intercambiar el calor con un medio de almacenamiento térmico, y transferir el calor al medio de almacenamiento térmico en un proceso transcrito, **caracterizado por que** la etapa de transferencia de calor comprende el enfriamiento transcrito del fluido de trabajo durante un ciclo de carga del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica.
6. El procedimiento según la reivindicación 5, donde la etapa de transferencia del calor comprende el calentamiento transcrito del fluido de trabajo durante un ciclo de descarga del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica.
7. El procedimiento según cualquiera de la reivindicación 5 hasta la reivindicación 6, que comprende adicionalmente la etapa de; modificar los parámetros del sistema de almacenamiento de energía termoeléctrica para asegurar que se minimiza la diferencia de temperatura máxima (ΔT_{max}) entre el fluido de trabajo y el medio de almacenamiento térmico durante la carga y la descarga.

Figura 1

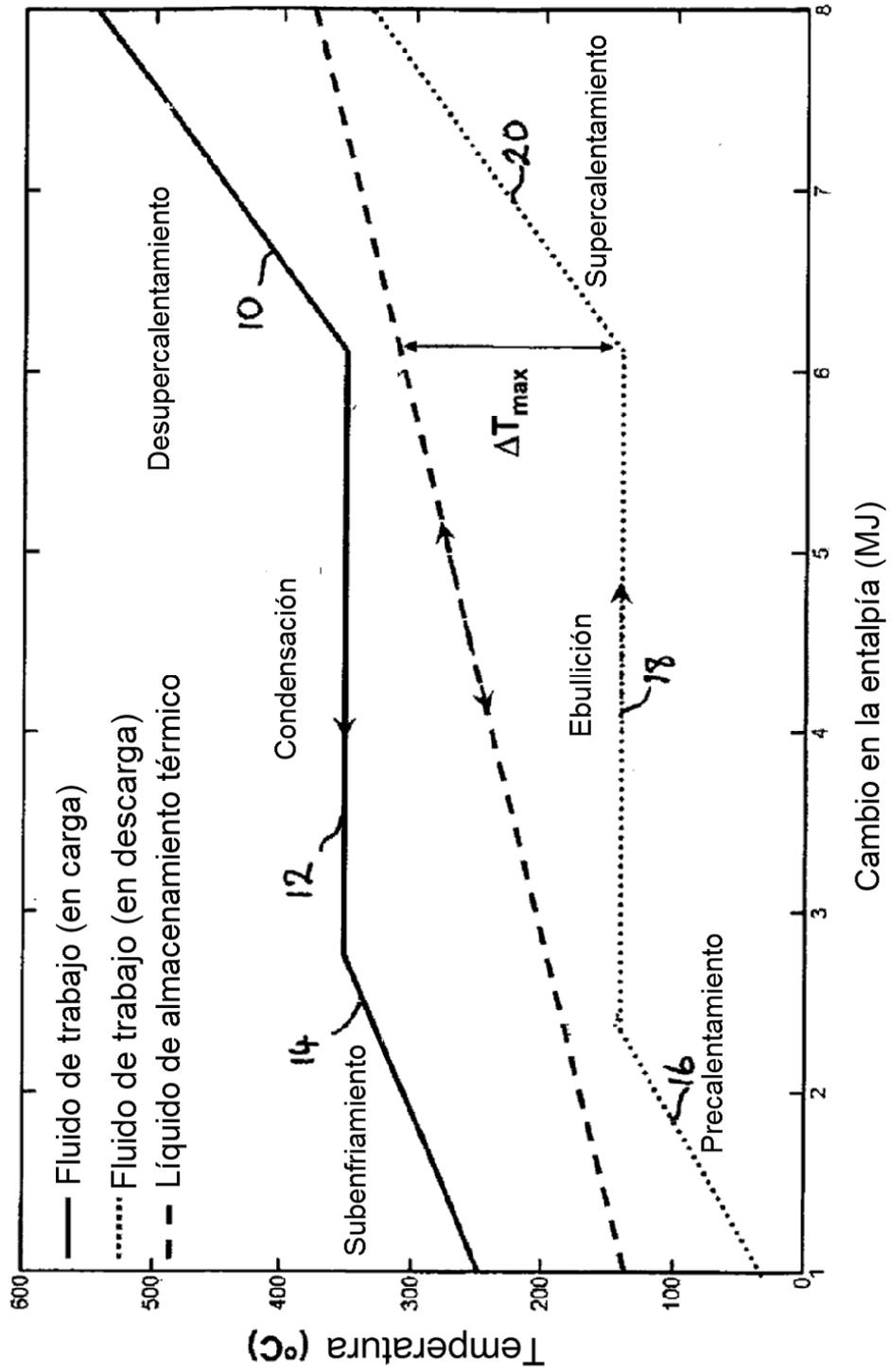


Figura 2

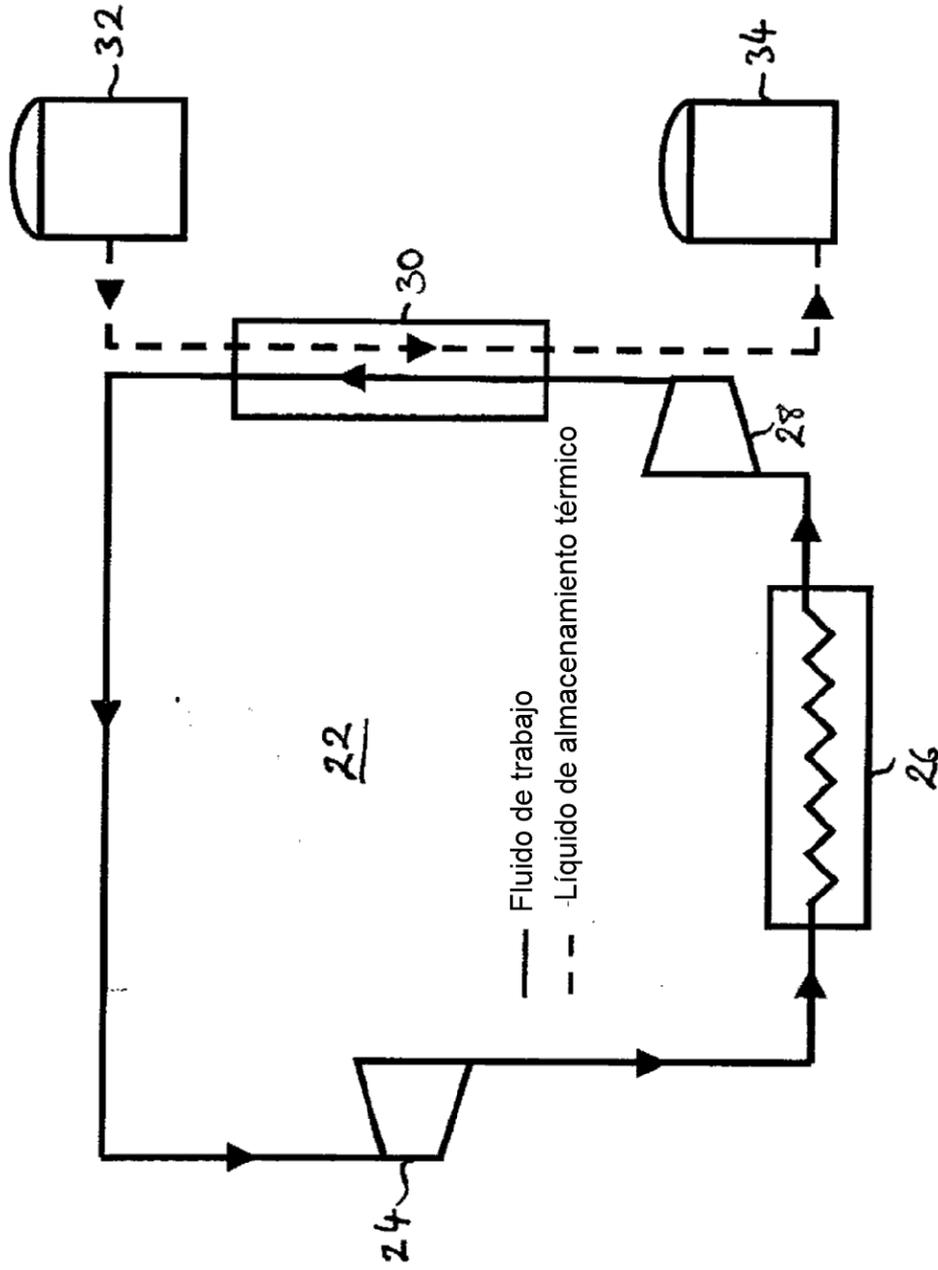


Figura 3

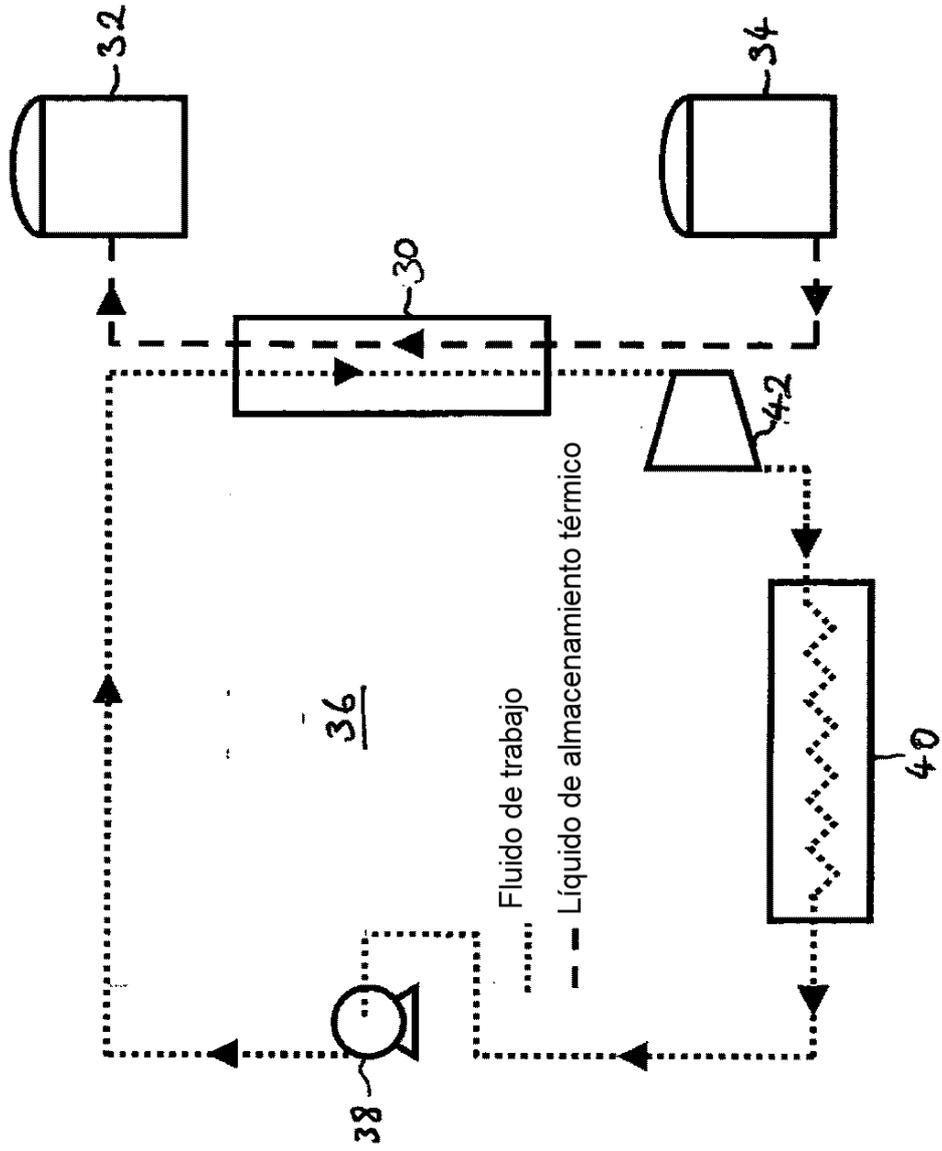


Figura 4

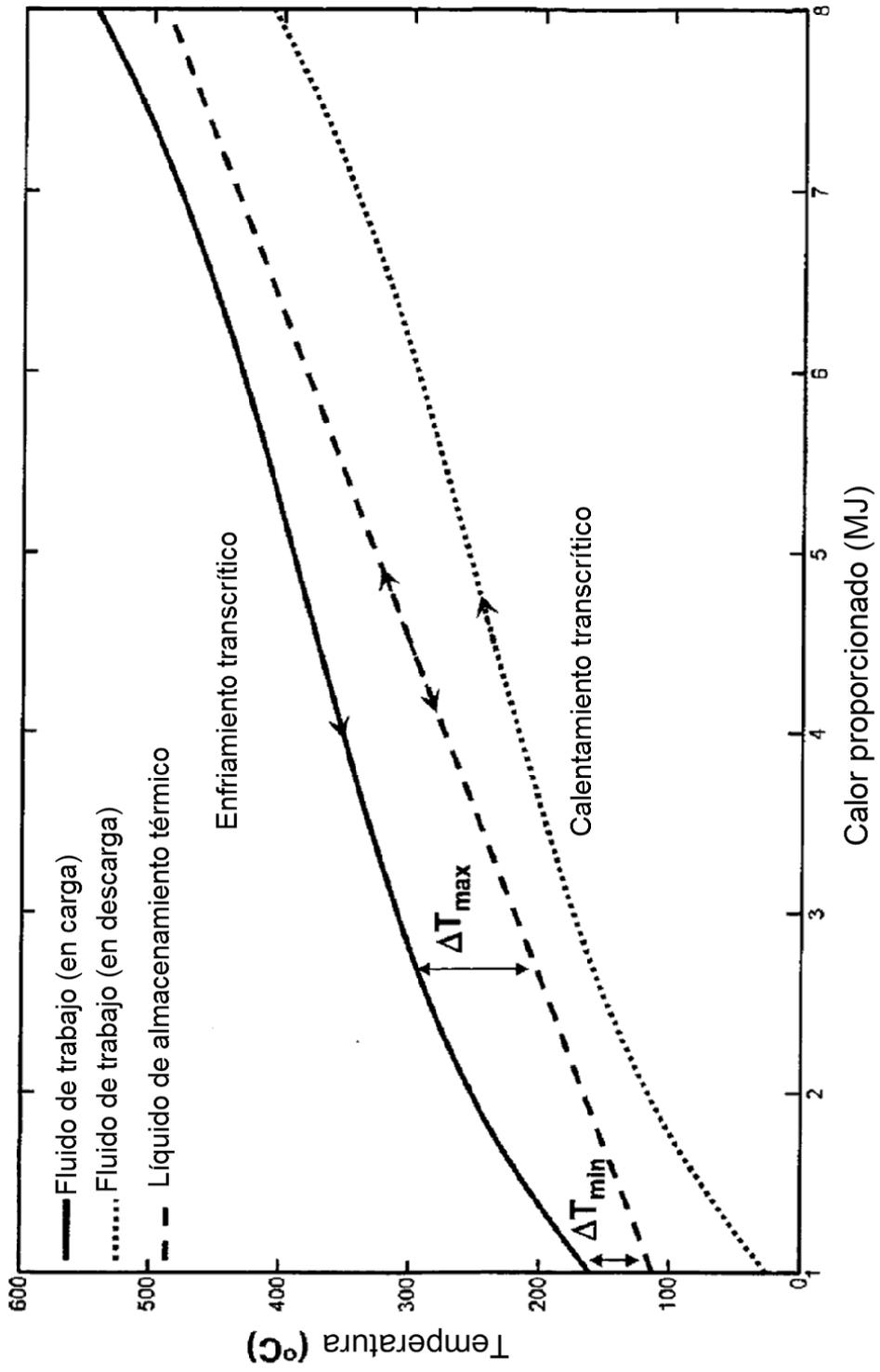


Figura 5b

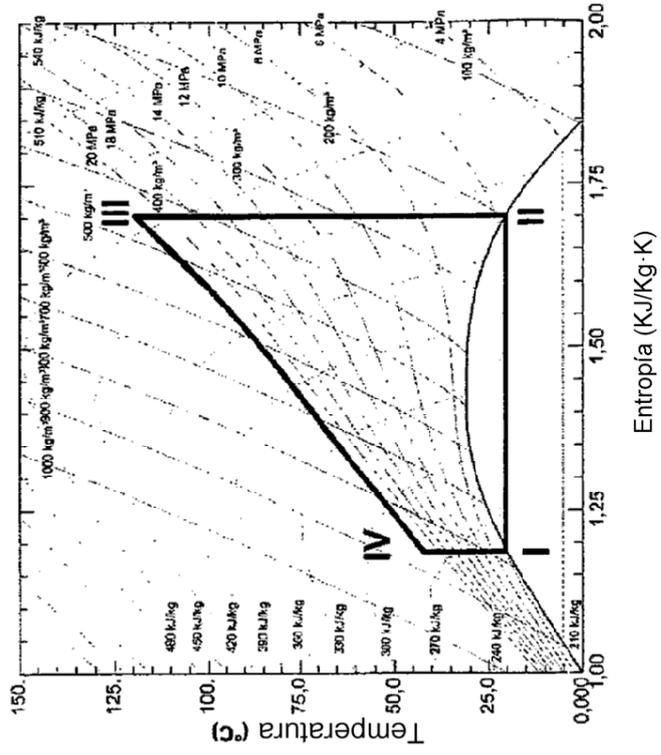


Figura 5a

